

МАКЕДОНСКО ГЕОЛОШКО ДРУШТВО

ВТОР КОНГРЕС

на

Геолозите на Република Македонија

**ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ**



*Уредници:*

Јовановски, М. & Боев, Б

*Крушево, 2012*

*Посебно издание на  
Geologica Macedonica, № 3*

**МАКЕДОНСКО ГЕОЛОШКО ДРУШТВО**

**ВТОР КОНГРЕС  
на  
Геолозите на Република Македонија**

***ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ***

*Уредници:*  
Ловановски, М. & Боев, Б.

Крушево, 2012

**Издавач:** Македонско геолошко друштво

**Главни и одговорни уредници:** Проф. д-р Милорад Јовановски и  
Проф. д-р Блажо Боев

**Уреднички одбор:** Проф. д-р Блажо Боев (Р.Македонија), Проф. д-р Тодор Серафимовски (Р.Македонија), Проф. д-р Милорад Јовановски (Р.Македонија), Проф. д-р Никола Думурџанов (Р.Македонија), Доц. д-р Горан Тасев (Р.Македонија), м-р Игор Пешевски (Р.Македонија), prof. Ivan Zagorchev PhD (Bulgaria), prof. Tadej Dolenc PhD (Slovenia), prof. Vladmir Bermanec PhD (Croatia), prof. Alexander Volkov PhD (Russia), prof. Veselin Dragišić PhD (Serbia).

**Технички уредник:** м-р Игор Пешевски

**Лектура:** Благоја Богатиноски

**Печатање:** Печатница "2-ри Август С"-Штип

**Тираж:** 300 примероци

***Организационен одбор на Вториот Конгрес на Геолозиите на Република Македонија***

***Претседател:*** Проф. д-р Милорад Јовановски  
***Секретар:*** м-р Златко Илијовски

***Технички секретар:*** м-р Игор Пешевски

***Членови:*** Проф. д-р Блажо Боев  
Проф. д-р Тодор Серафимовски  
Проф. д-р Соња Лепиткова  
Проф. д-р Борче Андреевски  
Проф. д-р Тодор Делипетров  
Проф. д-р Марин Александров  
Проф. д-р Орце Спасовски  
Проф. д-р Војо Мирчовски  
Проф. д-р Гоше Петров  
Доц. д-р Горан Тасев  
м-р Коста Јованов  
м-р Игор Пешевски  
Флорент Чиче  
Ванчо Ангелов  
Кирил Филев

***Финансиска поддршка:***

ДПТУ "Бучим" ДООЕЛ-Радовиш  
Кожувчанка ДОО -Кавадарци  
Македонска Авторска Агенција ДОО-Скопје  
Авто-искра ДООЕЛ-Скопје  
Хидроинженеринг ДООЕЛ-Битола  
Градежен Институт Македонија-Скопје  
Градежен факултет-Скопје  
Рудници за олово и цинк "Саса", М. Каменица  
Геохидроинженеринг-Скопје  
Геохидроинженеринг-консалтинг ДООЕЛ-Тетово  
Геинг-Скопје

## **ПРЕДГОВОР**

Геолошката наука на територијата на Република Македонија има долга традиција, а е поврзана пред се со рударската активност. Познати се локалитети каде се најдени монети од бакарната и бронзената доба. Сочувани се траги на експлоатација на злато од речниот нанос на Коњска Река-Гевгелиско и на други места, од времето на Александар Македонски. Во источна Македонија рударењето било интензивно за римско време.

Први геолошки податоци на научна основа за територијата на Македонија се јавуваат во првата половина на XIX век, а првите печатени геолошки трудови за нашите простори се среќаваат кај А.Буче (1828-1870) и Виксенел (1842). Од крајот на XIX век па се до денес во зависност од интензитетот на истражувањата напишани се голем број на трудови од сите области на геологијата.

Активностите на стручните лица од областа на геологијата се изведуваат преку Македонското Геолошко Друштво кое е формирано во 1952 година.

Во 2008 година се одржа Првиот Конгрес на Геолозите на Република Македонија од кој излезе зборник со преку 50 научни трудови од кои добар дел беа подготвени од меѓународни тимови.

Во периодот помеѓу 2008 и 2012 година во нашата земја се изведоа голем број на активности во сите полиња на геологијата. Особено важни да се споменат се интензивните истражувања на металични и неметалични минерални сировини, регионалните, геохемиските и инженерско-геолошките, итн.

Вториот Конгрес на Геолозите на Република Македонија претставува сублимат на научните сознанија базирани на споменатите геолошки истражувања и испитувања кои се одвиваа на територијата на нашата земја во периодот од 2008-2012 година. Исто така, на конгресот е презентирани и дел од работата на колеги геолози од соседните земји, така да и овој пат со задоволство може да констатираме дека конгресот има меѓународен карактер.

## **PREFACE**

Geological science on the territory of Republic of Macedonia has long tradition, and is mainly connected to the mining activities. There are numerous localities where coins from copper and bronze age are found. Traces from exploitation of gold in the river Konjska-Gevgelija and other places are known, in the time of Alexander the Great. In eastern Macedonia the mining was very intensive during the Roman period.

First scientific geological data for the territory of Macedonia are found in the first half of XIX century, and the first printed papers for our region are found at A.Bue (1828-1870) and Viksenel (1842). From the end of XIX century until today, depending on the intensity of the investigations numerous publications are presented in all fields of geology.

The activities of geological scientists are performed in the frame of the Macedonian Geological Society which is formed in 1952.

In 2008 the First Congress of Geologists of Macedonia was held. Proceedings with over 50 papers were published. Numerous papers were prepared by international teams.

In the period between 2008 and 2012 investigations in all fields of geology were performed. Especially important to mention are the investigations of metallic and non-metallic mineral resources, regional, geochemical, engineering-geological, etc.

The Second Congress of Geologists of Republic Macedonia presents sublimates of scientific knowledge based on the mentioned geological investigations which were conducted in the period 2008-2012. Also, the congress presents part of the work of colleagues from neighboring countries, so with great pleasure we can once again confirm its international character.

**Претседател  
на организационен одбор**

**President  
of organizing committee**

Проф. д-р Милорад Јовановски

## СОДРЖИНА

## CONTENTS

<b>1. Регионална геологија, тектоника и палеонтологија</b> .....	<b>1</b>
КРАИШТИДИ ВО РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА <i>Александар Стојанов</i> .....	3
GEOLOGICAL AND PETROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE VOLCANIC CENTERS FROM THE UPPER VOLCANOGENIC-SEDIMENTARY UNIT FROM THE WESTERN SREDNOGORIE, BULGARIA <i>Stefan Veleв, Rossen Nedialkov, Irena Peytcheva, Albrecht von Quadt</i> .....	7
PALAEOZOIC EVOLUTION OF THE OGRAZH DEN UNIT (SERBO-MACEDONIAN MASSIF, BULGARIA AND MACEDONIA) <i>Ivan Zagorchev, Constantin Balica, Ioan Balintoni, Evgeniya Kozhoukharova, Gavril Săbău, Elena Negulescu</i> .....	13
ПРИЧИНИ И НЕОТЕКТОНСКО СТРУКТУРИРАЊЕ НА ГЕОПРОСТОРОТ НА Р.МАКЕДОНИЈА <i>Гаврил Миравовски</i> .....	19
ГЕОТЕКТОНСКИ РАЗВОЈ НА ЛАКАВИЧКИОТ ГРАБЕН ВО АЛПИСКИОТ ОРОГЕН ЦИКЛУС <i>Гоше Петров, Виолета Стојанова, Војо Мирчовски</i> .....	29
МЕТОДОЛОГИЈА И ПРИНЦИПИ ЗА ИЗРАБОТКА НА ОГК-2 НА РЕОНОТ ПЛАЧКОВИЦА <i>Зоран Донеv, Благојчо Божинов</i> .....	35
ПРОЕКТ ЗА ИЗРАБОТКА НА ОСНОВНА ГЕОЛОШКА КАРТА ОГК 2 РЕОН ОГРАЖДЕН-БЕЛАСИЦА М 1:50.000 <i>Сашо Георгиевски, Санде Донеv, Игор Митев</i> .....	43
БИОСТРАТИГРАФИЈА НА ОВЧЕПОЛСКИОТ ПАЛЕОГЕНСКИ БАСЕН, Р. МАКЕДОНИЈА <i>Виолета Стојанова, Гоше Петров, Виолета Стефанова</i> .....	53

<b>2. Металоѓенија и наоѓалишта на минерални суровини</b>	.....	<b>63</b>
HYDROGEN ISOTOPIC STUDY OF THE BOROVIĆ MINERALIZED SYSTEM, KRATOVO-ZLETOVO VOLCANIC AREA <i>Todor Serafimovski, Goran Tasev, Tadej Dolenc, Nastja Rogan-Šmuc, Dalibor Serafimovski, Petra Vrhovnik, Matej Dolenc, Timotej Verbovšek</i>	.....	65
PORPHYRY Cu-Mo-Au-Ag-DEPOSITS OF THE NORTHEAST OF RUSSIA, COMPARISON WITH SIMILAR DEPOSITS OF THE R. MACEDONIA SEGMENT OF THE TETHYS BELT <i>Alexander Volkov, Todor Serafimovski, Goran Tasev</i>	.....	73
FLUID INCLUSIONS STUDY IN THE QUARTZ FROM THE ZLETOVO MINE <i>Goran Tasev, Todor Serafimovski</i>	.....	83
THE POTENTIAL OF THE NONMETALLIC MINERAL RESOURCES IN THE REPUBLIC OF MACEDONIA <i>Orce Spasovski, Daniel Spasovski</i>	.....	91
ПЕРСПЕКТИВНИ ГЕОЛОШКИ ФОРМАЦИИ КАКО НОСИТЕЛИ НА СИЛИЦИСКИ СУРОВИНИ ВО РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА <i>Крсто Блажев, Андреј Блажев</i>	.....	95
THE POSSIBILITIES TO USE THE TRAVERTINE AND ONYX – GULABOVA CAVE, BESISTE VILLAGE (WESTERN MACEDONIA) AS AN ARCHITECTURAL STONE <i>Orce Spasovski, Zoran Kostovski, Daniel Spasovski</i>	.....	103
STRUCTURAL RESEARCH ON DOLOMITE MARBLES IN BELOVODICA MINE FROM THE ASPECT OF MARBLE EXPLOIATATION <i>Vasja Dameski, Blazo Boev</i>	.....	109
QUALITATIVE COAL FEATURES FROM DEPOSIT NEGOTINO, R. MACEDONIA <i>Milica Nikolova, Orce Spasovski</i>	.....	117
ПРИМЕНЕТА МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊАТА НА НАОЃАЛИШТЕТО НА ЈАГЛЕН МАРИОВО, ЛОКАЛИТЕТ С. БЕШИШТЕ <i>Зоран Донеv</i>	.....	123
ЈАГЛЕНОВО НАОЃАЛИШТЕ “МАРИОВО” ПРЕСМЕТКА НА КВАЛИТЕТ И РЕЗЕРВИ <i>Елизабета Ралева, Златко Илијовски, Данче Тодорова</i>	.....	131

ГЕОЛОШКИ И СТРУКТУРНО -ТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЈАГЛЕНОВОТО НАОЃАЛИШТЕ „ЖИВОЈНО“ <i>Ласте Ивановски, Петре Пасков, Елизабета Ралева, Владимир Костовски</i>	.....	139
КОМПАРАТИВНИ СОГЛЕДУВАЊА НА ГЕОЛОШКИ И ЕКОНОМСКИ ПАРАМЕТРИ НА ЈАГЛЕНОВИТЕ НАОЃАЛИШТА „МАРИОВО“ И „ЖИВОЈНО“ <i>Петре Пасков, Ласте Ивановски, Трифун Милевски, Данче Тодорова, Игор Пешевски</i>	.....	147
<b>3. Инженерска геологија и геотехника</b>	.....	<b>155</b>
ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ТЕРЕНОТ ОКОЛУ БРАНА КНЕЖЕВО ВО ИЗВЕДЕНА СОСТОЈБА <i>Моле Милановски</i>	.....	157
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКА КЛАСИФИКАЦИЈА НА НЕВРЗАНИТЕ КАРПИ ОД ОКОЛИНАТА НА ОХРИДСКОТО ЕЗЕРО <i>Ѓорѓи Димов, Благица Донева, Марјан Делипетров, Тодор Делипетров</i>	.....	163
ИНЖЕНЕРСКО ГЕОЛОШКИ И ГЕОТЕХНИЧКИ ИСПИТУВАЊА КАЈ ФЛИШНИ СЕДИМЕНТИ <i>Орце Петковски</i>	.....	169
ПРИСТАП ЗА АНАЛИЗА НА СТАБИЛНОСТ ВО АНИЗОТРОПНИ КАРПЕСТИ МАСИ СО ПРИМЕНА НА МЕТОДОТ НА ИНТЕРАКЦИОНИ МАТРИЦИ <i>Игор Пешевски, Милорад Јовановски, Наум Гапковски</i>	.....	175
STANDARD PENETRATION TEST, HISTORICAL DEVELOPMENT AND CURRENT USE OF THE TEST <i>Gareth Evans, Saša Živadinović</i>	.....	181
ПОЈАВА, ФОРМИРАЊЕ И САНАЦИЈА НА СВЛЕЧИШТА ВО УРБАНИ СРЕДИНИ НА ТЕРИТОРИЈАТА НА ОПШТИНА ШТИП <i>Љупче Кулаков, Зоран Ѓорѓиевски, Златко Илијовски</i>	.....	189
СВЛЕЧИШТЕ ВО ПОВРШИНСКИ КОП СУВОДОЛ, МИКРОЛОКАЦИЈА – 7, НЕГОВА ПОЈАВА И ИСКУСТВА <i>Љупчо Петрески, Анита Мартиновиќ, Марија Манева</i>	.....	195
МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ИЗРАБОТКА НА ДИГИТАЛНАТА ГЕОЛОШКА КАРТА НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА (РАЗМЕР 1:100000) <i>Благоја Маркоски, Милорад Јовановски, Свемир Горин, Игор Пешевски</i>	.....	203



<b>4. Пейрологија и минералогија</b>	.....	<b>211</b>
ГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕПИДОТ – (Pb), ПИЕМОНИТИТ – (Pb) ОД „МЕШАНАТА СЕРИЈА“ БЛИЗУ с. НЕЖИЛОВО, МАКЕДОНИЈА <i>Никита Чуканов, Симеон Јанчев</i>	.....	213
GEOLOGY AND MINERALOGY OF ALLCHAR Sb-As-Tl-Au DEPOSIT <i>Blazo Boev, Gligor Jovanovski, Petre Makreski</i>	.....	215
МИНЕРАЛОШКИ И ХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА КЕРАМИЧКИТЕ ГЛИНИ ОД НАОЃАЛИШТЕТО ГРАДЕЦ, ВИНИЦА, Р. МАКЕДОНИЈА <i>Миле Илиев, Орце Спасовски</i>	.....	233
IR SPECTROSCOPICAL CHARACTERISTICS OF METAMICT ALLANITE-(Ce) <i>Andrea Čobić, Nenad Tomašić, Vladimir Bermanec</i>	.....	239
COLLOIDAL ORIGIN OF COLLOFORM-BANDED TEXTURES IN THE LOW-SULFIDATION, SEDIMENTARY ROCK-HOSTED AU-AG KHAN KRUM (ADA TEPE) DEPOSIT, SE BULGARIA <i>Irina Marinova, Rositsa Titorenkova, Valentin Ganev</i>	.....	245
ELECTRON BACKSCATTER DIFFRACTION-BASED IDENTIFICATION OF MICROPHASES IN ALTERED MONAZITE <i>Mihail Tarassov, Eugenia Tarassova</i>	.....	253
SPHALERITE CYCLIC TWINS FROM STARI TRG MINE, TREPČA, KOSOVO <i>Vladimir Zebec, Snježana Mikulčić Pavlaković, Željka Žigovečki Gobac, Vladimir Bermanec</i>	.....	257
STAR-LIKE GALENA CRYSTALS FROM STARI TRG MINE, TREPČA, KOSOVO <i>Željka Žigovečki Gobac, Vladimir Zebec, Snježana Mikulčić Pavlaković, Vladimir Bermanec</i>	.....	261
MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF THE NI-LATERITE WEATHERING CRUST ON THE OPHIOLITES NEAR GORNJE OREŠJE, MEDVEDNICA MTS., CROATIA <i>Marta Kiš, Sabina Strmić Palinkaš, Ladislav Palinkaš, Vladimir Bermanec</i>	.....	265
MINERALOGY AND THE FLUID INCLUSION DATA OF THE BONČE TOURMALINE-BEARING PEGMATITE, THE SELEČKA MTS., REPUBLIC OF MACEDONIA <i>Danijela Šmajgl, Sabina Strmić Palinkaš, Ladislav Palinkaš, Štefica Kampać, Blažo Boev, Tamás Váczi</i>	.....	271

<b>5. Геохемија и геохемија на срединаџа</b>	.....	<b>277</b>
ГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ВИНА ПРОИЗВЕДЕНИ ВО ДОМАШНИ УСЛОВИ ВО ОБЛАСТА ТИКВЕШ		
<i>Иван Боев, Соња Лепиткова, Тена Шијакова, Орце Спасовски, Блажо Боев</i>	.....	279
GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE WATERS FROM THE GEOTHERMAL SYSTEM ZDRAVEVCI		
<i>Orce Spasovski, Daniel Spasovski</i>	.....	311
ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ТЕШКИ И ТОКСИЧНИ МЕТАЛИ ВО ВОДИТЕ ОД ГРАДСКИОТ ВОДОВОД ВО ШТИП СО ПРИМЕНА НА МЕТОДАТА НА ICP- AES		
<i>Марјан Максимов, Блажо Боев, Весна Зајкова Панова</i>	.....	317
ГЕОХЕМИЈА НА СТРИМ СЕДИМЕНТИТЕ И НИВНА ПРИМЕНА ВО ПРОСПЕКЦИЈАТА НА НАОЃАЛИШТА ВО Р. МАКЕДОНИЈА		
<i>Виолета Стефанова, Војо Мирчовски, Росен Неделков, Виолета Стојанова</i>	.....	325
INDOOR RADON AND SOIL RADIOACTIVITY IN KRUSEVO, REPUBLIC OF MACEDONIA		
<i>Zdenka Stojanovska, Blazo Boev, Jovan Januseski, Mimoza Ristova</i>	.....	331
<b>6. Хидрогеологија и геотермија</b>	.....	<b>337</b>
KARST AQUIFERS CHARACTERISATION ON THE RESULTS OF TIME SERIES ANALYSIS – CASE EXAMPLE OF SERBIAN KARST AQUIFER		
<i>Igor Jemcov</i>	.....	339
ХИДРОГЕОЛОШКА РЕОНИЗАЦИЈА НА ПОДРАЧЈЕТО НА ГРАД СКОПЈЕ И МОЖНОСТИ ЗА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНАТА ВОДА ЗА НАВОДНУВАЊЕ НА ЗЕЛЕНИ ПОВРШИНИ		
<i>Златко Илијовски, Моме Милановски, Никола Димов</i>	.....	347
PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MINE WATERS AT ABANDONED MINING SITES IN SERBIA		
<i>Veselin Dragišić, Nebojša Atanacković, Vladimir Živanović, Gordana Milentijević</i>	.....	355
COMPARATIVE ANALYSIS OF APPLICATION OF DRASTIC AND PI METHOD IN THE PROTECTION OF NATIONAL PARK TARA GROUNDWATERS		
<i>Vladimir Živanović, Veselin Dragišić, Igor Jemcov, Nebojša Atanacković</i>	.....	361

ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА СУБАРТЕСКИОТ ВОДОНОСНИК ВО СЕЛОТО КРУШЕАНИ – ПРИЛЕП <i>Војо Мирчовски, Виолета Стефанова, Тена Шијакова-Иванова, Владо Мирчовски</i>	369
МАЛИ ВОДИ НА КАРСТНИОТ ИЗВОР СТУДЕНЧИЦА <i>Атанас Угрински, Војо Мирчовски, Гоше Петров</i>	375
THERMAL MATURITY OF THE MESOZOIC SEDIMENTS IN THE CENTRAL SOUTHERN PART OF THE MOESIAN PLATFORM <i>Nikola Botoucharov</i>	381
МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕ НА ПЕТРОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА <i>Стојанче Николов, Александар Буов, Јован Првуловиќ, Милорад Јовановски</i>	387
ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЈАГЛЕНОВОТО НАОЃАЛИШТЕ „ЖИВОЈНО“ <i>Костадин Јовановски, Данче Тодорова</i>	395
МЕТОДОЛОГИЈА НА ИЗВЕДБА НА БУНАРСКИ СИСТЕМ ЗА ОДВОДНУВАЊЕ НА ПЈС РЕК БИТОЛА ОД ПОВРШИНСКИ И ПОДЗЕМНИ ВОДИ <i>Стојан Михаиловски, Никола Димов, Мирјана Трпчевска, Љупчо Петрески</i>	403
<b>7. Геофизика</b>	<b>411</b>
ГЕОЕЛЕКТРИЧЕН МОДЕЛ НА КОЧАНСКАТА ДЕПРЕСИЈА <i>Благица Донева, Љупче Ефнушев, Ѓорѓи Димов, Сања Постолова</i>	413
ИНВЕРЗНА ЕКСТРАПОЛАЦИЈА НА БРАНОВО ПОЛЕ –МИГРАЦИЈА <i>Сања Постолова, Благица Донева, Марјан Делипетров, Тодор Делипетров</i>	419
<b>8. Геолошко и културно наследство</b>	<b>425</b>
ПРИМЕНА НА ЕЛЕКТРОНСКАТА МИКРОАНАЛИЗА ВО АНАЛИЗА НА ПРИМЕРОЦИ ОД КУЛТУРНОТО НАСЛЕДСТВО <i>Блажо Боев</i>	427

**РЕГИОНАЛНА ГЕОЛОГИЈА, ТЕКТНИКА И  
ПАЛЕОНТОЛОГИЈА**



# КРАИШТИДИ ВО РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА

Александар Стојанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Бул. Јане Сандански 114/-1/8, Скопје Тел. 02/2448179, Моб. 076980419

## Апстракт

Главна причина постојат ли Краиштиди во Македонија е базирана врз следните битни факти. Прво зошто така остро и наеднаш е пресечено олово цинково оруднување од Осоговски тип во северозападен правец. Второ, зошто исто така е прекинато продолжување на Саса-Тораничкиот длабочински расед и тоа на потполно ист начин. Трето за практика најважно каде, како и дали такво олово цинково оруднување некаде продолжува. Одговори на сиве овие клучни прашања досега бараат многубројни специјалисти од геолошка наука и практика, а меѓу нив е и авторот на овој текст. Краиштиди согласно дадената дефиниција од Еким Бончев/1958г./ претставуваат една одделна геолошка, тектонска и металогенетска единица. Таа единица како лиаментно-геосинклинална зона се карактеризира со сопствена седиментација, магматизам и источна вергентност. Заради постоење на економски ресурси Краиштината зона е проучувана, истражувана и испитувана. Географски и геолошки е поврзана како една целина, а териториално зафаќа територии од Србија, Бугарија и Р. Македонија. Вниманието на овој труд е посветено на Краиштиди во Македонија, а деловите во соседните држави ги нагласуваме само како непосредна взаемна поврзаност.

**Клучни зборови:** Краиштинска геолошка зона, Девебаирски ров, Црцориски ров, Тектонски здробена зона, Кустендилски разлом, реверсен расед, ерупциони фази, Краиштинска металогенетска зона, деленити

## ВОВЕД

Краиштиди се наоѓаат во североисточниот регион на Република Македонија и го зафаќаат најсевероисточниот дел на Општина Крива Паланка. Јужно и југоисточно се ограничени со правецот Крива Паланка-Деве Баир, југозападна граница е правецот Узем-Чупино Брдо. Северно е државната граница со Србија, а североисточно со Бугарија. Геолошките граници не се поклопуваат со државните граници. Краиштините се соединети во една целина.

## ДОСЕГАШНИ ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

Први документирани конкретни резултати од геолошки истражувања и испитувања на овој терен има извршено Академик Коста Петковиќ. Резултати од тие истражувања и испитувања ги објавил во 1937 година.

Две години подоцна Јован Томиќ одредил геолошка старост на седиментни карпи од локалностите Деве Баир и Голема Црцорија. Нивната геолошка старост е палеогена. Тие седименти се пробиени со магматски дацитско андезитски карпи. Екипа на Курт Јенко/1954г./ метаморфните карпи ги дели на долна и горна метаморфна серија. Пространството вдолж границата со Бугарија

го прикажува како многу лабилна зона во која се манифестираат ерупции од вулкански карпи. Таа екипа истовремено регистрира минерални суровини, кои послужиле како база за подоцнежни детални геолошки истражувања и испитувања. Во 1963 година екипа од Геозавод-Србија под раководство на Клисиќ М. извршува детално геолошко картирање/1:10 000/ и проспекција на терен од с. Луке до Киселица Кривопаланечко. Во книгата Тектонски строеж на Бугарија за Кустендилска раседна система се наведува, дека таа раседна система има генерален правец на протегање И-З. Го зафаќа целиот кристалинен систем. Представува активна сеизмичка зона, а истовремено е проводник на термални и термоминерални води. Оваа раседна система се манифестира и во плиоцен и плеистоцен. Кустендилската раседна система се простира по северниот раб на Осоговскиот антиклиниориум. Општиот правец на протегање е 70°, а пооделни сателитски раседи се со протегање 50-80°, со правец на пад кон север. Широчината на дробење е пратена со милонитизација изнесува максимално 500м. Се протега од Деве Баир кон Крива

Паланка, а продолжува Кумановска бања-Катлановска бања.

Р. Иванов и други/1971г. / јужно од Ѓуешево констатирале Саса-Тораничкиот расед пресечен е со исток-североисточен Ќустендилски расед. Последниот расед го ограничува Осогово од северна страна. Авторите утврдиле многу дајкови ситно порфирни деленити кои се распоредени во правец на протегање 70- 75. Дебелината на ефузивните изливи во Ѓушевска свита постепено се зголемува од север кон југ. Максимална дебелина е кај врв Околеш/Бугарија/. Тоа е основа да се смета дека Ќустендилски расед играл важна улога како проводник на магма, а затоа сведочат ситно порфирните деленити.

Ќустендилски расед ја контролира и овозможува седиментацијата, но геолошки по млади седименти го покриват местимично. Пост палеогените движења по Ќустендилски расед го определува пропаѓањето на Каменичката котлина и во однос на планината Осогово.

А. Харковска препорачува примена на структурна анализа при изучување на киселите магматски карпи. Второ при споредување на нивното оладување на Копривскиот тип вулканити и несинхронизирани мали интрузии од Осоговскиот блок дошла до следниот заклучок. Површината на Преколншки ров со исклучок на неговите северозападни делови не може да се смета како перспективна за истражување на олово цинкови оруднувања од Осоговски тип.

Истата авторка за вулканокластични дајкови со структури на течење од атарот на с. Ѓуешево дава мошне детални податоци за структурните карактеристики и структурната положба, со цел да ја разјасни генезата и го определи нивното место во развивањето на палеогениот магматизам во Преколншкиот палеогенен грабен. Ги анализира резултатите од теренските, лабораториските и кабинетските работи, го утврдува нивниот распоред, во просторот, нивните меѓусебни односи кон другите карпи, меѓусебните контакти и нивниот хемиски состав. Границата на димензиите е од алевролитите до 10м. По петрографските карактеристики разликува лавокластична група дајкови и пирокластични туфови.

По структури на течење-одредува три морфолошки вариетети, тракасти, рамни со

леќасти уклопци и трета со лискунски луспи кои се гледаат само под микроскоп.

Тракастите се карактеристични за лавокластични дајкови, но и во некои туфови. Рамните се издвоени по количинскиот однос на одломците и цементната маса вулкански и невулкански одломци. Сите овие испитувања се однесуваат и за нашата територија во граничниот појас од Деве Баир до Жеравино. /А. Харковска и С. Христов/.С. Христов и М. Карајовановиќ/1976г. / во нивниот труд Толкувач за ОГК-1 е сублимирано следното, Основата на теренот геолошки е изградена од зелени шкрилци со рифеј-камбријска геолошка старост. Горноеоценски седименти се развиени во нормална флишна фација и вулканогеноседиментна. Вдолж државната граница кон с. Голеш има и плиоценски седменти. Во седиментите кај Старчев Дол најдена е фауна од гастроподи и отпечатоци-флора. Нивната геолошка старост е определена како горно еоценска, а најгорните делови може да бидат олигоценски. Минерални суровини се констатирани антимонов оруднувања кај с. Крстов Дол кои се во фаза на истражување. Каустобиолити, битуминозни шкрилци, кафејав јаглен и лигнит се откриени како појави без значителна економска вредност. Од Толкувачот за ОГК-2 се користени структурно-геолошките податоци кои го покажуваат продолжувањето на Ќустендилскиот расед во околината на Крива Паланка. Н. Ѓорѓевиќ за геолошката градба на подрачјето околу Крстов Дол наведува, дека учествуваат мошне различни стратиграфски и литолошки членови. Во основата се зелени шкрилцикварцсерцитски, серцитски, мусковитски, хлоритско-амфиболски, амфиболски шкрилци, амфиболити и кварцити/. Се смета дека се со рифеј-камбриска геолошка возраст. Доминантни во градбата на тоа подрачје се еоценски седименти, вулканогени субвулкански, интермедиарни магматити и нивните ефузивни еквиваленти. Авторот ги именува како Црцориски ров.

Тектонска градба е карактеристична со тектонски здробени, а најзабележителни се најмладите со протеѓње СЗ-ЈИ. Металогенетски освен антимонското

рудно наоѓалиште, ги наведува појавите на комплексна сулфидна минерализација и оруднувања на локалностите, Самар, Плавило и Клисуре. Ив. Загорчев констатира дека Струмската област не е Краиштинска зона, туку е Српско-Македонска зона. Во овој труд дадени се основни податоци за геолошката градба на наоѓалиштето Крстов Дол, промени во околните карпи, лоцирање на антимонското оруднување, морфолошка градба на наоѓалиштето, рудните минерали и минералите на јаловината. Врз основа на извршените геолошки, рударски, дупчачки работи пресметани се рудни резерви со гранична содржина 0, 90 / антимон. Авторите констатираат геолошка сродност во Српско-Македонска маса се уште е контраверзна. Ние извршивме XRF анализи на магматски карпи од Краиштинска зона /Западна Бугарија/, вниманието ни беше да го откриеме нивното потекло. Анализите го покажаа нивниот калкален карактер. Тие исто така ја покажаа разликата помеѓу базичните и киселите карпи кои се сместени тектонски простори. Ја утврдивме повеќе-фазната магматска ерупција во развојно геолошко време, но не со стриктно исто магматско потекло. Интерпретиравме магматски карпи од Краиштинските со вулканизам кои се разликува од тои што се наоѓа во непосредната околина. Од слика.1 многу очигледно е прикажан правецот на протегање на Кустендилскиот разлом од Ѓуешевска-Крива Паланка-Кумановска бања. Во книгата многу јасно се истакнати сличностите на геолошкиот состав и тектонските структури во Р. Србија и Р. Македонија кои се релевантни за Краиштинските.

## ДИСКУСИЈА

Врз база на докажните резултати од геолошките истражувања и испитувања, несомнено е потврдено. Во морфо-структурното градење на Краиштинските се забележуваат два мегацикла. Првиот е во докамбриски геолошки период кога е формиран кристалинниот цокл, а вториот после палеозоик кога фактички е создаден Краиштинскиот карактер на таа зона. Во текот на горен еоцен па се до плиоцен се таложени конгломерати, конгломерати по прослојци од песочници во тектонските ровови Деве Баир и Голема Црцорија. Постои прекин на добро познатата Српско-Македонска маса на дел од територијата на

Република Македонија. Тој прекин го условиле реверсните структури кои се паралелни со Кустендилскиот реверсен расед. Многубројни тектонски здробени зони условиле пробив на деленити. Деленитите во раседните здробени зони се доказ за прекинување на Саса-Тораничкиот длабочински расед и олово цинковото оруднување од Осоговски тип. Овој факт и практично го потврдија многу истражувачи на овој терен. Останува недоволно разјаснето каде точно е дислоцирано олово цинковото оруднување и Саса-Тораничкиот длабочински расед. Постојат извесни податоци, дека на територијата на Бугарија со длабинско дупчење е докажано постоење на кварцграфитични шкрилци, еден од показателите за олово цинково оруднување од Осоговски тип или поточно Саса и Тораничко олово цинково оруднување. Со натамошни геолошки истражувања и испитувања ќе се добие вистинскиот одговор на ова битно прашање.

## ЛИТЕРАТУРА

- Brukner M., Oluic M., Tomanic S. (1992) *GIZIS geografski i zemljisni informaciski sustav Republike Hrvatske* (методолошка студија), Zagreb.
- К. Петковиќ Појаве оловних руда у околини села Лука и Караманица северно од Криве Паланке, Гласник Скопског научног друштва, књ. X Св. 5 Скопје
- Ј. Томиќ Извештај о теренском испитувању на листу „Крива Паланка“, “Кратово“ и “Плачковина“. Годишњак Геол. Инст. Кр. Југ. за 1939г., Београд
- К. Јенко, И. Несторовски, А. Ивановски, Т. Ивановски Извештај за геолошко картирање на теренот Кривоаланечка Околија во врска со појавување на олово-цинкани орудненија. Св. 1, 2. Стр. фонд Геол. Завод СРМ. Скопје 1954
- М. Клисиќ, И. Миќиќ, С. Мариќ, Д. Мартиновиќ Извештај о картирању и проспекцији подручја Луке-Киселица Крива Паланка Стр. фонд Завода за геол. и геоф. истр. Београд 1963
- Тектонски строеж на Бугарија Софија 1971 стр. 249-254, 261-267 и 435-436
- Иванов Р., Арнаудова Р., Чернявска Св. Врху възраста на палеогенски вулканизъм во Западна Бугарија по данни на геолого-петрографски и палиноложки изследвања. БАН. кн. XX, Софија, 1971 стр. 243-268



А. Харковска Структурни особености и структурна обусловеност на палеогенетските вулкани в Преколншкия ров Югозападна България Автореферат на дисертация София 1972  
 Александра Влдимирова Харковска Структурни особености и структурна обусловеност на палеогенетските вулкани в Преколншкия ров Югозападна Бългаия Център за научноизследователска, развойна и проектанска дейност по геология Геологически институт. София 1972 стр. 3-8 и 18-22.

А. Харковска Вулканоклстические дайки со структурами течения района с. Гюешево, Кюстендильского Округа Списание на Българското Геологическо дружество год. XXX КН. Април 1972 стр. 76-85

С. Христов, М. Карајовановиќ, Ј. Јанчевски и В. Иванова Толкувач за листовите Кратово и Кустендил Белград 1976

Александар Стојанов, Миладин Ковачевиќ Толкувач за Геолошка карта 1: 50 000 на Осогово Западен обод на Саса-Тораничка зона Скопје 1987

М-р Н. Ѓорѓевиќ Извештај за извршените истражни работи на антимон Крстов Дол во 1987г. Скопје 1988

Ив. Загорчев 1993 г.

Александар Стојанов, М-р Киро Петровски Лежишта на антимон во Република Македонија Зборник на трудови Струга 1996 стр. 75и76.

Harkovska A. , Peckay Z. The Tertiary Magmatism in Ruen Magmato-Tectonic Zone/W. Bulgaria/- A Compasison of New K-Ar Ages and Geological Data Stip-Dojran 1997

Geochemical analisis of plutonic rocks From the Kraishte area/Western Bulgaria/, Geologisch Institut, ETH Zurich, Switzerland p. 125-130 Stip-Dojran 1997

Bosko Stajevic, South-Eastern Structures in Serbia Determined by Remote Detection Stip-Dojran, 1997 p. 152

А. Стојанов Геология на Босилеградско Горно Тлъмино 2011



**ЛЕГЕНДА**

- |    |     |
|----|-----|
| 1. | 9.  |
| 2. | 10. |
| 3. | 11. |
| 4. |     |
| 5. |     |
| 6. |     |
| 7. |     |
| 8. |     |

1. деленици
2. кварцлатити
3. тектонски ров
4. Еоценски седименти
5. зашкриени зелени карпи
6. релативно спуштена блок
7. реверсен расед со означени траџи
8. антимон Крстов Дол
9. Полиметални орудувања
10. Граница зелени карпи - Краиштиди
11. државна граница

Слика 1. Краиштиди во Р.Македонија

# GEOLOGICAL AND PETROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE VOLCANIC CENTERS FROM THE UPPER VOLCANOGENIC-SEDIMENTARY UNIT FROM THE WESTERN SREDNOGORIE, BULGARIA

Stefan Velev<sup>1</sup>, Rossen Nedialkov<sup>1</sup>, Irena Peytcheva<sup>2</sup>, Albrecht von Quadt<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sofia University "St. Kliment Ohridski", 15 "Tzar Osvoboditel", Sofia, Bulgaria, velev@gea.uni-sofia.bg; rned@gea.uni-sofia.bg

<sup>2</sup> Geological Institute of the Bulgarian Academy of Sciences, 24 acad G. Bonchev str., Sofia, Bulgaria, peytcheva@erdw.ethz.ch

<sup>3</sup> ETH, 8092 Zurich, Switzerland, albrecht.vonquadt@erdw.ethz.ch

## Abstract

Volcanic and pyroclastic rocks composing Upper volcanogenic-sedimentary unit in Western Srednogorie are result from the activity of three volcanic edifices: Lulin, Breznik and Zavala volcanic centers. Similarities between them are confined to facies belongings of the volcanism - predominance of pyroclastic and epiclastic products over volcanic products. As far as Lulin and Breznik volcanites manifest similar petrographic and geochemical features, Zavala volcanites clearly differ. The source of the magma is presumed to be enriched mantle melted at a low to moderate percentage. Nevertheless that there are differences between the volcanic centers, the magmatic evolution is dominated by the fractionation of clinopyroxene, plagioclase, amphibole and less olivine and phlogopite.

**Key words:** Western Srednogorie, volcanic centers, magmatic evolution, amphibole fractionation

## INTRODUCTION

Western Srednogorie magmatic region is a part of the so called "Srednogorie volcano-intrusive zone" (Dabovski et al., 2008) with Upper Cretaceous age, assigned latter to the Apuseni – Banat – Timok – Srednogorie metallogenic zone (Popov et al., 2002).

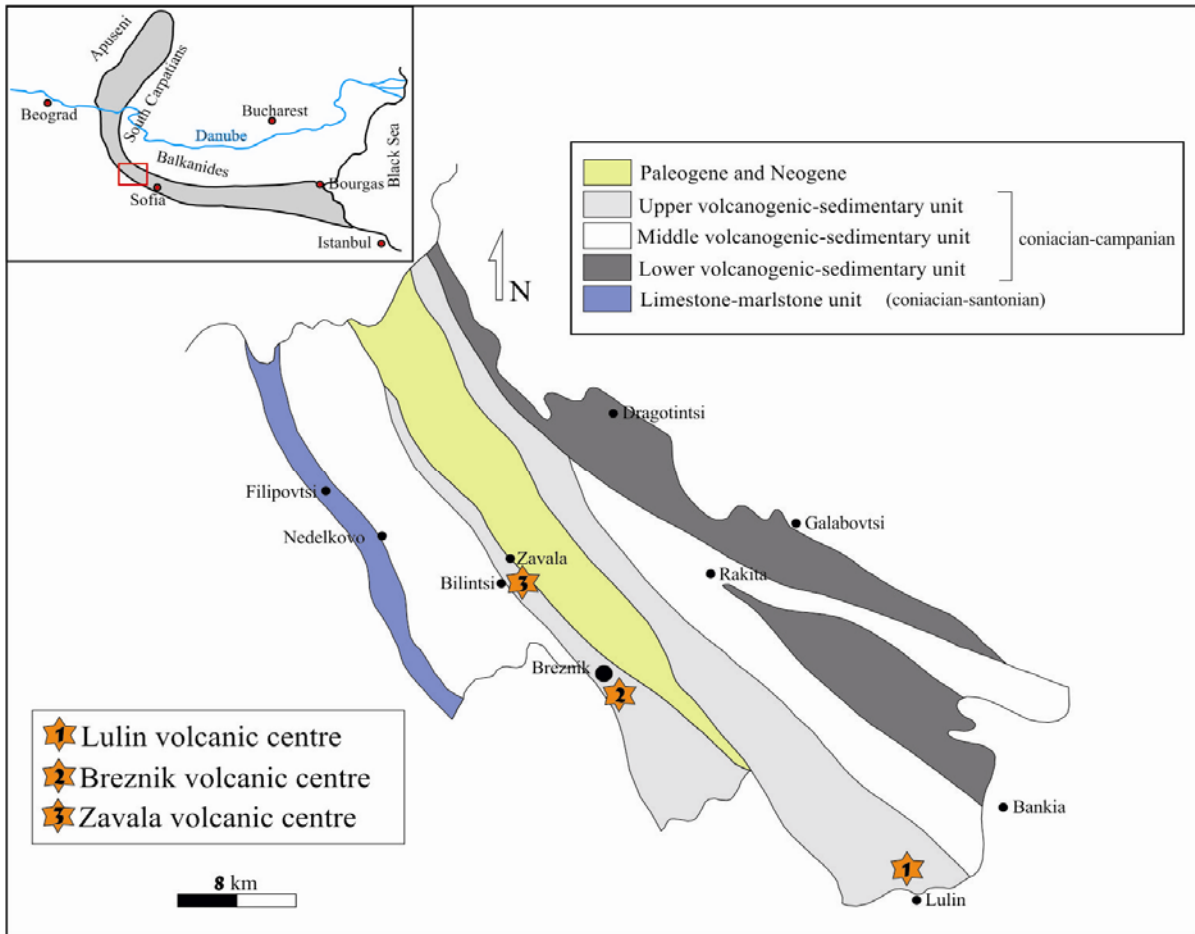
Adopting the paleovolcanic reconstruction of Bairaktarov (1989), magmatic rocks in Western Srednogorie are products of the activity of seven "Volcanic complexes" (Vitoshka, Burel, Nedelkovo, Rakita, Lulin, Breznik, and Zavala). It has been assumed (Bairaktarov, 1989) that they were formed during the time span - Coniacian- Campanian. According to the adopted from Dabovski et al. (2008) stratigraphic subdivision of the products of Vitoshka and Burel paleovolcanic centers correspond to the formation of the Lower volcanogenic – sedimentary unit. The products of Rakita and Nedelkovo paleovolcanic centers correspond to the Middle volcanogenic – sedimentary unit. Those of Lulin, Breznik and Zavala participate to the formation of the Upper volcanogenic – sedimentary unit.

The aim of the present study is the geological and petrological characteristic of the paleovolcanic centers of the Upper

volcanogenic – sedimentary unit, and namely the Lulin, Breznik and Zavala volcanic centers (fig. 1).

## ANALYTICAL METHODS

For the purposes of the present investigation were carried out field works aiming a detailed characteristic of volcanic centers and rock sampling. From the collected samples, 27 thin-sections were prepared and investigated by routine polarized microscope. The detailed study of the volcanic centers is based on 12 wet silicate analyses (made in the Chemical Laboratory of Sofia University "St. Kliment Ohridski") and 10 analyzes for trace-elements and Rare Earth Elements (analysed by LA – ICP – MS in the Geological institute of BAS and 2 samples in ETH Zurich). The rocks were classified according to TAS classification diagram of Le Maitre et al. (1989). For the determination of the volcanic series the SiO<sub>2</sub> vs. K<sub>2</sub>O diagram of Peccerillo & Taylor (1976) was applied. The volcanoclastic rocks were named according the Schmid (1981) grain-size classification. For the tectonic setting determination of magmatism were used geochemical characteristics of the selected rock samples from the three investigated volcanic centers.



**Figure 1.** Schematic map of the Western Srednogorie zone. (after Dabovski et al., 2008, with modifications). At the top, scheme of the Apuseni-Banat-Timok-Srednogorie belt with the position of the studied area.

## RESULTS

### Geology and petrography of the volcanic centers

The products of the **Lulin** paleovolcanic centre built up a part of the ridge and the southwestern slopes of Lulin Mountain. The exposed main rocks are represented predominantly by volcanoclastic rocks (both pyroclastic and epiclastic) including rare thin and interrupted lava flows. The intensive tectonics has removed volcanic edifice from initial position and hampers the localization of the volcanic center. For instance, Bairaktarov (1989) has determined the volcanic center at the vicinity of the Divotino Monastery, in virtue of the presence of poorly sorted, coarse-grained pyroclastic rocks, concentration of dykes, subvolcanic and lava bodies.

The volcanic rocks are black, with porphyritic texture with plagioclase and pyroxene phenocrysts. Plagioclase clearly predominates. Phenocrysts constitute about 20-25% of the

rock volume. Typical for lava flows have banding structure with multicolored layers of volcanic glass. Commonly amygdaloidal structure occurs conditioned by the presence of gas bubbles filled by low-temperature hydrothermal mineralization. The texture of the ground mass varies from hyaline to microcrystalline.

Plagioclase phenocrysts are fresh, euhedral, being 2.5 mm in size along long axis. Specific feature for some of them is the presence of zonal arrangement. Plagioclase contains inclusions from brown volcanic glass, pyroxene, apatite and ore minerals.

In contrast to plagioclases, the pyroxenes are sometimes more altered. The size of pyroxenes is strongly variable reaching up to 1.5 mm.

Rare phenocrysts of olivine are supposed on the basis of their morphology but they are completely replaced by secondary alteration products.

On the TAS - diagram, the analyzed compositions plot into the field of the calc - alkaline andesites.

The rocks of **Breznik** paleovolcano built up the hill situated south of Breznik town.

Similarly to Lulin paleovolcanic center volcanoclastic products dominate. Lava flows are quantitatively subordinated. Dykes and subvolcanic bodies are also present but rare. At about 1 km south-southwestern of Breznik, among agglomerate tuffs, a few subvolcanic bodies are intruded forming a chain with subequatorial orientation. Subvolcanic bodies are characterized by elliptical outlines with a diameter about 10 m with clearly marked concentric and radial joints, spaced at about 10 to 40 m one from another. These peculiarities give a reason to interpret them as a group of fracture controlled magmatic vents.

Because of the intensive alteration of the products of Breznik volcanic center, the fresh rocks are relatively rare, but they are mineralogically and petrographically similar to the volcanites of Lulin volcanic center.

According to adopted classifications, the rocks are mainly potassium trachybasalts and shoshonites referred to the high potassium calc - alkaline to shoshonitic series.

The products of **Zavala** volcanic center built up a narrow strip northeastern from Garlo and Bilintsi villages, reaching northwest to Butrintsi village.

In this volcanic center, similarly to the previous two, the volcanic rocks are predominantly volcanoclastic, formed mainly by agglomerate tuffs and subordinated epiclastics. Volcanic and subvolcanic rocks are present in small quantities. West-northwest of Vidritsa village, outcrop three subvolcanic bodies, disposed close one to another that could be interpreted as magmatic vents. The subvolcanic body, exposed between the villages Zavala and Bilintsi, probably determines another volcanic center with spatially associated coarse pyroclastic rocks.

Subvolcanic bodies cropping out in this region have plagioclase, pyroxene and amphibole phenocrysts constituting about 30-35% from the rock volume. The phenocrysts occur

among completely recrystallized groundmass. A special interest provokes the established among them cumulate hornblenditic xenoliths with still unclear petrogenesis.

The established pyroclastic and epiclastic rocks have more variegated petrography. There are layers of volcanic clasts with plagioclases and pyroxenes phenocrysts or with plagioclase, amphibole, pyroxene and biotite phenocrysts. The epiclastic sequences have clasts with variable sizes.

On the TAS - classification diagram the rocks plot on the boundary between the fields of the basaltic trachyandesite and trachyandesite, having  $Na_2O - 2,0 > K_2O$ , and respectively could be referred as mugearites and benmoreites. On the diagram  $K_2O$  vs.  $SiO_2$  rocks fall into the field of high - K calc - alkaline series except one sample belonging to the calc - alkaline series.

## Geochemistry

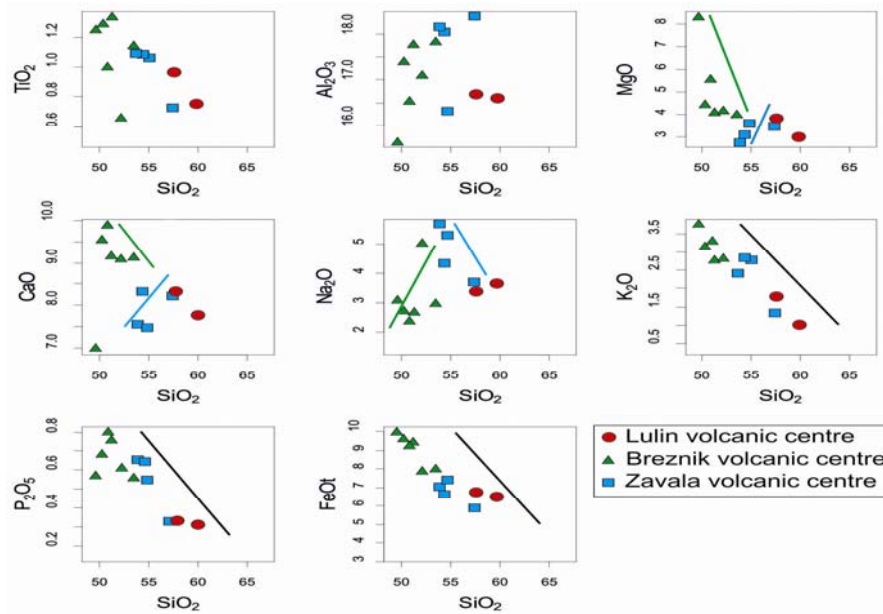
### Major elements

The variations of major elements of the rocks from the three centers are shown on Harker diagrams (fig. 2) where  $SiO_2$  was used as an index of differentiation.

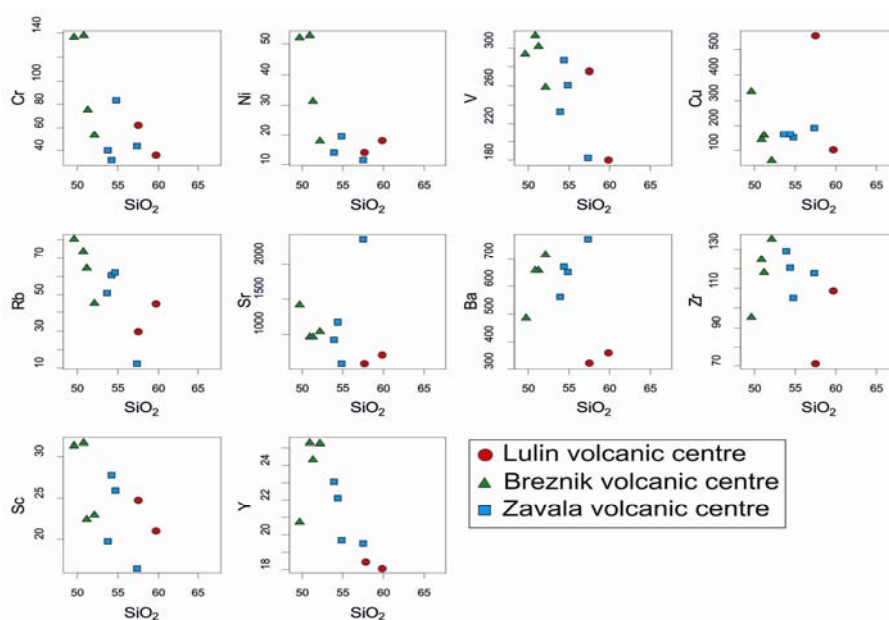
On the diagrams a trend of Ti, K, P, and Fe contents decreasing with  $SiO_2$  increasing is clearly manifested. For Breznik and Zavala centers Al increase slightly with magmatic evolution, whereas Mg decreases in Lulin and Breznik with increasing of  $SiO_2$ . The behavior of Mg in Zavala centers is unusual being increased with magmatic evolution. Sodium displays trends of slight diminishing with  $SiO_2$  increasing in Zavala volcanites, while in Breznik and Lulin centers the contents of Na increase.

### Trace elements

Variations of trace elements are shown on fig. 3. The three studied centers display similar trends for Cr, Ni, V, Rb having decreasing contents with magmatic evolution. For Ba the opposite trend is manifested. The contents of Sc and Y in Zavala centers slightly decrease with increasing of  $SiO_2$ . Other elements do not display clear trends.



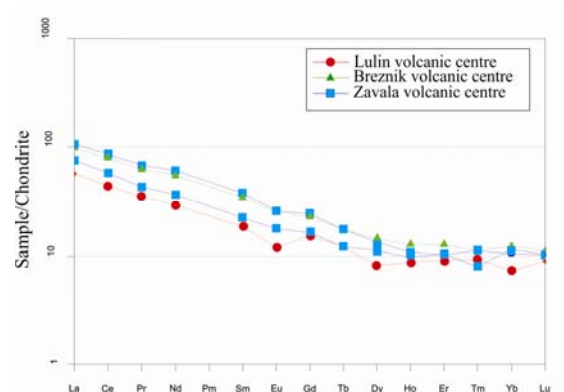
**Figure 2.** Major elemental variations within the rocks of Lulin, Breznik and Zavala volcanic centers.



**Figure 3.** Trace elemental variations within the rocks of Lulin, Breznik and Zavala volcanic centers.

*Rare earth elements (REE)*

Chondrite – normalized REE patterns are shown on fig. 4. The rocks from the three volcanic regions display patterns with enrichment of LREE relative to HREE. The volcanites of Breznik and Zavala centers are more enriched in REE in comparison to the Lulin center. The rocks manifest gentle Europium anomaly, particularly well presented in the Lulin volcanic center.

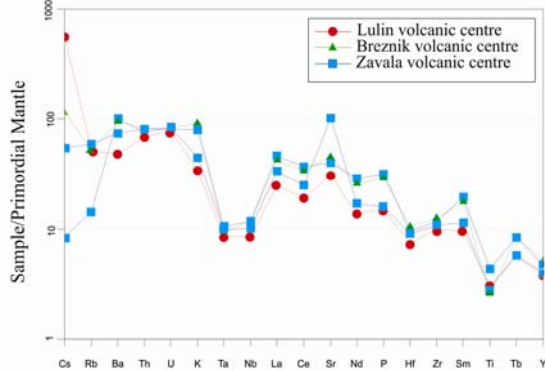


**Figure 4.** Chondrite – normalized rare earth element abundance of the Lulin, Breznik and Zavala volcanic rocks. (after Boynton, 1984)

## INTERPRETATIONS

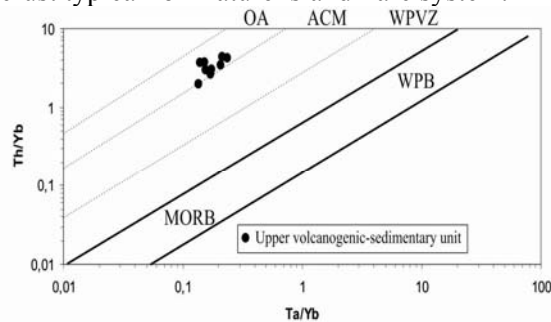
### *Tectonic setting*

The Spider diagrams of selected elements normalized to primordial mantle (Wood et al., 1979) display the typical for subduction settings negative anomalies for Nb, Ta and Ti (fig. 5).



**Figure 5.** Spiderdiagrams of the primordial mantle normalized volcanic rocks of Lulin, Breznik and Zavala volcanic samples. (normalization after Wood et al., 1979)

The diagram Ta/Yb vs. Th/Yb of Gorton & Schandl (2000) (fig. 6) gives an opportunity to delimit active continental margins from island-arc systems. Most of the analyzed samples plot into the field of volcanic arc, closely to the boundary with active continental margins. Most likely, these data testify for a thickened crust typical for mature island - arc system.

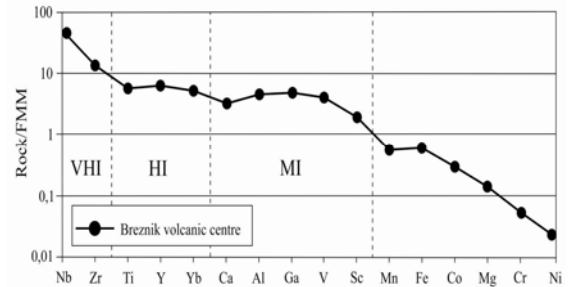


**Figure 6.** Ta/Yb vs. Th/Yb discriminant diagram. (after Gorton & Schandl, 2000). The diagram is divided into three tectonic fields: oceanic arcs (OA), active continental margins (ACM) and within – plate volcanic zones. (WPVZ)

### *Magma genesis and magmatic evolution*

As a first step we make an attempt to determine the source rocks that melt and to determine the characteristics of the parental melt. For this purpose we use the more primitive magma composition from the analyzed samples showing MgO content more than 5 wt. % and SiO<sub>2</sub> below 52 wt. %.

For clarifying the peculiarities of the mantle melting above subduction zones was used distribution of some major and trace elements normalized to FMM (fertile MORB mantle), (Pearce & Parkinson, 1993). On the spidergram (fig. 7), from left to right, trace and major elements are arranged in order to decreasing of their incompatibility.



**Figure 7.** Spiderdiagrams for the most primitive volcanic rock from the Breznik volcanic centre, normalized to fertile MORB mantle. (after Pearce & Parkinson, 1993)

On the spider diagram for the most primitive composition from Breznik volcanic center, the ratio between VHI (very highly incompatible elements), HI (highly incompatible elements) and MI (moderately incompatible elements) is as follows VHI > HI > MI. Such peculiarity of the pattern testifies for low to moderate percentage of melting (about 5%) of enriched FMM according the investigations of Pearce & Parkinson, (1993). That why we suppose that the source rocks represent enriched, metasomatised mantle.

Undoubtedly, the magmatic evolution is related to the processes of fractional crystallization. It is confirmed by the behavior of some of the compatible elements Fe, Ti, Mg, and Ca displaying trends of decreasing with the magmatic evolution. The decrease of Fe and Ti owes to fractionation of titanomagnetite in combination with other mafic minerals (pyroxenes and amphiboles), whereas Ca and Mg decrease as a result of crystallization of amphibole, clinopyroxene and partly plagioclase. Some trace elements such as Cr, Ni, V, Sr, Zr, and Y also display similar trends. The decrease of Cr and Ni content could be related to the fractionation of olivine, clinopyroxene and spinel, while V has relation to Fe-Ti oxides. The diminishing of Na and Y content, well presented in Zavala centers, could be ascribed to the fractionation of amphibole. This is confirmed by the presence of hornblenditic xenoliths

incorporated in subvolcanic bodies from the Zavala volcanic center. The decrease of P content with the magmatic evolution in the three centers due to the fractionation of apatite. The decreasing of K with SiO<sub>2</sub> increasing could be explained only with a fractionation of potassic mineral phase (flogopite) that could crystallize early in water rich primitive melts. The specific trends of MgO and CaO increasing with magmatic evolution for the Zavala magmatic center contradict the tendencies explained by the fractionation of mafic minerals. These specific trends could be explained if we allow simultaneous to the fractionation, intensive fluid assisted melting of clinopyroxenites at greater depth.

## CONCLUSIONS

The studied volcanism most probably occurred in a mature island arc setting (increased thickness of the crust). The most primitive melts let us suppose that the parental magma is a product of the low to moderate percent melting of an enriched mantle source. The

## REFERENCES

(Bairaktarov, 1989): Bairaktarov Ivan, 1989: Upper Cretaceous metallogeny of Western Srednogie and Plana Mountain. PhD thesis, Research Institute for Mineral Resources, Sofia, 197 p. (in Bulgarian)  
 (Boynton, 1984): Boynton W. 1984: Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite study. In: Henderson P (Editor) Rare Earth Element Geochemistry, p. 63-114, Elsevier, Amsterdam.  
 (Dabovski et al., 2008): Dabovski Christo, Kamenov Borislav, Sinnyovski Dimitar, Vassilev Emil, Dimitrova Ekaterina, Bairaktarov Ivan, 2008: Upper Cretaceous geology. – In Zagorchev Ivan, Dabovski Christo, Nikolov Todor (Eds.). Geology of Bulgaria. Volume II, part 5. Mesozoic geology. Sofia, Prof. Marin Drinov Academic Publishing house, 355 p. (In Bulgarian with English abstract).  
 (Gorton & Schandl, 2000): Gorton M., Schandl E., 2000: From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc – related and within – plate felsic to intermediate volcanic rocks. – The Canadian Mineralogist, Vol. 38, pp. 1065 – 1073.  
 (Le Maitre et al. 1989): Le Maitre R., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre J., Le Bas M., Sabine P., Schmid R., Sorensen H., Strekeizen A., Woolley A., Zanettin B., 1989: A classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the international union of

diminishing of alkaline elements K, Na, Rb simultaneously with magmatic evolution is due likely to the early fractionation of flogopite and amphibole from water-saturated alkaline parental magma.

The correlation of Zavala centers to Upper volcanogenic-sedimentary unit is under discussion. The rocks from this center are clearly different by their petrography and geochemical peculiarities from the two other centers. The peculiarities of the geochemical evolution of the center could be explained if we assumed intensive fluid-assisted melting of clinopyroxene at the Moho level parallel to the fractionation of amphibole.

## ACKNOWLEDGEMENT

The present study is accomplished with the financial support of the Scientific Fund of the Sofia University “St. Kliment Ohridski”, project N 155/2012.

geological sciences subcommission on the systematics of igneous rocks. R. Le Maitre (Ed.), Blackwell, 193 p.

(Pearce & Parkinson, 1993): Pearce J. A., Parkinson I. J., 1993: Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. – In: Prichard, H. M. et al. (eds), Magmatic Processes and Plate Tectonics. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 76, 373 – 403.

(Peccerillo & Taylor, 1976): Peccerillo A., Taylor S., 1976: Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contribution to Mineralogy and Petrology, **58**, 63-81.

(Popov et al., 2002): Popov P., Berza T., Grubic A., Ioane D., 2002: Late Cretaceous Apuseni – Banat – Timok – Srednogie (ABTS) Magmatic and Metallogenic belt in the Carpathian – Balkan orogen. – Geologica Balc., 32, 2 – 4; 145 – 146.

(Schmid, 1981): Schmid R., 1981: Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the IUGS subcommission of the systematic of igneous rocks. Geology, 9, 41-43.

(Wood et al. 1979): Wood D.A., Joron J., Treuil M., 1979: Re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. Earth and Planetary Sci. Letters, 45, 326-336.

# PALAEOZOIC EVOLUTION OF THE OGRAZH DEN UNIT (SERBO-MACEDONIAN MASSIF, BULGARIA AND MACEDONIA)

Ivan Zagorchev<sup>1</sup>, Constantin Balica<sup>2</sup>, Ioan Balintoni<sup>3</sup>,  
Evgeniya Kozhoukharova<sup>4</sup>, Gavril Săbău<sup>5</sup>, Elena Negulescu<sup>6</sup>

<sup>1&4</sup> *Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, e-mail i\_zagorchev@yahoo.com*  
<sup>2 & 3</sup> *“Babeş-Bolya” University, Cluj-Napoca, Romania, e-mail ioan.balintoni@ubbcluj.ro*  
<sup>5 & 6</sup> *Geological Institute of Romania, Bucharest, Romania*

## Abstract

The Ograzhden Unit is one of the allochthonous to parautochthonous tectonic units within the Serbo-Macedonian Massif of the Alpidic Morava-Rhodope Zone. It is situated between the Vardar Zone and the Pirin-Pangaion Zone of the Rhodope Massif and is thrust eastward over the latter. The amphibolite-facies metamorphic rocks are referred to the Ograzhdenian metamorphic supercomplex. Isotopic U-Pb studies (LA-ICP-MS on zircons) of metagranites and the host biotite migmatites yielded Ordovician to Silurian ages whereas former Rb-Sr studies point at a Cadomian event. The new data are compared to evidence about the metamorphics of the Vertiscos Unit (SMM, Northern Greece), and the Krupnik metamorphics (northern parts of the Pirin-Pangaion Unit). A similar Palaeozoic evolution of Cadomian crust of Perigondwanan origin is suggested.

**Key words:** Serbo-Macedonian Massif; Cadomian origin, Ordovician-Silurian evolution

## INTRODUCTION

The Ograzhden Unit is situated west of the Rhodope Massif s.s. and refers to the Serbo-Macedonian Massif within the Alpidic Morava-Rhodope tectonic zone [1, 2, 3]. The unit is built up mostly of the amphibolite-facies polymetamorphic Ograzhdenian supercomplex [4, 5, 6, 7, 8] intruded by Palaeozoic and younger granites.

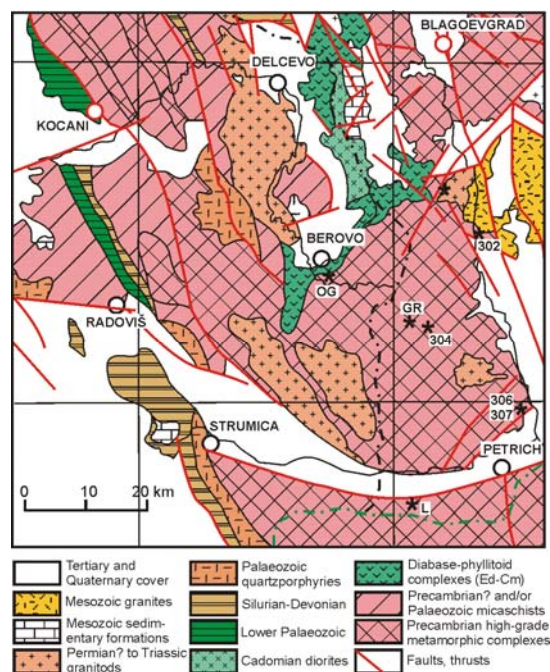
Modern isotopic studies began with applying the Rb-Sr method about 30 years ago (summary in [9]), and extensive U-Pb studies on zircons were performed during the last decade. The present paper aims to present some of the new results obtained, and to comment on the known evidence and its implications to the Palaeozoic geodynamics of the region.

## METHOD APPLIED

The methods applied are described in more details elsewhere [10]. A special attention has been given to sampling most representative rock varieties not changed by hydrothermal alterations and weathering. The large samples (about 10 kg each) have been processed, and no less than 100 zircon grains separated from each sample and further studied. Isotope LA-ICP-MS measurements were performed at the LaserChron facility, Department of Geosciences, University of

Arizona, on no less than 25 zircon grains from each igneous rock sample.

## GEOLOGIC SETTING



**Figure 1.** Schematic geological map of the Ograzhden unit (after [8]). Sampling localities are shown with sample numbers.

The geologic structure of Southwest Bulgaria and the adjacent territories of Macedonia and



Greece is characterized by several pre-Palaeogene tectonic units. Their composition and interrelations are subject of controversies.

The Ograzhden Unit and the Lisiya crystalline block in the core of the Struma Unit are built up of the Ograzhdenian supercomplex. It consists of two complexes formerly described as groups: a predominantly amphibolitic Troskovo complex, and a predominantly gneissic Maleshevska complex. Our results obtained up to now concern the Maleshevska complex, and our descriptions will be restrained to the latter. It consists of two-mica and biotite gneisses interlayered with mica schists, hornblende-biotite gneisses and amphibolites. Graphite-, garnet-, kyanite-, sillimanite- or tourmaline-bearing gneisses and schists have been observed, too. The protoliths of these gneisses and schists are mostly terrigenous sedimentary rocks of pelitic and psammitic character. Amphibolite layers are concentrated in packets (members), and are most probably of basic metavolcanic origin. The amphibolite layers and packets often contain layer-parallel rootless bodies of serpentinized harzburgite as well as larger metabasic bodies (metapyroxenites, meta-gabbroids) that may occur also as lenticular bodies within the gneisses and migmatites. The metabasites are transformed into amphibolites at the contacts and along shear zones within their interior parts. Some metabasite bodies have been partially or entirely eclogitized before the amphibolite-facies metamorphism.

The Ograzhden unit is bounded on Bulgarian territory to the North by the Kadiytsa thrust and the faults of the Brezhani fault zone. The thrusts of the Strimon thrust zone, mostly buried beneath the Neogene filling of the Sandanski graben, represent the eastern boundary (with the Pirin-Pangaion unit). The Maleshevska complex is characterized by a dominant elongation of all structures (foliation, lineations, folds) in NNW-SSE direction that is also the dominant trend of the first-order folds. A complex interference pattern of earlier WNW-ESE and NNE-SSW folds has been observed in several domains. Attempts for elucidation of the metamorphic and tectonic evolution have been made [4, 5, 3], and the following sequence has been suggested for the Maleshevska complex in the northern part of the unit [e.g., 4]:

D1 event: formation of early syn-metamorphic recumbent folds F1 with WNW-ESE hinges and lineation, and boudinage of layers of metaarkoses (quartzofeldspathic gneisses)

D2 event: formation of synmetamorphic NNE-SSW folds interfering with the WNW-ESE folds; mineral lineation, boudinage of amphibolite layers

D3 event: formation of normal (to WSW-vergent) synmetamorphic and synultrametamorphic folds trending NNW-SSE; boudinage of amphibolite layers;

D4 event: synultrametamorphic formation of NNW-SSE shear zones and transposition structures

D5 event: fracturing and faulting with formation of (1) pegmatite and aplite veins, and (2) low-T quartz veins

D6 event: faulting and formation of dolerite dykes and small gabbroic bodies

D7 event: second metamorphic phase culminating to ultrametamorphism - NNW-SSE folds, amphibolite-facies metamorphism with superimposed foliation in boudinaged and folded pegmatite and aplite (transformed in quartzofeldspathic gneisses); diatectic formation of granitoids (Gorna Ribnitsa) with skialiths and enclaves of the pegmatite and quartz of the D5 event

D8 events: regressive phase(s) with formation of shear zones, pegmatite and quartz veins; some of the D8 events can be as late as the NE-vergent Alpidic thrusting of the Ograzhden over the Pirin unit.

The dating of the events schematically enumerated meets considerable difficulties. It has been suggested [9] on the basis of Rb-Sr whole-rock isochron studies that the D7 event could be of Cadomian age (c. 550 – 530 Ma). The Ograzhdenian gneiss-migmatitic supercomplex was considered [1] to be a product of Cadomian tectonometamorphic amalgamation of pre-Cadomian continental crust with oceanic crust fragments (ultramafic and mafic rocks including well-preserved norite to troctolite with amphibolitization along shear zones – [4]), followed by a second migmatization event. Cadomian and post-Cadomian shear zones and foliation-parallel extensive shear transpose the initial pre-Cadomian and early Cadomian structures. Recent studies [11-15] by the U-Pb method performed on zircons revealed the presence also of Ordovician to Silurian and of Triassic granites. The whole

Ograzhden unit has been thrust (greenschist-facies mylonites) over the Pirin (Pirin-Pangaion) unit of the Rhodope massif along the Strimon thrust and its ramifications, and further on, intruded by Alpidic granitoids and subvolcanic bodies.

## RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained by the authors are summarized in Table 1.

**Table 1.** Zircon *La*-ICP-MS data on samples from the Ograzhden unit

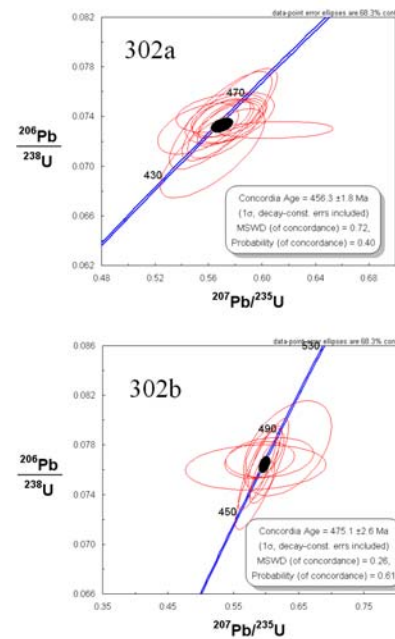
No	Rock, locality	Age, Ma
302	Bi gneiss, Yavorov RWS	454.1±1.6 – 456.3±1.8 475.1± 2.6 – 483.6±1.1
304	Bi gneiss, Tsaparevo	439.4±1.6 – 448.7±2.4
306	Augengneiss, Ribnik	433.0±1.5 – 443.7 ±1.2
307	Metagranite, Ribnik	459.2 ± 1.7 – 461.2±2.0
GR2	Amphibolite after norite	454.0 ± 2.1
L [10]	Lozen metagranite	451.9 ± 1.3
OG [7]	Gneiss south of Berovo	465 ± 6

The analysed samples come mostly from biotite gneisses and migmatites (samples 302, 304, 306). Their composition corresponds to granites but the interlayering with amphibolites points to probable metasedimentary and metavolcanic protoliths that have undergone multiphase granitization and migmatization described in details elsewhere [3, 4, 5, 6]. The predominant morphological types are stromatitic migmatites with granitic leucosome, in transition to migmatites with lenticular or eyed (“Augen”) structure.

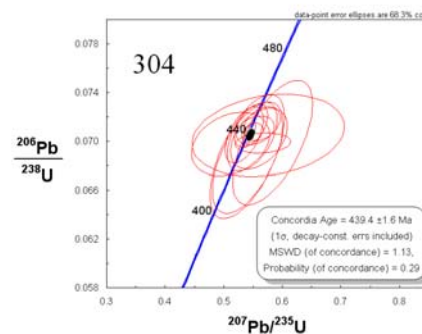
Sample 302 comes from the outcrops of the Maleshevska complex at the tunnel near the Railway Station Yavorov. Biotite and hornblende-biotite gneisses are interlayered with amphibolites. The latter contain a rootless lensoid body of apoharzburgitic serpentinite. The peripheral zone of the lense contains talc, tremolite, vermiculite and chlorite. Desilicified pegmatite forms dykes inside the body.

The leucosome in the metatectic migmatites is of granitic composition and has uneven boundaries with the melanosome. Analyzed concordant zircon grains show a bimodal distribution. The best fit for both maxima on the Concordia plot (Fig. 2) corresponds to an Ordovician magmatic event. The other two

gneiss-migmatitic samples (304 and 306) fall within the Early Silurian Epoch (Fig. 3).



**Figure 2.** Concordia plots for sample 302



**Figure 3.** Concordia plot for sample 304

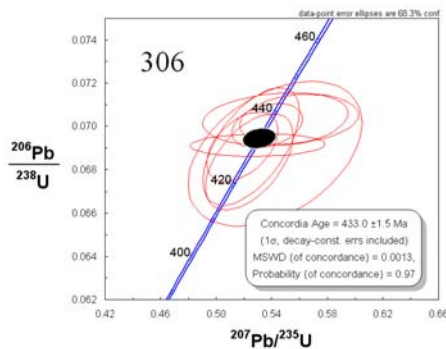


**Figure 4.** Metaquartzdiorite, road near Ribnik

A body of metagranites to metaquartzdiorites occurring between the villages of Ribnik and Lebnitsa is of special interest. It contains numerous Schlieren of mafic material as well as xenoliths from the host schists, gneisses

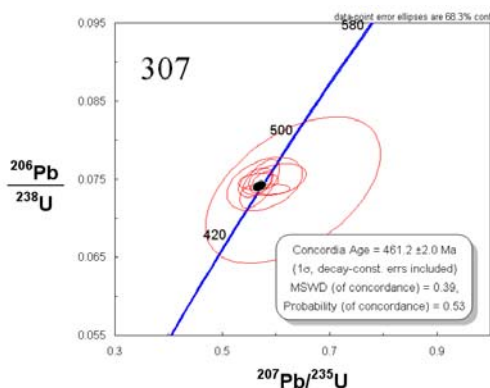
and migmatites (Fig. 4).

The dating of the zircons from the metagranitoids yielded an older age (c. 460 Ma, i.e., Ordovician) when compared to the “age” (Silurian, c. 430 – 435 Ma) of the host biotite Augengneiss (Figs. 5 & 6, Table 1). The considerable difference (25 to 30 Ma) may be explained with the more acidic composition and higher permeability of the host rocks that allowed for a much longer presence of melts and zircon crystallization in them whereas the metaquartzdiorite to metagranite body has formed a closed system after crystallization, and has been subject of metamorphism for a shorter time.



**Figure 5.** Concordia plot; Augengneiss, sample 306, road between Ribnik and Lebnitsa

All results obtained point at the presence of at least two phases of amphibolite-facies metamorphism. The first phase pre-dated the granitoid intrusion as far as gneiss and schist xenoliths are included into its body, and show different degrees of resorption. The second phase closely followed the intrusion, and overprinted the whole Ograzhden unit: both older Maleshevska metamorphics, and the Ribnik (and the similar Lozen) metagranitoids.

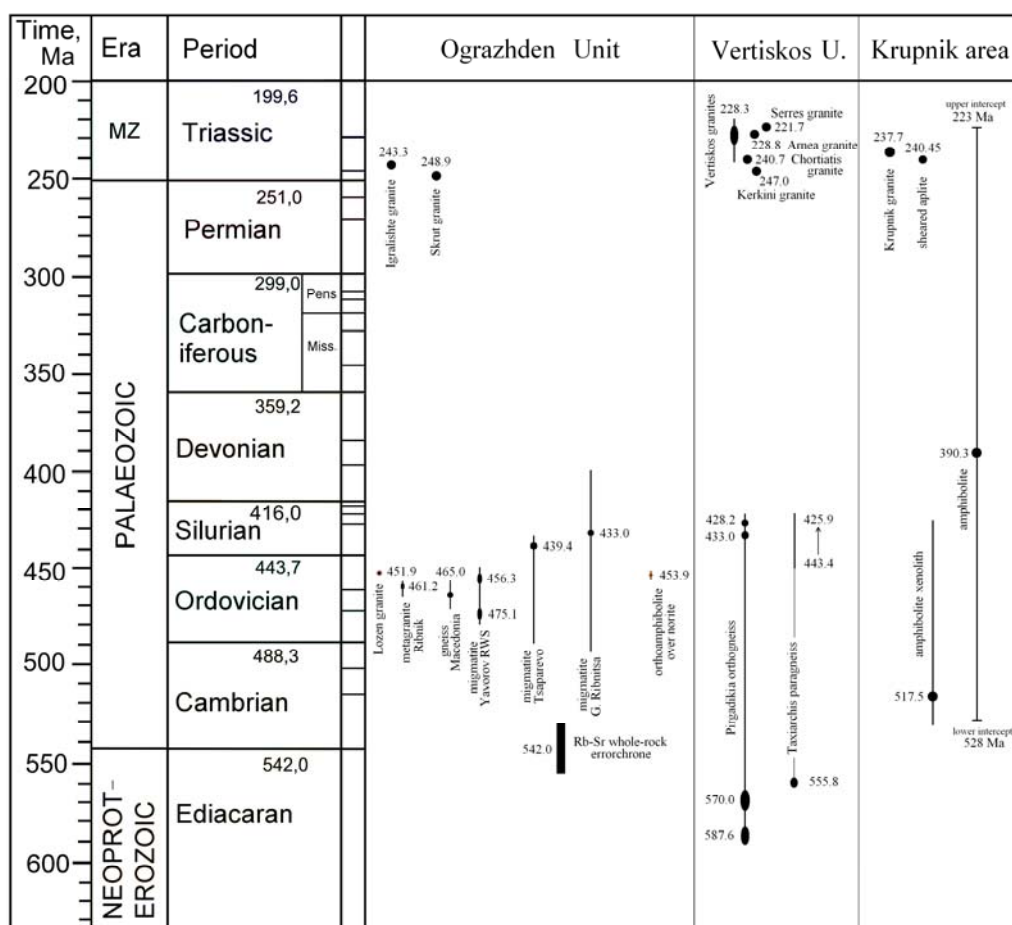


**Figure 6.** Concordia plot; metaquartzdiorite, sample 307, road between Ribnik and Lebnitsa

This conclusion is based also on the data obtained for the basic rocks at the village of Gorna Ribnitsa [4, 5, 3]. The lensoid body outcrops at about 0.3 sq. km, and is built up of very fresh-looking olivine norite to troctolite, with well-preserved olivine, rhombic and monoclinic pyroxenes and basic plagioclase, and gabbroic hypidiomorphic structure with coronas. The rocks are transformed into amphibolites both within the periphery and along shear zones in the interior. The numerous zircons studied from the peripheral amphibolites span within a wide range: from more than 2.5 Ga to a Concordia age (lower intercept) of c. 454 Ma (Fig. 7), i.e., corresponding to the Ordovician to Silurian amphibolite-facies metamorphic event.

A similar date of c. 465 Ma has been obtained [17] also for a gneiss south of Berovo, at the western margin of the Ograzhden unit. The same authors reported also an age of c. 512 Ma for zircons from a metagranite south of Stip, at the very boundary between the Vardar Zone and the Serbo-Macedonian Massif. This Cadomian date is in good agreement also with the Cadomian age obtained [18, 19, 20] for metagranites within the Pirgadikia unit, again at the eastern boundary of the Vardar/Axios zone with the Serbo-Macedonian Massif (Vertiskos unit).

The presence of Cadomian concordant zircons is not typical for the Maleshevska complex although Cadomian and pre-Cadomian cores are present. Cadomian zircon ages have been proven for the southern part (Vertiskos, Pirgadikia) of the Serbo-Macedonian Massif in Greece [18, 19, 20] and for the Krupnik metamorphics [10] referred to the northernmost parts of the Pirin-Pangaion unit [1, 7]. Cadomian age has been obtained also by Rb-Sr whole-rock isochrones on the Maleshevska gneisses [9]. These data demonstrate a close resemblance in the Cadomian history of these units as well as in the presence of postmetamorphic granite plutons of Permian to Triassic age (Fig. 7). The similarity between the Ograzhden and Vertiskos units is emphasized also by the intense Early Palaeozoic (Ordovician to Silurian; c. between 480 and 430 Ma) metamorphic overprint (end of D7 event?) over pre-Ordovician metamorphics and Ordovician granites.



**Figure 7.** Comparative timetable for zircon ages of the Palaeozoic igneous and metamorphic rocks of the Ograzhden unit and the adjacent Vertiskos unit (after [18, 19 & 20]) and Krupnik part of the Pirin-Pangaion unit (after [10]).

## CONCLUSIONS

The new evidence confirms previous ideas about the similarities between the units of the Serbo-Macedonian Massif, and supply new evidence about significant Early Palaeozoic deformational and amphibolite-facies metamorphic reworking, and the manifestation of postmetamorphic Late Permian to Triassic granitoid activity. New evidence and further refinement of geodynamic hypotheses about the Devonian to Permian history of the Serbo-Macedonian Massif should be sought through forthcoming research.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The field and laboratory studies have been made under the projects “Principal tectonometamorphic events in the basements of the South Carpathian and the Balkan orogens” and “Tectonometamorphic correlations of the South Carpathians and Balkanides” of the

Bulgarian Academy of Sciences and the Romanian Academy of Sciences, and by ID-480 grant and PN-II-ID-PCE-2011-3-0100 project awarded to I. Balintoni by CNCS – UEFISCDI units of the Romanian National Authority for Scientific Research.

## REFERENCES

- [1] Zagorchev, I. 2001. Geology of SW Bulgaria: an overview. *Geologica Balc.*, 21, 1-2, 3-52.
- [2] Dabovski, C., Boyanov, I., Khrichev, K., Nikolov, T., Sapounov, I., Yanev, Y., Zagorchev, I. 2002. Structure and Alpine evolution of Bulgaria. *Geologica Balc.*, 32, 2-4, 9-15.
- [3] Zagorchev, I., Milovanović, D. 2006. Deformations and metamorphism in the eastern parts of the Serbo-Macedonian Massif. In: *Proc. 18<sup>th</sup> Congress Carp.-Balkan Geol. Assoc.*, Belgrade; 670-673.
- [4] Zagorchev, I. 1976. Tectonic, metamorphic and magmatic markers in the polycyclic

- ultrametamorphic Ograzdenian complex. *Geologica Balc.*, 6, 2, 17-33.
- [5] Aleksić, V., S. Dimitriadis, M. Kalenić, R. Stojanov, I. Zagorčev. 1988. Serbo-Macedonian Massif. In: Zoubek, V., Cogné, J., Kozhoukharov, D., Krautner, H. (eds.) 1988. Precambrian in Younger Fold Belts. Wiley & Sons, 779-820.
- [6] Zagorchev, I. S. 1996. Complex shear and flow in the Ograzhdenian Supergroup, Southern Bulgaria. *Z. geol. Wiss.*, 24, 3-4, 255-271.
- [7] Zagorchev, I. 2008. Amphibolite-facies metamorphic complexes in Bulgaria and Precambrian geodynamics: controversies and "state of the art". *Geologica Balc.*, 37, 1-2; 33-46.
- [8] Stojanov, R., Zagorchev, I., Dumurdzanov, N., Aleksandrov, M. 1997. Palaeozoic Correlations in the Border Areas of Macedonia and Sw Bulgaria -In: Boev, B., Serafimovski, T. (eds.) Proc., Magmatism, metamorphism and metallogeny of the Vardar Zone and Serbo-Macedonian Massif, Stip, 209-214.
- [9] Zagorchev, I., Lilov, P., Morbath, S., 1989. Results of the Rb-Sr and K-Ar radiogeochronological studies of metamorphic and magmatic rocks of SW Bulgaria. *Geologica Balc.*, 19, 3, 41-54 (in Russian).
- [10] Zagorchev, I., Balica, C., Balintoni, I., Kozhoukharova, E., Săbău, G., Dimitrescu, R., Negulescu, E. 2012. Isotopic data on the age of the Krupnik granite pluton and its host rocks, Kresna horst, Krupnik Mountain, SW Bulgaria. *C.-r. Acad. Bulg. Sci.*, 65 (in press).
- [11] Macheva, L., Peytcheva, I., von Quadt, A., Zidarov, N., Tarassova, E. 2006. Petrological, geochemical and isotope features of Lozen metagranite, Belasitza Mountain – evidence for widespread distribution of Ordovician metagranitoids in the Serbo-Macedonian massif. Proceedings, "Geosciences 2006", Sofia, 209-212.
- [12] Zidarov, N., Tarassova, E., Peytcheva, I., von Quadt, A., Andreichev, V., Titorenkova, R. 2007. Petrology, geochemistry and age dating of Skrut granitoids - new evidence for Lower Triassic magmatism in Belasitza Mountain (SW Bulgaria). *Geologica Balc.*, 36, 1-2; 17-29.
- [13] Zidarov, N., Peytcheva, I., von Quadt, A., Macheva, L., Nenova, P. 2007. Distinction of crustal terranes in Ograzhden and Belasitza Mountains, Serbo-Macedonian Massif (SW Bulgaria), based on U-Pb conventional and LA-ICP-MS dating of zircons. *Ann. Rep. 13, Centr. Lab. Miner. and Crystallography, Sofia*, 18-19.
- [14] Peytcheva, I., von Quadt, A., Tarassov, M., Zidarov, N., Tarassova, E., Andreichev, V. 2009. Timing of Igralishte pluton in Ograzhden Mountain, SW Bulgaria: implications for the tectono-magmatic evolution of the region. *Geologica Balc.*, 38, 1-3; 5-14.
- [15] Milovanov P., I. Petrov, A. Marinova, E. Ilieva, I. Peytcheva, A. von Quadt, S. Pristavova. 2010. New geological and geochronological data of granitic and metamorphic rocks from SW Bulgaria, sheets Berovo (K-34-82-G) and Kresna (K-34-83-W) of the new geological map 1:50000. *Geologica Balc.*, 39, 1-2; 256.
- [16] Zagorchev, I., Balica, C., Balintoni, I., Kozhoukharova, E., Dumitrescu, R., Sabau, G., Negulescu, E. 2011. New Isotopic Data on the Metamorphic Rocks in SW Bulgaria. – 3<sup>rd</sup> International Symposium on the geology of the Black Sea Region, Bucharest; 223-225.
- [17] Antić, M., Peytcheva, I., Quadt, A. von, Kounov, A., Trivić, B., Serafimovski, T., Tasev, G., Gerdjikov, I. 2012. Protholith age and geochemistry of magmatic rocks from the Serbo-Macedonian massif (south Serbia, southwest Bulgaria and east Macedonia). *Geophysical Research Abstracts Vol. 14, EGU 2012-5638-1*.
- [18] Himmerkus F., Reischmann, T., Kostopoulos, D. 2006. Late Proterozoic and Silurian basement units within the Serbo-Macedonian Massif, northern Greece: the significance of terrane accretion in the Hellenides. In: Robertson, A. H. F., Mountrakis, D. (eds.) Tectonic development of the Eastern Mediterranean Region, Geological Society, London, Special Publication 260, 35-50.
- [19] Himmerkus, F., Reischmann, T., Kostopoulos, D. 2009. Serbo-Macedonian revisited: A Silurian basement terrane from northern Gondwana in the Internal Hellenides, Greece. *Tectonophysics*, 472; 20-35.
- [20] Meinhold, G., Kostopoulos, D., Frei, D., Himmerkus, F., Reischmann, T., 2010. U-Pb LA-SF-ICP-MS zircon geochronology of the Serbo-Macedonian Massif, Greece. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 99, 813-832.

# ПРИЧИНИ И НЕОТЕКТОНСКО СТРУКТУРИРАЊЕ НА ГЕОПРОСТОРОТ НА Р.МАКЕДОНИЈА

Гаврил Мираковски<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија,  
Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Salvador Aljende 73, Скопје,  
Република Македонија, mirak@pluto.iziis.ukim.edu.mk

## Апстракт

Геопросторот на Р.Македонија се структурира во целината на балканскиот и медитеранскиот регион. Параметрите на тектонските движења се од посебна важност за осознавање на современото и неотектонското структурирање на геопросторот од интерес. Во континенталната литосфера се реализира движење во хоризонтална и вертикална насока. Хоризонталните тектонски движења се поврзани со свлекување на пластичната и дуктилната литосфера и астеносфера во насока кон О-К дислокацијата. Вертикалните движења се поврзани со тонеење и орогено навлекување на дуктилната и пластична литосфера, и со извесно тенчење, здебелување и спласнување на литосферата. Кората и површинскиот терен се структурираат по дејство на процесите во дуктилната и пластична литосфера. Геопросторот на РМ се структурира во јадрански и егејски регион на генерално тектонско движење на литосферата кон басените во кои се генерира суфицит на волумен. Во двата региони се издиференцирани челни и подножни блокови, кои се разликуваат според параметрите и карактеристиките на тектонските процеси во нив.

**Клучни зборови:** тектонско движење, структурирање, континентална литосфера, О-К зона, океански рифт

## ВОВЕД

Геопросторот на Р.Македонија (РМ) се структурира во склоп на целините на балканскиот дел од медитеранскиот регион. Структурирањето на балканскиот регион го карактеризираат следните основни процеси (Слика 1.):

- генерално издигнување на панонскиот басен и централен Балкан, кое на југ завршува со тектонското ограничување на Кожуф Беласица-маркантната дислокација Костур-Валандовско со скршнување на исток по долината на Анска Река - Слика 1.;
- тонеење на медитеранскиот басен диференцирано во басените на Либиското, Црното, Јадранското и Егејското Море;
- Хоризонтално движење на континенталната литосфера и астеносфера со насока од домените на издигнување кон домените на тонеење, придружено со тектонски и орогени процеси.

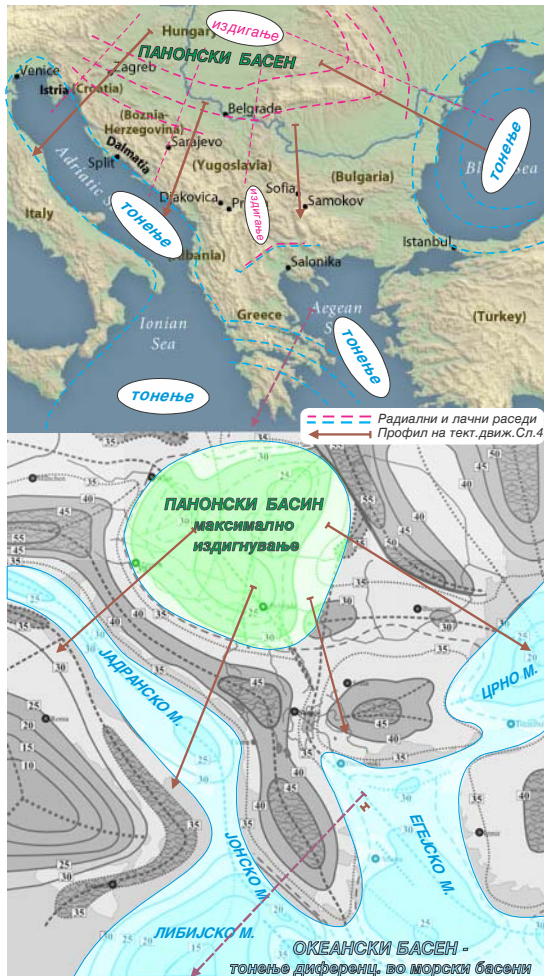
Тектонските движења на површината се директна последица од одвивањето на структурните процеси во тектоносферата, кои се одразуваат и со влијание на структурирањето на кората. Во врска со тоа познавањето на современите тектонските движења во предметниот геопростор е од посебна важност за осознавање на неговото неотектонско и современо структурирање.

Основните процеси на структурирање на балканскиот регион се резултат на одвивањето на повеќе комплексни процеси во тектоносферата на медитеранскиот регион:

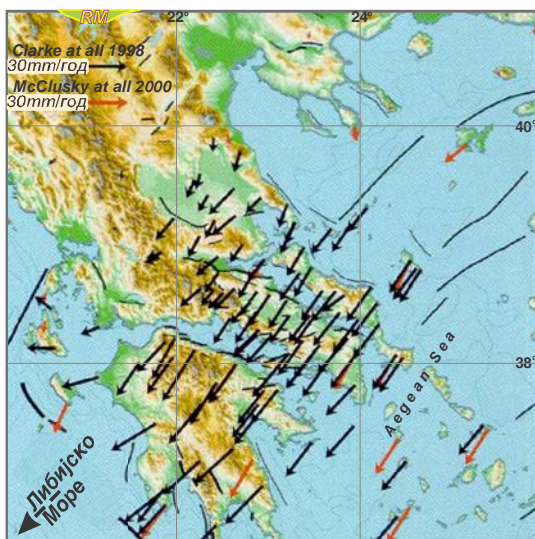
- трансформацијата на континенталната литосфера (со континенталната астеносферата) во преодна литосфера (и астеносфера);
- конвективна миграција на преодна литосфера во мантијата (конвективна миграција надолу);
- конвективна миграција на Мантија во литосферата (миграција нагоре);
- кондуктивна миграција на литосферите обвивки надолу (во континентите) и нагоре (во океаните), со придружни промени на густината и волуменот на мигрираните маси.

Одвивањето на наведените процеси во тектоносферата на медитеранскиот регион резултира во прогресивна еволуција на медитерански (средно) океански рифт, и создавање на негов океански басен во целина на рифтен систем.

Во тој контекст, актуелното толкување на еволуцијата на медитеранскиот басен како “реликт од Праокеанот Тетис во регресивен процес (постепено затварање)” се експлоатира на ниво на догма. Со тоа се забавува осознавањето на реалниот



Слика 1. Генерално структурирање на балканскиот регион од медитеранскиот басен



Слика 2. GPS - хоризонтални брзини во егејскиот басен (Mc. Clusky и др, 2000)

процес на еволуција на медитеранскиот океански рифт и басен, во целина на медитеранскиот рифтен систем (Мираковски Г., 2009-2012).

Насоката на хоризонталните тектонски движења од домените на издигнување кон домените на тоневе е потврдена со повеќе истражувања на тектонските движења со GPS-методологијата. На Слика 2 е прикажана дистрибуција на брзината и насоките на тектонските движења на егејскиот басен кон басенот на Либиското Море, како басен со најинтензивно тоневе во централниот и источниот дел на Медитеранскиот басен. Тектонското движење на поплаткиот егејски басен кон либијскиот може да се поврзе со понапреден еволутивен стадиум на медитеранскиот океански рифт во басенот на Либијското Море, во споредба со басенот на Егејското Море.

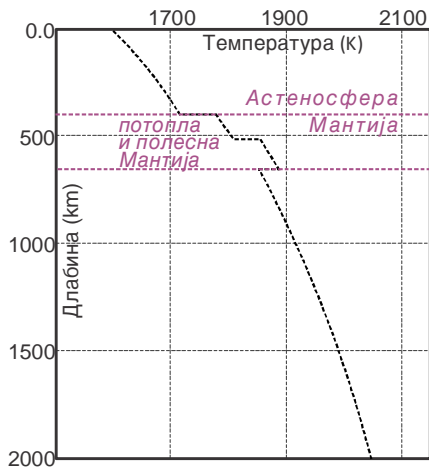
### ТРАНСФОРМАЦИЈА НА КОНТИНЕНТАЛНАТА ЛИТОСФЕРА

Трансформацијата на континенталната литосфера процесно е поврзана со дејството на внатрешната земјина топлина во основа на литосферата (во основа на астеносферата). Од тектонски аспект најсоодветно е трансформацијата на континенталната литосфера да се обработува во склоп на тектонските и магматските процеси што се одвиваат во континенталното крило на О-К (Океан-Континент) дислокацијата.

О-К дислокацијата во основа претставува тектонско разграничување на океанската од континенталната литосфера и на океаните од континентите. Но, во зоната на О-К дислокацијата се одвиваат интензивни тектонски процеси, веројатно покомплексни во континенталното крило на литосферата (со астеносферата).

Процесите во зоната на О-К дислокацијата се одвиваат под дејството на потоплата и полесна мантија испливана во надворешниот појас на течната мантијата во основа на астеносферата- Слика 3.

Појасот на потоплата мантија може да се одржува со цикличен конвективен ток од океанскиот рифт кон континентите и повратно. Покрај тоа, во појасот на потопла мантија може постојано “да се потиснува” потопла (и полесна) мантија од внатрешноста на мантијата со plume-механизмот. Двата механизми изгледаат реални, и можат да се одвиваат и во спрег.



Слика 3. Температурен профил на литосферата и мантијата според Катсура и др., 2004.

Со наведениот процес во основа на астеносферата може да се одржува обвивка на потопла и полесна мантија-Слика 3), со максимална дебелина во основа на океанскиот рифт, и со опаѓање на дебелината кон средината на континентите според намалувањето на температурата.

Полесната мантија во основа на астеносферата може (Слика 4) :

- да се инфилтрира во астеносферата до губење на силата на потисок;
- да растопува контактна астеносфера со сепарација на материјалот според температура на топење;
- да се потиснува латерално под континенталната астеносфера, во процес со тенденција на изедначување на дебелината на појасот или во склоп на конвективен ток;
- Да се лепи за (мигрира во) контактна астеносфера, како последица на побрзото

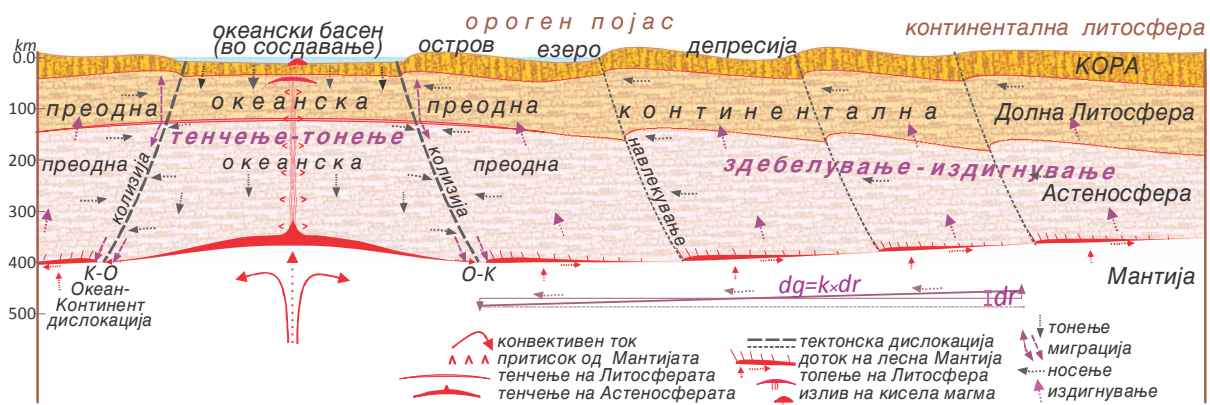
ладење на контактната зона на појасот со астеносферата.

Наведените процеси резултираат во следните ефекти:

- тенчење на океанската и здебелување на континенталната литосфера;
- спласнување на појасот на потопла (и полесна) мантија во пропорција со притокот на мантија од растопена океанска и преодна литосфера и од внатрешноста на мантијата, придружено со побрзо тонење на океанската литосфера (со дното на океанскиот воден басен) во споредба со континенталната литосфера.

Со такво спласнување на појасот на потопла мантија се формира гравитациона разлика  $dg=k \times dr$  ( $k$ -коэффициент на пропорционалност,  $r$ -радиус на Земјата), со која се принудува движење на дуктилната и пластичната континентална литосфера кон океаните “со механизам на свлекување”- Слика 4. Цврстата кора на литосферата во процесот на свлекување се носи (јава) на пластичната основа, со попатно деформирање карактеристично за камена средина (раседнување, крешење).

Движењето на континенталната литосфера “со механизам на свлекување” се судира со движење на океанската литосфера “со механизам на притискање од зоната на океанскиот рифт кон континентите” во контактната зона на континентите со океаните. Како резултат на постојаната активност и физичка контрастност, двата механизми се разграничуваат со маркантна О-К дислокација и зона.



Слика 4. Модел на тенчење на океанската и здебелување на континенталната литосферата и индуцирани тектонски движења во периодот на отварање на океански рифт



Зоната на судирот на двете движења функционира со ефект на бариера за движењето на континенталната литосфера кон океаните и на океанската литосфера кон континентите. Со тоа се произведува следната структура на О-К зоната:

- Навлекување на континенталната литосфера врз океанската;
- Подвлекување на океанската литосфера под континенталната;
- Коса форма на О-К дислокацијата и зоната, со косина произлезена од односот на ефектите на навлекување на континенталната и подвлекување на океанската литосфера;
- Формирање на неопходен бариерен склоп за одвивање на орогени процеси во преодната и граничната континентална литосфера.

За такви ефекти од судирот од примарно значење можат да бидат механизмите на движење на океанската (со притискање) и континенталната литосфера (со гравитационо свлекување), наместо разликата во нивните густини.

О-К дислокацијата во океанското дно се манифестира со длабоководен жлеб, а во астеносферата со залив на мантија со функција на “зачепен (океански) рифт”.

Со перманентниот приток на топлина во зачепениот рифт се одржува процес на температурна сепарација во преодната литосфера и астеносфера, која резултира со следните конвективни миграции:

- миграција на растопена кисела литосфера кон површината, од која ако стигне до површината се формира вулкански островски лак;
- миграција (со пропаѓање) на нерастопена базична литосфера во астеносферата, која продолжува со миграција (пропаѓање и растопување) во мантијата;
- миграција (со подвлекување) на океанска литосфера во астеносферата, со миграција (пропаѓање и растопување) во мантијата.

Со наведените процеси на конвективна миграција се генерира суфицит (празен) на волумен, кој веројатно примарно се компензира со ширење на океанскиот под (ocean floor spreading), а остатокот со пластично деформирање и повлекување на нова континентална литосфера (со астеносферата) во преодната литосфера. Со повлекувањето на нова континентална литосфера се одржува процес на

перманентна трансформација на континенталната во преодна литосфера (и астеносфера), односно процес на трансформација на континентот во океан. Овој процес практично може да се одвива до “целосна трансформација на континентот во океан”. Од тоа произлегува “еволуција на литосферата во циклуси на трансформација на континенталната во океанска литосфера, односно на континентите во океани”.

Основен процес во конвективните миграции во континенталната литосфера е миграција во мантија. Оваа миграција се компензира со инверзен процес на миграција на мантија во океанската литосферата (миграција нагоре) низ океанскиот рифт. Оваа миграција се манифестира со натрупување на океанските гребени и ширење на океанскиот под (ocean floor spreading)-практично ширење на океанската литосфера со последичен “drifting” на континентите.

Миграциите нагоре во океаните и надолу во континентите се поврзуваат во затворен циклус на миграции со следните процеси со хоризонтална насока:

- притискање на океанската литосфера од океанскиот рифт кон О-К дислокацијата (ocean floor spreading);
- затворени конвективни токови во течната мантија од океанскиот рифт кон континентите и повратно.

Интензивирањето на доводот на топлина во преодната астеносфера и литосфера се манифестира и со кондуктивна системска миграција на обвивките на Земјата нагоре (на мантијата во астеносферата, астеносферата во литосферата и дуктилната кора во цврстата кора). Зголемувањето на температурата е придружено со (намалување на густината) зголемување на волуменот, кое може да се компензира во суфицитот на волумен создаден со миграцијата надолу и со одредено издигнување на теренот.

Паралелно, во континентите се одвива кондуктивна системска миграција на обвивките на Земјата надолу (на астеносферата во мантијата, литосферата во астеносферата и цврстата кора во дуктилната кора). Намалувањето на температурата е придружено со

(зголемување на густината) намалување на волуменот, кое може да се компензира со генерално тонеење и со дефицитот на волумен создадени со миграциите нагоре.

Според елаборираното, процесите на миграција се одвиваат во комплексен причинско-последично поврзан систем со истонасочни или спротивни ефекти, со следните сумарни ефекти во океанската и континенталната литосфера:

- тенчење и тонеење на океанската литосфера, со паралелно ширеење на океанскиот под и зголемување на длабината на океанскиот басен;
- перманентна трансформација на континенталната во океанска литосфера, придружено со времено здебелување на континенталната литосфера и придружно издигнување на континентите;
- континентален рифтинг во средишните делови од континентите, кои во врска со свлекувањето на континенталната литосфера кон преодната и временото издигнување на континентите, се во состојба на максимална екстензија.

Со концентрацијата на наведените тектонски процеси зоната на О-К дислокацијата евидентно претставува најмаркантна тектонска структура во литосферата. О-К дислокацијата примарно е регистрирана според концентрацијата на земјотреси, и детерминирана како Бениоф (сеизмогена) - зона. Според тектониката на плочи во неа доминира процесот на субдукција на океанската под континенталната литосфера (во океанското крило на О-К дислокацијата). Во врска со тоа О-К зоната е детерминирана со “субдукциона зона”. Во овој труд субдукцијата на океанската под континенталната литосфера е “вишок од ширеењето на океанскиот под (ocean floor spreading)”, а примарен процес е трансформацијата на континенталната литосфера во преодна и нејзината миграција во мантијата во континенталното крило на О-К дислокацијата. Во склоп на тој процес изгледа дека подвлекувањето на океанската литосфера е условено со отпор на ширеењето на океанскиот под од натрупана преодна литосфера во континенталното крило на О-К зоната. Од тој аспект детерминацијата на оваа зона со О-К (Океан-Континент) зона е пореална од детерминацијата со субдукциона зона.

## ТЕКТОНСКИ ДВИЖЕЊА ВО КОНТИНЕНТАЛНАТА ЛИТОСФЕРА

Според погоре елаборираното Тектонското движење на континенталните маси се реализира со хоризонтално и вертикално поместување.

Хоризонталното поместување е поврзано со свлекувањето на пластичната и дуктилната литосфера и астеносферата во насока кон О-К дислокацијата, и носеење на цврстата кора на литосферата врз дуктилната и пластичната литосфера. Движењето конвергира кон домените на миграција на преодната литосфера кон мантијата, со брзина и механизам зависни и од интензитетот на миграција.

Вертикалното движење се реализира со тонеење и издигнување.

Движењето со тонеење се раководи од процесите на создавање на суфицит на волумен од миграцијата на литосфера во мантија (делумно и од повратната миграција на литосферата во литосфера со формирањето на вулкански островски лак во склоп на локален процес со времени ефекти). Тонеењето на површината се манифестира со депресији во релјефот.

Вертикалното движење со издигнување е орогенезниот процес во литосферата. Во врска со одвивањето во спротивна насока од дејството на гравитацијата, овој процес е покомплексен од тонеењето.

Формирањето на планини и депресији се раководи од односот на мигрираната литосфера во мантија и трансформираната континентална во преодна литосфера:

- побавно свлекување на континенталната литосфера кон О-К зоната (побавна компензација на суфицитот на волумен од неговото создавање) резултира со заостанување на депресија на површината;
- побрзо свлекување на континентална литосфера кон О-К зоната од миграцијата на литосфера во мантија резултира со навлекување на вишокот свлечени маси, и формирање на планински масив- најчесто венечен.

Брзината на свлекување на континенталната литосфера е во функција од гравитационата разлика  $dg$  - Слика 4, формирана со спласнување на појасот на потопа и полесна мантија, делумно и од

односот на тенчењето и тонењето на океанската литосфера и здебелувањето и издигнувањето на континенталната литосфера-Слика 4. Од тоа произлегува поврзаност на депресиите и планинските масиви со ист тектогенетски процес, и дека користењето на орогенезите како геолошки хронометри е дискутабилно. Наспроти тоа, според современото манифестирање изгледа дека орогенезите се придружни процеси на еволуцијата на океанските рифтови до оформувањето на океанскиот басен.

Медитеранскиот океански рифт е евидентно во фаза на отварање и иницијално формирање на Медитеранскиот Океан, придружено со интензивни орогени процеси во различни еволутивни фази (Пиринеи, Алпи, Динариди, Грамос-Пинд, Кавказ, ...). Механизмот на навлекување е евидентно карактеристичен за орогените процеси. Изгледа дека структурата на Кавказ е најкомплетен пример на:

- интензивно свлекување на континентална во преодна литосфера,
- билатерално орогено навлекување од двете страни на Грузиската Долина;
- оформена рифтна долина (Грузиската Долина) на суво, која евидентно еволуира во спој на секвенците на медитеранскиот рифт во Црното и Каспиското Море, и на спој на водени басени на Црното и Каспиското Море од Медитеранскиот Океан.

За движење со гравитационо свлекување е предодредено диференцирање во блокови со различна брзина и со механизам на движење прилагоден на напонската состојба (состојба на екстензија- со тонење, нормално раседнување и формирање на ровови и депрсии, состојба на компресија- со навлекување, реверсно раседнување и формирање на планински масив). Покрај тоа за движењето со гравитационо свлекување е карактеристична и попатна фазна замена на екстензијата со компресија и обратно.

За дефинирање на движење во блокови е корисно регистрирање или определување на компонентите на генерално движење на ансамбл на блокови (регионално движење) и локално движење на поединечните блокови во ансамблот. Со методологијата на GPS се оскултира апсолутно хоризонтално поместување, кои се резултанта од глобални, континентални (drifting of the continent)

регионални и локални движења. Во врска со тоа, за дефинирање на регионалните и локалните тектонски движења е неопходна екстракција на нивните компоненти од резултантните податоци. Екстракцијата се постигнува со фиксирање на репери, или со користење на соодветна методологија за просторна обработка на тектонско движење.

Методологијата на GPS сеуште не е усовершена за оскултација на вертикални поместувања, но значајно е унапредена точноста на “далеките визури”. Вертикалните движења исто така содржат компоненти на глобални и континентални поместувања (зголемување на радиусот на Земјата, здебелување и истенчување на литосферата) и на регионални и локални тектонски поместувања, кои треба да се екстрахира од податоци поврзани со погодни репери за истражната цел.

Користењето на регистрирани тектонските движења во тектонските истражувања е условено со нивно разлагање во составните компоненти. За локалните движења се очекуваат и пофреквентни фазни варирања на брзината и насоката на движење.

## **СТРУКТУРИРАЊЕ НА ГЕО-ПРОСТОРОТ НА Р. МАКЕДОНИЈА**

Геопросторот на РМ генерално се структурира во следните два основни региони на гравитирање на литосферата во балканскиот геопростор- Слика 5:

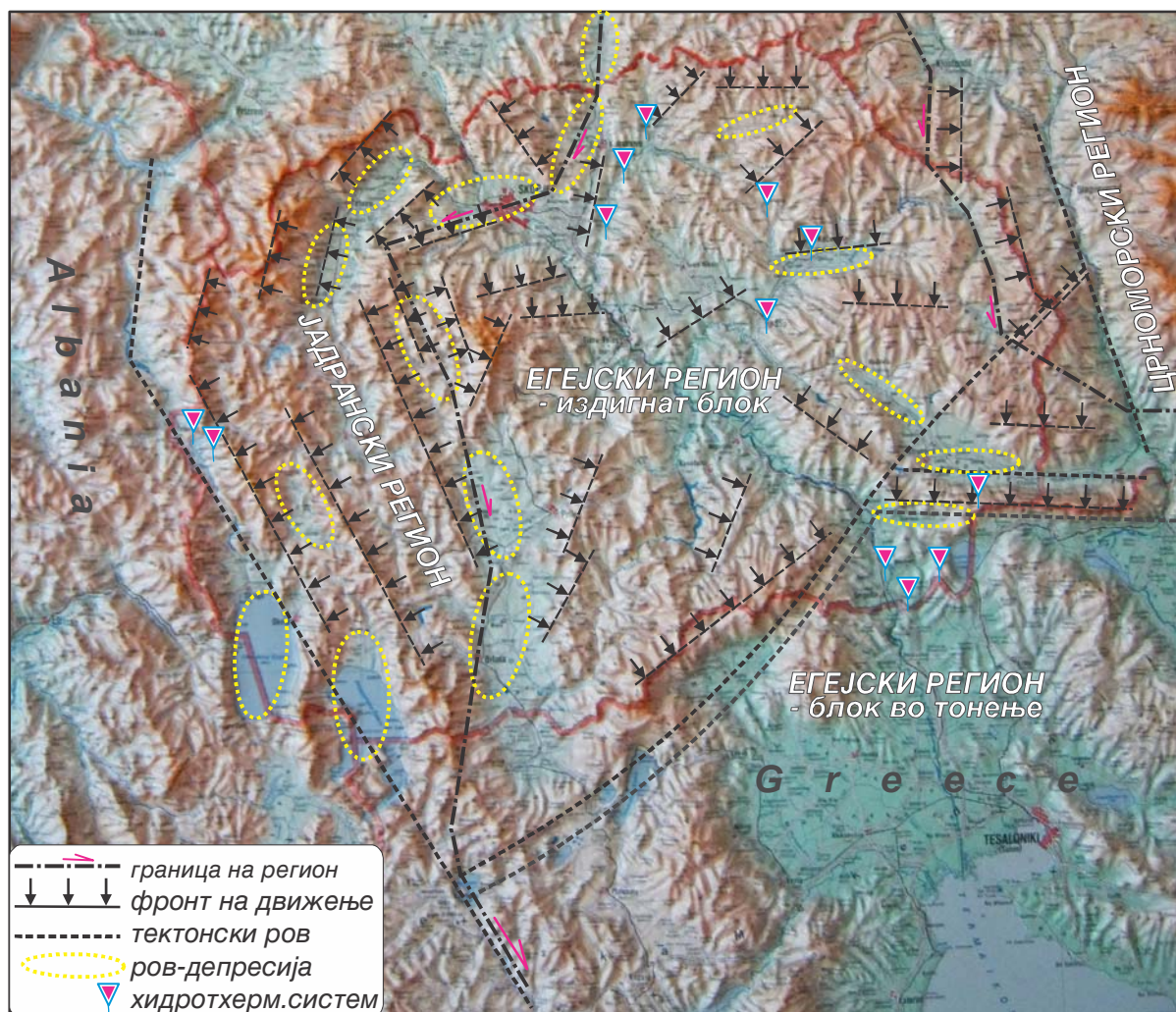
- Јадрански регион - со генерално тектонско движење на литосферата (и астеносферата) кон басенот на Јадранското Море (кон запад и северозапад), во кој припаѓа западниот меридијански појас на РМ;
- Егејски регион - со тектонско движење на литосферата кон југ (кон басенот на Егејското Море), во кој припаѓа останатиот дел од геопросторот на РМ. На исток овој блок е ограничен со пијанечко-малешевскиот (Слика 5) или струмскиот ров (во Р.Бугарија).

Наведените основни региони на гравитирање на Литосферата се разграничуваат со сложена тектонска дислокација во форма на “развлечен тектонски ров, во кој се формирани пелагониската, поречката, скопската, липковската и прешевската депресија”.

Според механизмот на создавање, за оваа дислокација треба да биде карактеристично хоризонтално раседнување. Според Арсовски М. 1996 во секвенцата на скопската депресија хоризонталното поместување на северното крило изнесува околу 8 км. За над 20 милј.год. тектонско движење во неогениот период, годишната амплитуда на поместување би изнесувала помалку од 0.4мм. На останата должина од дислокацијата на разграничување хоризонталното поместување е маскирано со седиментација.

Како резултат на побавното тектонско движење во геопросторот на РМ, во основните региони на гравитирање на литосферата се издиференцирани челен и подножен блок.

Челниот блок на јадранскиот регион е ограничен со дислокацијата на разграничување и охридско-призренскиот ров (по кој се формирани долините на р.Црн и р.Бел Дрим). Во него се издигнати планинските венци на Кораб-Стогово-Караорман и Шара-Бистра, и полошката депресија на исток од нив. Во врска со насоките на движење од СЗ до З, овој блок маркантно е скршен по долините на Мавровска Река и на р.Пена. Во неговиот средишен и јужен дел тектонското движење е кон запад, и се формираат планински венци, ровови и депресији со простирање блиско до С-Ј. Во подножниот блок остануваат само депресијата на Охридското Езеро и планинскиот масив на Јабланица.



Слика 5. Региони на очекувано гравитирање на литосферата во геопросторот на РМ со помаркантни тектонски ровови и депресији и хидротермални системи

Челниот блок во Егејскиот регион од југ е ограничен со маркантната дислокација

Костур-Валандово со скршнување по долината на Анска Река и продолжување со

јужното тектонско ограничување на пл. Беласица. За овој блок е карактеристично генерално движење кон југ во услови на истовремено генерално издигнување. Во врска со издигнатата положба, во овој регион е можно и спласнување со извесно развлекување и кон запад и исток.

Според Арсовски М. (1997) плиоценските седименти во овој блок се издигнати за 750-950 m. За период на издигнување од околу 8 мил.год., произлегува годишна амплитуда на издигнување околу 0,1 mm/год..

Со главна екстензијата од север кон југ, и извесна од исток кон запад и од запад кон исток, за овој блок треба да биде карактеристично нормално раседнување, главно раседни зони со простирање И-З и нивно развлекување во равни структури. Според Арсовски М. (1997) од среден Миоцен до денес (во период од над 20 мил.год.) во скопската депресија е реализирано над 2,0 км тонење (со годишна амплитуда на тонење помала од 0.1 mm/god.).

Од локална компресија во истите насоки, се формирани повеќе планински масиви- од Карацица до Кожуф и на исток Билино, Осогово, Плачкивица, Огражден и Беласица. Тектонските поместувања на ис-

ток од малешевско-пијанечкиот и струмскиот ров се одвиваат во генерална насока кон басенот на Црното Море. Со тоа се развлекува и струмскиот ров, и се повлекува одредено натрупување на планински маси западно од ровот (и во геопросторот на РМ). Но за овој блок очигледно е карактеристично дисконтинуирање по правец И-З, генерирано со екстензија и компресија при движење од север кон југ. Со оглед дека тектонското движење се врши диференцирано во блокови и фази на брзини, во врска со централната положба, во овој блок неможе да се исклучи фазно влијание од движењата кон јадранскиот и црноморскиот басен. Во тој контекст одредени хоризонтални поместувања се реализирани во насока на движењата кон исток и запад.

Во подножниот блок останува само гевгелиско-дојранскиот регион (јужно од дислокацијата Костур-Валандово-Анска Река. За овој блок е карактеристично генерално тонење (со придружна компресија) во склоп на процесот на ширење на басенот на Егејското Море на север, и нормално раседнување.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Елаборните механизми на тектонско движење овозможуваат согледување на следните глобални геолошки процеси и манифестации:

- Процесот на постепено затварање на Медитеранскиот басен е привидна географска перцепција од тектонското движење на литосферата од афричкиот и европскиот континент кон О-К зоните на медитеранскиот океански рифт, кои уште еволуираат во фаза на оформување;
- Подвлекување на “афричката плоча” под “европската”, во услови на разграничување со медитерански океански рифт, не се вклопува ни во концептот на тектоника на плочи;
- Актуелното толкување на еволуцијата на медитеранскиот басен како “реликт од Праокеанот Тетис во процесот на редуцирање и затварање, и подвлеквање на афричката плоча под европската, претставуваат догма која го забавува осознавањето на реалниот процес на еволуција на медитерански средишно-

океански рифт и океански басен на медитеранскиот рифтен систем;

- Во континентите се одвива хоризонтално движење со свлекување на литосфера и астеносфера кон О-К зоната, придружено со формирање на депресији и орогенеза;
- Формирањето на планини и депресији се раководи од односот на мигрирана литосфера во мантијата и трансформираната континентална во преодна литосфера;
- Брзината на свлекување на континенталната литосфера е во функција од гравитационата разлика формирана со спласнување на појасот на потопла и полесна мантија, делумно и од односот на тенчењето и тонењето на океанската литосфера и здебелувањето и издигнувањето на континенталната литосфера;
- Депресиите и планинските масиви потекнуваат од ист тектонски процес, и користењето на орогенезите за тектонски хронометри е дискутабилно;

- Геопросторот на РМ се структурира во јадрански и егејски регион на гравитирање на литосферата;
- Во основните региони на гравитирање се одвиваат комплексни процеси на свлекување на литосферата од геопросторот на РМ со диференцирани тектонски движења кон басените на Јадранското и Егејското, делумно и кон басенот на Црното Море;
- Наследениот геолошки склоп од неогениот и преднеогениот период се деформира со хоризонтално и вертикално движење- со создавање на депрсии и орогенеза;
- Геопросторот на РМ во неотектонскиот и современиот период еволуира во состојба на генерална екстензија, која е поизразена во источниот меридијански појас на вардарската зона. Со таквата состојба може да се поврзува формирањето на хидротермални системи (Слика 5.), но, можеби и неомагматска активност во кратовско-злетовската и кожувската вулканска област, пијанечко-малешевскиот ров, ;
- За темелно осознавање на неотектонското структурирање на геопросторот на РМ е неопходна квалитетна оскултација на тектонските движења;
- Според постојните податоци во литосферата на РМ се одвиваат доста бавни тектонски процеси во споредба со околниот простор на медитеранскиот басен. Во согласност со очекуваните бавни движења, неопходна е нивна долговремена прецизна оскултација и обработка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Claude Jaupart, Jean-Claude Mareschal., 2011., "Heat Generation and Transport in the Earth, Cambridge University press, UK, Cambridge.
2. International Handbook of Earthquake Engineering and Engineering Seismology - PART A&B (2002), IASPEI. Academic Press, an Imprint of Elsevier Science.
3. Dimitrov I. D. S., Georgiev I. G., Botev E. A., Pashova L. G., 2002, "Earthquake Monitoring in SW Bulgaria by Space Geodesy and National Seismological Network", Geophysical Institute, Bulgaria.
4. Doglioni, C., Agostini, S., Crespi, M, Innocenti, F., at all 2002, "On the Extension in Western Anatolia and the Aegean Sea", Journal of the Virtual Explorer, 8, 161-176.
5. Faccenna Claudio, Bellier Olivier, Martinod Joseph, at all, "Slab Detachment Beneath Eastern Anatolia: A Possible Cause for the Formation of the North Anatolian Fault"
6. Laurent Jolivet.1993, "Extension of Thickened Continental Crust, from Brittle to Ductile Deformation: Example from Alpine Corsia and Aegean Sea", Annali de geofisica, Vol. XXXVI, 2., may1993, Paris, France
7. Laurent Jolivet, 2001, "A Comparison of Geodetic and Strain Pattern in the Aegean, Geodynamic Implications", Laboratoire de Tectonique, Universite` Pierre et Marie Curie, France
8. Makris J., Papoulia J., 2002, "The Thera Volcano at the Transition between the Cycladic thrust belt and the stretched continental crust of the Cretan sea", University of Hamburg & Institute of Oceanography, Athens,
9. Mirakovski G., "Migration of Material and Finite Number of Rift-Systems in the Tectonosphere", 2009, 5th Congress of Balkan Geophysical Society, Belgrad.
10. Mirakovski G., "Riftgene Structure of the Lithosphere – Mediterranean Rift-Systems and Balkan Area Structuring", 2009, 5th Congress of Balkan Geophysical Society, Belgrade.
11. Mirakovski G., (2011), "Expected tectonic movements in the region of RM and accompanying processes", 6th Congress of Balkan Geophysical Society, Budapest, Hungary.
12. Mirakovski G., (2012), "The Causes and Expected Tectonic Movement Balkan Region", 3<sup>rd</sup> International Conference Geosciences And Enviroment, Page 52, Belgrad-2012.
13. Reilinger Robert., McClasky Simon., at All., 2007, "GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of dilateinteractios.
14. Carlo Doglioni, Samuele Agostini, Mattia Crespi, Fabrizio Innocenti, Piero Manetti, Federica Riguzzi and Yilmaz Savasçin, (after 2000)., "On the Extension in Western Anatolia and the Aegean Sea";
15. Taymaz, T., Tan O., Yolsal S., (2001). Recent Devastating Eartquake in Turkey and Active Tectonics of the Aegean and Marmara Seas, ITU – Department of Geophysics, Seismology section.

# CAUSES AND NEOTECTONIC STRUCTURING OF THE GEOSPACE OF R.MACEDONIA

Gavril Mirakovski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Earthquake Engineering and Engineering-Seismology,  
SS Cyril and Methodius University, Salvador Aljende 73, Skopje,  
Republic of Macedonia, mirak@pluto.iziis.ukim.edu.mk*

## **Abstract**

The geospace of R. Macedonia is structured within the entire Balkan and Mediterranean region. The parameters of tectonic motion are of a particular importance for getting an insight into recent and neotectonic structuring of the geospace of interest.

In the continental lithosphere, there is motions in horizontal and vertical direction. Horizontal motions is associated with sliding of the plastic and ductile lithosphere and asthenosphere in the direction of the O-C dislocation. Vertical motions are associated with subsidence and orogene thrusting of the ductile and the plastic lithosphere as well as with some thinning, thickening and subsidence of the lithosphere. The crust and the surface terrain are structured under the effect of the processes that are taking place in the ductile and the plastic lithosphere. The geospace of RM is structured in the Adiratic and Aegean region of general tectonic motion of the lithosphere toward basins where it generate volume surplus. In both regions, front and footing blocks are differentiated according to parameters and characteristics of tectonic processes that are carried out within them.

**Key words:** tectonic movement, structuring, continental lithosphere, O-C zone, oceanic rift.

# ГЕОТЕКТОНСКИ РАЗВОЈ НА ЛАКАВИЧКИОТ ГРАБЕН ВО АЛПИСКИОТ ОРОГЕН ЦИКЛУС

Гоше Петров<sup>1</sup>, Виолета Стојанова<sup>1</sup>, Војо Мирчовски<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет "Гоце Делчев", Факултет за природни и технички науки,  
Гоце Делчев 89, МК - 2000 Штип, Република Македонија  
gose.petrov@ugd.edu.mk // violeta.stojanova@ugd.edu.mk // vojo.mircovski@ugd.edu.mk

## Апстракт

За време на Алпискиот ороген циклус територијата на Република Македонија била зафатена со многу сложени процеси на тектогенеза. Во Алписката етапа се одиграле главните процеси на тектогенеза, кои имале одраз на целиот простор на Вардарската зона и ја обновиле како неоидна, мошне мобилна геотектонска структура (зона). Притоа, издвоените субзони во Вардарската зона (источна, централна и западна субзона) за време на Алписката орогенеза се карактеризираат со различна манифестација и интензитет на тектонските движења, различен интензитет на магматските процеси и степенот на дислоцираност. Во Вардарската зона јасно се издвоени тектонските движења поврзани со различни фази во рамките на Алписката орогенеза, издвоени како: раноалписки, средноалписки и касноалписки (неотектонски). Во овој труд се презентирани тектонските процеси во Лакавичкиот грабен кои се случувале за време на Алписката орогенеза на просторот на Вардарската зона.

**Клучни зборови:** Лакавички грабен, Алписка орогенеза, тектоника.

## ВОВЕД

Вардарската зона како палеоидна структура настанала со кршење на гренвилската земјина кора во рифеј-камбриум. Од тогаш, па сè до тријас, на просторот на Вардарската зона се одвивал геосинклинален развој со постојана тенденција на истенчување на земјината кора. Во јура, со процесите на рифтување и создавање на океански тип на земјина кора во медитеранскиот дел на Тетис, се формирал тесен океан на делот Вардар-Измир-Анкара. Како резултат на сложените геолошки процеси кои се одвивале, во Вардарската зона се манифестираат многу заеднички литолошки и структурни елементи. Но, постојат и одредени специфични разлики како во литолошкиот состав, така и во структурната градба, кои Вардарската зона ја диференцираат во три лонгитудинални појаси (субзони): источна Вардарска субзона, централна Вардарска субзона и западна Вардарска субзона (сл. 1).

Лакавичкиот грабен е сместен во источната Вардарска субзона (јужно-југоисточно од Штип).

Територијата на Р. Македонија влегува во составот на Медитеранската орогена област, во која геосинклиналните услови на развој завршиле кон крајот на палеоген и почетокот на неоген, кога настапил континентален развој. Во првата фаза на

континенталниот развој, во времето на миоцен, дошло до пенепленизација на структурите создадени со пиринејската и савската орогена фаза. Реликти од зарамнини (платоа) формирани во овој период денес можат да се сретнат на планинските масиви на различни висини. На некои места овие зарамнини се покриени со плиоценски и квартерни седименти.

На почетокот на неоген, т.е. во средината на миоцен, дошло до создавање на првите депресији, како Скопската и Кумановската депресија.

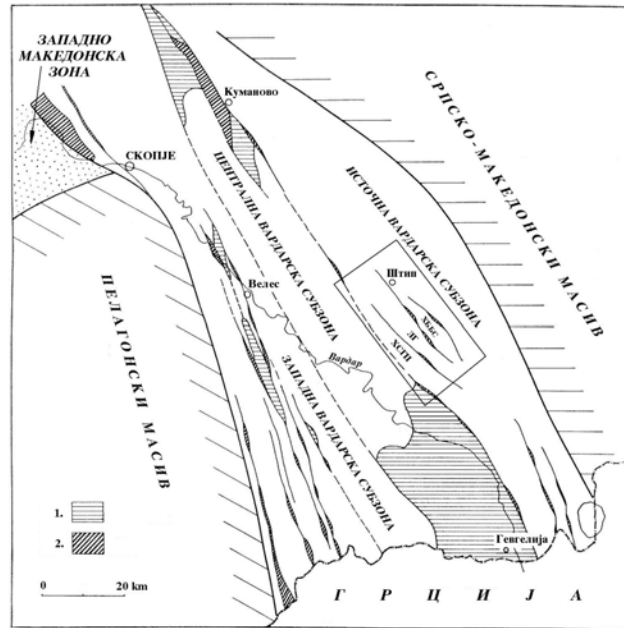
Во текот на плиоцен дошло до активирање на тектонските процеси и формирање на морфоструктури на издигање и на тонење, кои денес можат да се констатираат во современиот релјеф. Процесот на диференцијални движења меѓу депресиите и хорстовите со текот на времето се повеќе се засилувал, што довело до активирање на стари и формирање на нови раседи, кои претставуваат рабни раседи на издвоените морфоструктури (сл. 2).

Лакавичкиот грабен се наоѓа во Вардарската зона. Долг е околу 40 km со просечна ширина од околу 5 km. Тој претставува релативно спуштен блок, со протегање СЗ – ЈИ, помеѓу хорстот Серта - Градешки Планини и хорстот Бучимски



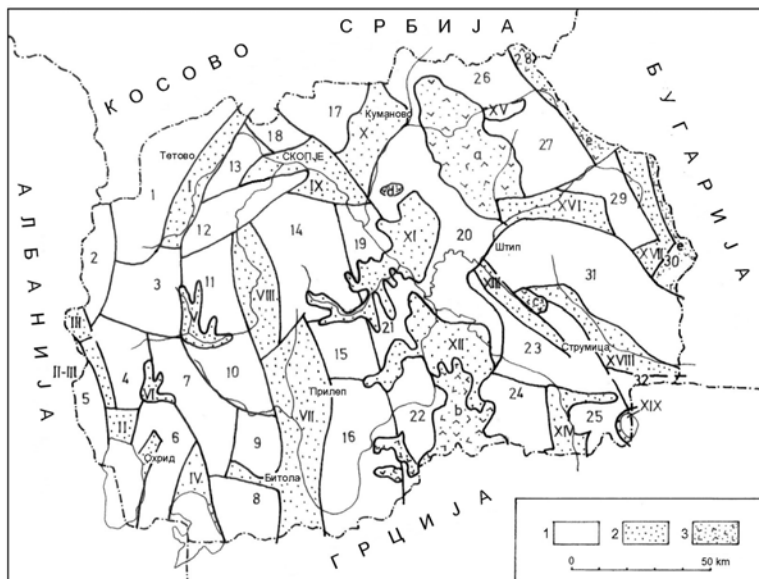
блок – Смрдеш. Од југозападна страна Лакавичкиот грабен е ограничен со хорстот Серта – Градешки Планини долж контрастен нормален (гравитационен) расед. Хорстот Бучимски блок – Смрдеш, кој се карактеризира со доста сложена морфолошка градба, го ограничува Лакавичкиот грабен од североисточна страна.

Општа констатација е дека сите морфоструктури на просторот на Лакавичкиот грабен имаат одредена закономерна положба, која е резултат на тектонските процеси кои се случувале во најновите етапи од геолошкиот развој на територијата на Р. Македонија.



**Слика 1.** Тектонско зонирање на Вардарската зона на територијата на Македонија (Думурџанов Н. и др., 1990)

1. реликти од Вардарската океанска кора, 2. главни појаси на тектонски ултрамафити, ЛГ – Лакавички грабен, ХБС – хорст Бучимски блок - Смрдеш, ХСПП – хорст Серта - Градешки Планини



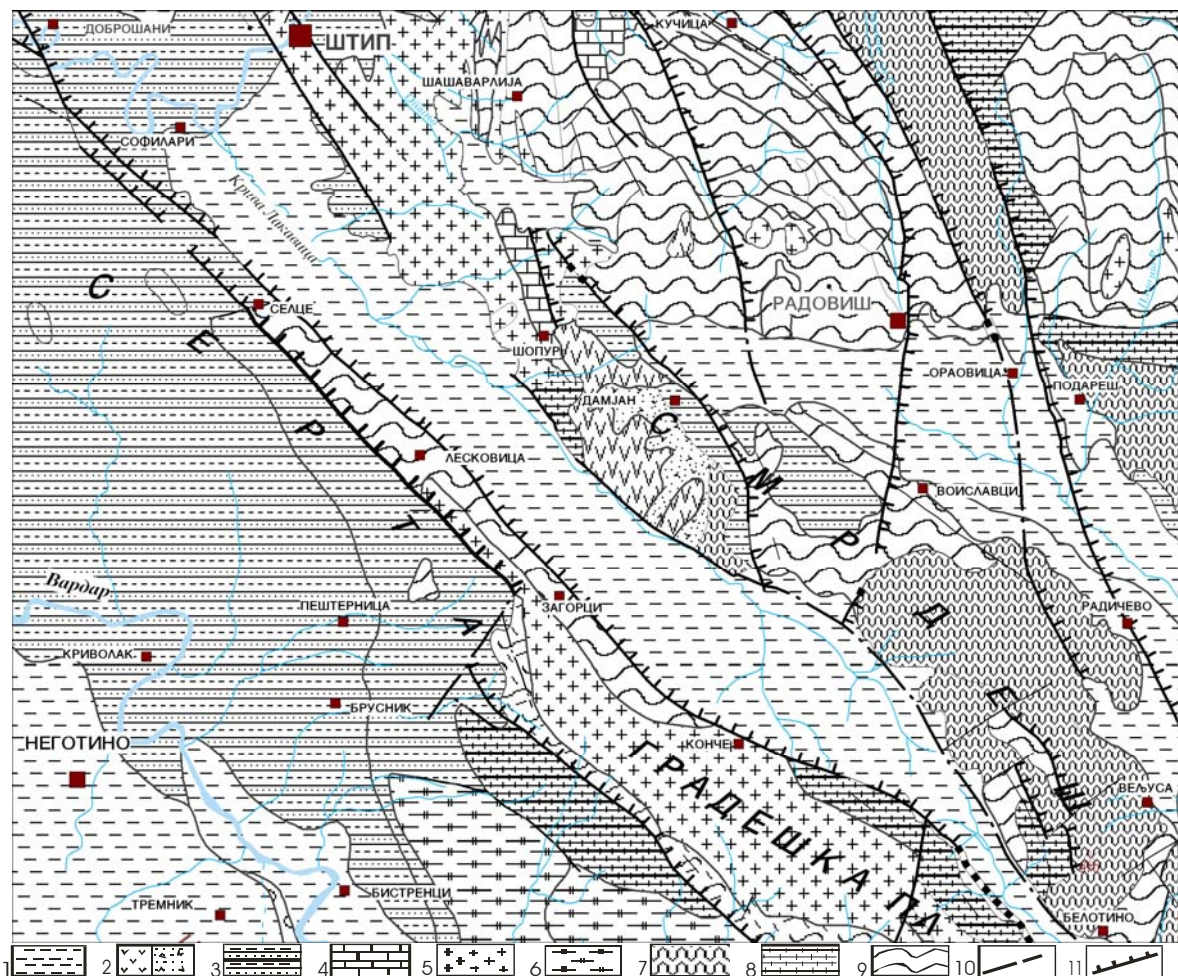
**Слика 2.** Карта на неотектонска реонизација на територијата на Македонија (Арсовски, 1975)

1. Морфоструктури на издигање, 2. Морфоструктури на тонење, 3. Вулкански подрачја, XIII – Лакавички грабен

## ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ЛАКАВИЧКИОТ ГРАБЕН

Пошироката околина на Лакавичкиот грабен се карактеризира со хетерогена литолошка градба, претставена со прекамбриски, палеозоиски, мезозоиски, терциерни и квартерни геолошки единици (сл. 3). Прекамбрискиот комплекс го сочинуваат високометаморфни карпи, претставени со различни типови на гнајсеви, микашисти, графитични шкрилци, амфиболити, кварцити, мермери и циполини. Старопалеозоиските карпи се доста застапени во хорстот Серта-Градешки Планини. Палеонтолошки не е детерминиран, туку е

издвоен врз основа на суперпозиционата положба и степенот на метаморфизам. Во комплексот на стар палеозоик се издвоени: серија на амфиболски шкрилци и мермери и шкрилесто-карбонатна серија, изградена од карбонатни шкрилци, циполини, мермери и хлорит-амфиболски шкрилци. Од магматските карпи се застапени габрови. Мезозоикот е претставен со кисели магматски карпи од јурска старост (Штипски гранити), претставени со различни типови со гранитски, кварцмондонитски до гранодиоритски состав.



Слика 3. Тектонска карта на пошироката околина на Лакавичкиот грабен

- 1 – квартерни и неогени седименти, 2 – терциерни вулкански карпи, 3 – горноеоценски флишни седименти, 4 – кредни седименти, 5 – јурски (и постари) гранитоиди, 6 – јурски габро-дијабази, 7 – старопалеозоиски комплекс, 8 – рифеј-камбриски комплекс, 9 – прекамбриски комплекс, 10 – раседи, 11 – лушпи.

Кредните седименти се застапени во хорстот Бучимски блок-Смрдеш (локалитет Мочарник), каде лежат трансгресивно преку Штипските гранити. Претставени се со серија на базални конгломерати, кои

фацијално преминуваат во лапорци, песочници и глинци.

Терциер е претставен со горноеоценски теригени наслаги, кои според литолошкиот состав и суперпозиционата положба се

расчленети на: базална литозона, долна флишна литозона, литозона на жолти песочници и горна флишна литозона.

Терциерните вулкански карпи (вулканска област Бучим-Дамјан-Боров Дол) се продукти на тектонско-магматските процеси кои се одвивале во Вардарската зона и на контактот со Српско-Македонскиот масив. Овој вулканизам е претставен со пирокластички, андезити, латити, кварцлатити и трахити.

Плиоценските седименти главно се застапени во Лакавичкиот грабен, претставени со чакали, песоци, глини и песокливи глини со дебелина преку 200 m.

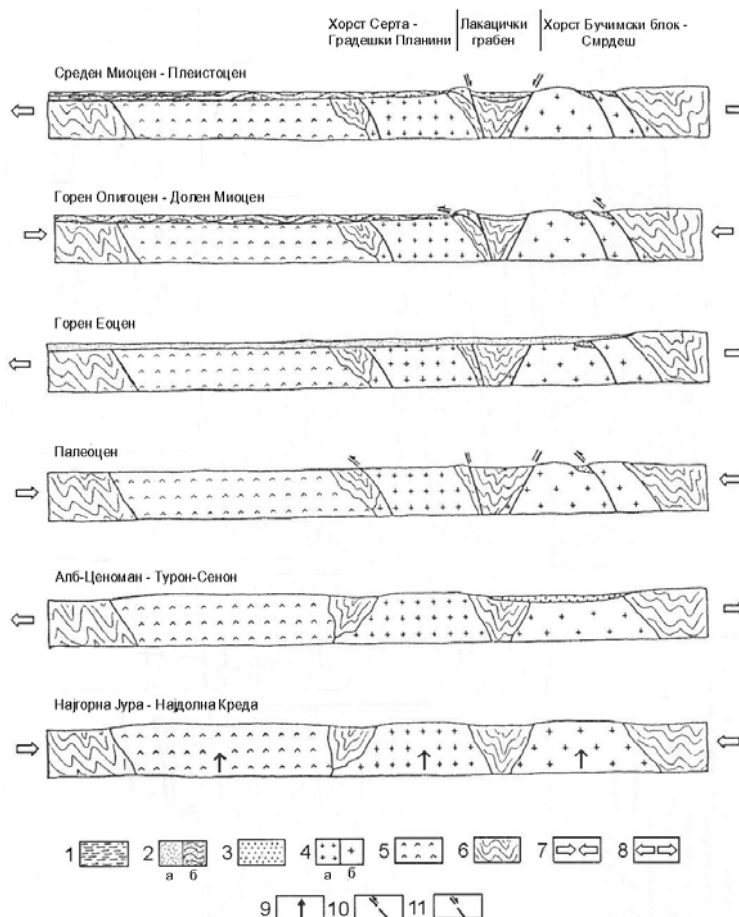
### РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Вардарската зона, во чиј состав влегува Лакавичкиот грабен, од нејзиното формирање, во рифеј-камбриум – стар палеозоик, до пред долна јура, имала геосинклинален развој, со тенденција на

По течението на реката Крива Лакавица се развиени квартерни чакали и песоци со дебелина до 100 m.

Во пошироката околина на Лакавичкиот грабен се засталени повеќе раседи и лушпи кои се создавани во различно време. Истите главно претставуваат лонгитудинални структури (издолжени во правец СЗ – ЈИ, паралелно со протегањето на Вардарската зона). Тоа се стари раседи кои повеќе пати во геолошката историја биле реактивирани и кои имаат значајна улога во дефинитивното формирање на Лакавичкиот грабен и околните хорстови структури.

истенчување на земјината кора. Во долна јура, во централните делови на палеовардарската структура дошло до отварање на континенталната земјина кора и формирање на океански тип на кора (сл. 4).



**Слика 4.** Шематски приказ на геодинамичките услови на Лакавичкиот грабен во Алпискиот ороген циклус

1 – плиоценски седименти, 2 - горноеоценски едименти, 3 – кредни седименти, 4 – јурски гранитоиди, 5 – габро-дијабази, 6 – палеозоиски и прекамбриски метаморфни карпи, 7 – напрегања на компресија, 8 – напрегања на екстензија, 9 – вертикални издигања како резултат на компресијата, 10 – навлекување, 11 – гравитационо спуштање.

Рифтниот развој на Вардарската зона траел од долна јура до горна јура. Во овој период, како резултат на ширењето на земјината кора, дошло до создавање на дебели офиолитски маси. Во Титон дошло да затварање на океанот со еднострана субдукција кон исток, и како резултат дошло до создавање на долг појас од гранитоиди (Штипски, Градешки Планини, Серта и др.).

Во времето на најгорна јура–најдолна креда, Вардарската зона претставувала зона на континентална колизија помеѓу Динаридите од запад и Карпато-балканидите, Српско-Македонскиот масив и Родопскиот масив од исток. Во процесот на колизија можат да се издвојат три фази на компресија, кога дошло до интензивно набирање, навлекување и имбрикација на постојните формации и тектонско втискување на тектонски ултрабазити. Помеѓу фазите на колизија постоеле фази на екстензија (со правец СИ-ЈЗ), кога биле формирани континенталните грабени исполнети со флишен и моласен материјал. Првата фаза на компресија се одвивала во најгорна јура – најдолна креда. Како резултат на оваа компресија, за време на Младокимериската орогена фаза, на просторот на Лакавичкиот грабен дошло до формирање на повеќе реверсни раседи (лушпи), односно дошло до навлекување. Во алб-ценоман – туронсенон, во услови на екстензија се формирани грабени исполнети со флишни и флишоидни седименти, претставени со конгломерати, лапорци, песочници и глинци. Втората фаза на компресија започнала во палеоцен. Како резултат на оваа компресија (Ларамиската орогена фаза) од североисток кон југозапад, на просторот на Лакавичкиот грабен дошло до формирање на повеќе реверсни раседи – лушпи, долж кои Штипските гранити се навлечени преку алб-ценоманските седименти.

Во горен еоцен повторно настапил режим на екстензија, кога се формирани повеќе грабени. Во овој период дошло до спуштање на просторот на Лакавичкиот грабен, кога се создадени перифернире раседи кои во плиоцен биле реактивирани, и кога бил формиран Лакавичкиот грабен. После максималната горноеоценска трансгресија, кога голем дел од регионот на Лакавичкиот грабен бил покриен со горноеоценски епиконтинентални, континентални и флишни седименти, во горен олигоцен – долен миоцен,

за време на Савската орогена фаза, просторот на Лакавичкиот грабен бил изложен на интензивна компресија од североисточна страна, како резултат на повторната компресија на Српско-Македонскиот масив врз Вардарската зона. Овие напрегања предизвикале набирање на горноеоценските седименти со формирање на набори, најчесто коси и инверсни кон југозапад, а исто така дошло и до формирање на реверсни раседи и лушпи. Долж регионалните раседни структури дошло до втискување на тектонски офиолити. Тука се појавиле и првите манифестации на терциерниот вулканизам.

Кон крајот на олигоцен и почетокот на миоцен завршиле напрегањата на компресија поврзани со Савската орогена фаза, после што во Вардарската зона настапил период на екстензија. Од среден миоцен сè до плеистоцен биле формирани бројни на неотектонски континентални грабени исполнети со езерски седименти. Во миоцен–плиоцен се одвивала интензивна вулканска активност од андезит-латит-кварцлатитски и риолитски состав, а во плио-плеистоцен и од базалтен и алкално-базалтен состав. Во овој период на територијата на Лакавичкиот грабен дошло до пенепленизација на претходно формираните морфоструктурни форми и создавање на денудациони зарамнини. Реликти од овие зарамнини денес се наоѓаат на различни висини (400-600 m на хорстот Серта-Градешки Планини, т.е 600-800 m на хорстот Бучимски блок-Смрдеш.

Дефинитивното формирање на Лакавичкиот грабен започнало во плиоцен со реактивирање на постари раседи со протегање СЗ-СИ, како резултат на напрегањата на екстензија во Вардарската зона. Со овие напрегања дошло до оддалечување на хорстот Серта-Градешки Планини од хорстот Бучимски блок-Смрдеш и гравитационо спуштање на блокот помеѓу двата хорста и формирање на Лакавичкиот грабен. Особено значаен е ЈЗ расед, долж кој Лакавичкиот грабен е спуштен во однос на хорстот Серта-Градешки Планини. Овој расед претставува регионален расед кој длабоко ја сече земјината кора на овој дел од Вардарската зона. Долж овој расед, за време на јура, на повеќе места дошло до дијапирско втискување на тектонски ултрабазити. Ова укажува на фактот дека овој расед покрај тоа што длабоко ја сече земјината кора, истиот е стар расед кој повеќе пати бил реактивиран.

## ЗАКЛУЧОК

Анализата на тектонските процеси во Лакавичкиот грабен за време на Алписката орогенеза дава јасна претстава за случувањата во Вардарската зона. Пред дефинитивното создавање на Лакавичкиот грабен во плиоцен, како резултат на екстензиони напрегања, во Алписката орогена фаза континенталната колизија

била проследена со три периоди на компресија помеѓу кои постоеле периоди на екстензија. Првиот период на компресија е поврзан со Младокимериската орогена фаза, вториот период на компресија е поврзан со Ларамиската орогена фаза, а третиот со Савската орогена фаза.

## ЛИТЕРАТУРА

- Арсовски М., 1997: Тектоника на Македонија. Рударско-геолошки факултет, Штип.
- Arsovski M., Dumurdžanov N., Petrov G., 1997: Manifestation of the Alpine Orogenic Phases in the Vardar zone. PROCEEDING, magmatism, metamorphism and metallogeny of the Vardar zone and Serbo-Macedonian massif, (p.p. 77-82), Štip-Dojran.
- Arsovski M., Dumurdžanov N., 1995: Alpiska tektonska evolucija na Vardarska zona i nejinoto mesto vo Balkanskiot region. International Workshop, Štip.
- Arsovski M., Ivanov T., 1977: Geotectonic evolution of the Vardar Zone. Proceeding of the VI Colloquium on the Geology of the Aegean Region, Athens.
- Арсовски М., Петковски Р., 1975: Неотектоника на СР Македонија. Публ. бр. 49, ИЗИИС, Скопје.
- Delipetrov T., Karakašev D., 2000: Model of depressions in Eastern Macedonia. *Geologica Macedonica*. Vol. 14, (p.p. 75-78), Štip.
- Dimitrijević M., 1974: Dinaridi: Jedan model na osnovama "Nove globalne tektonike". Metalogenija i koncepcija geotektonskog razvoja Jugoslavije. (p.p. 119-153), Beograd.
- Dumurdžanov N., et al., 2005: Cenozoic tectonics of Macedonia and its relation to the South Balkan extensional regime. *Geosphere*, Geological Society of America, p.p. 1-22.
- Думурианов Н., Петров Г., и др., 2002: Генеза на неогенско-квартерните депресији и нивните формациско-стратиграфски карактеристики на територијата на Македонија. Рударско-геолошки факултет, Штип.
- Dumurdžanov N., Petrov G., Tuneva V., 1997: Evolution of Lacustrine Neogene-Pleistocene in the Vardar zone in Republic of Macedonia. PROCEEDING, magmatism, metamorphism and metallogeny of the Vardar zone and Serbo-Macedonian massif, (p.p. 83-88), Štip-Dojran.
- Dumurdžanov N., Petrov G., 1992: Litostratigrafski karakteristiki na ofiolitskiot kompleks Demir Kapija – Gevgelija (Makedonija). *Geologica Macedonica*, T. 6, Sv. 1. Štip.
- Думурианов Н., Петров Г., 1990: Литостратиграфски и хемиски карактеристики на вардарската океанска кора на територијата на СР Македонија. XII Конгрес на геолозите на Југославија, Книга I, (п.п. 22-30), Охрид.
- Ivanov T. Misar Z. Bowes D.R. Dudek A. Dumurdžanov N. Jaros J. Jelinek E. Pesecova M., 1987: The Demir Kapija - Gevgelija ophiolite massif, Macedonia, Yugoslavia. *Ophiolite*, 12 (3), 457-478, Italia.
- Јанчевски Ј., 1987: Класификација на раседните структури по генеза, старост и морфологија со осврт на нивната сеизмичност на територијата на Македонија. Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет, Штип.
- Kossmat F., 1924: Geologie der zentralen Balkanhalbinsel Mit einer Ubersicht des dinarischen Gebirgsbaues. Die Kriegsschauplatze 1914-1918 geol. dargestellt. Heft 12-198 pmit 1 geol. Karte 18 Text ig.
- Петковски Р., 1990: Геотектонска еволуција на Македонија. XII Конгрес на геолозите на Југославија, Книга V, (п.п. 114-128), Охрид.
- Петров Г., 2002: Геотектонска еволуција на Вардарската зона со посебен осврт на алписката орогенеза. Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет, Штип.
- Petrov G., Delipetrov T., 1992: Neotektonsko zoniranje na teritorijata na Makedonija i nejinata vnatresna gradba. *Geologica Macedonica*, T. 6, Sv. 1. Štip.
- Popov P. Dumurdžanov N. Jeleu V. Petrov G., 1996: On some problems of the Alpine evolution of the Bulgarian-Macedonian part of Balkan Peninsula. TERRANRS OF SERBIA. The Formation of the Geologic Framework of Serbia and the Adjacent Regions. (p.p. 97-102). Belgrade.
- Serafimovski T. Petrov G., 1991: Strukturno-morfostrukturni karakteristiki na rudniot reon Bučim-Damjan-Borov Dol. *Geologica Macedonica*, Štip.

# МЕТОДОЛОГИЈА И ПРИНЦИПИ ЗА ИЗРАБОТКА НА ОГК-2 НА РЕОНОТ ПЛАЧКОВИЦА

Зоран Донеv<sup>1</sup>, Благојчо Божинов

<sup>1</sup>"Геохидроинженеринг", ул. Теодосие Гологанов бр. 132,  
Скопје, Р. Македонија, ghi-vs|j@unet.com.mk

## Апстракт

На поширокиот простор од планинскиот масив Плачковица геолошките истражувања датираат од времето на турската империја. Покасно значајни се првите трудови на Ј. Цвијик (1906-1911) во кои ги изнесува основните податоци за геологијата на СР Македонија, опфаќајќи го и овој дел од просторот. Во рамките на овој труд се опфатени основните принципи и методологија за изработка на ОГК-2, конкретно опфаќајќи го планинскиот масив Плачковица (Штип К-34-81 В, Штип К-34-81 D, Делчево К-34-82 А, Делчево К-34-82 С, Кавадарци К-34-93 В, Струмица К-34-94 А).

**Клучни зборови:** методологија, минерални појави, раседни структури

## ВОВЕД

Целта на овој труд е прикажување на основните методолошки принципи за изработка на Основна Геолошка Карта-2 во М=1:50 000, презентирани преку мултидисциплинарни методи кои опфаќаат кабинетски, теренски и лабораториски истражувања и испитувања.

Треба да се напомене дека третирањето на простор се одликува со многу низок степен на истраженост за кој постојат само регионални истражувања со мали исклучоци на поедини локалитети (Држанци).

Досегашните геолошки испитувања на листот Штип можеме да ги издвоиме во неколку одделни периоди.

- Првите геолошки истражувања датираат од времето на турската империја.

- Во почетокот на XX век почнуваат геолошките истражувања со кои е опфатена целата територија на СР Македонија.

- F. Kossmat ја дава прегледно геологијата на геолошка карта и тектониката на СР Македонија. Ја издвојува "Вардарска зона" помеѓу Пелагонскиот масив и Родопската (Српско-Македонска) во која ги опишува старопалеозоиските и мезозоиските творби.

- Особено се значајни првите трудови на Ј. Цвијик (1906-1911). Во кој зборува за гнајсевите, гранитите и за неогенот во околината на река Брегалница помеѓу Берово и Пехчево и во Кочанско Поле. Г. Бончев (1920) зборува за гнајсевите, микашистите, хлоритските шкрилци и гранитите. Во својата работа Ј. Томич (1929-1936), доста детално ги опишува високомета-морфните

стени, и гранитоиди за кои даде и минералошки состав.

- За време на Првата Светска војна во областа на СР Македонија работат исклучиво германски геолози.

- М. Стојановиќ, Д. Ѓузелковски (1965) и С. Величковиќ (1967, 1968) даваат генеза, процена на резерви и геолошко-петрографски карактеристики за поблиската околина на бакарното лежиште кај с. Бучим.

- Т. Ивановски и Т. Иванов (1955), Ј. Пенџерковски и Д. Ѓузелковски (1958), А. Кекиќ (1955), М. Страчков и С. Христов (1961) даваат регионални геолошки, хидрогеолошки и структурни податоци за поодделни делови на теренот.

## ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ИСТРАЖНИОТ ТЕРЕН

Во истражуваниот реон се застапени следните литолошките членови:

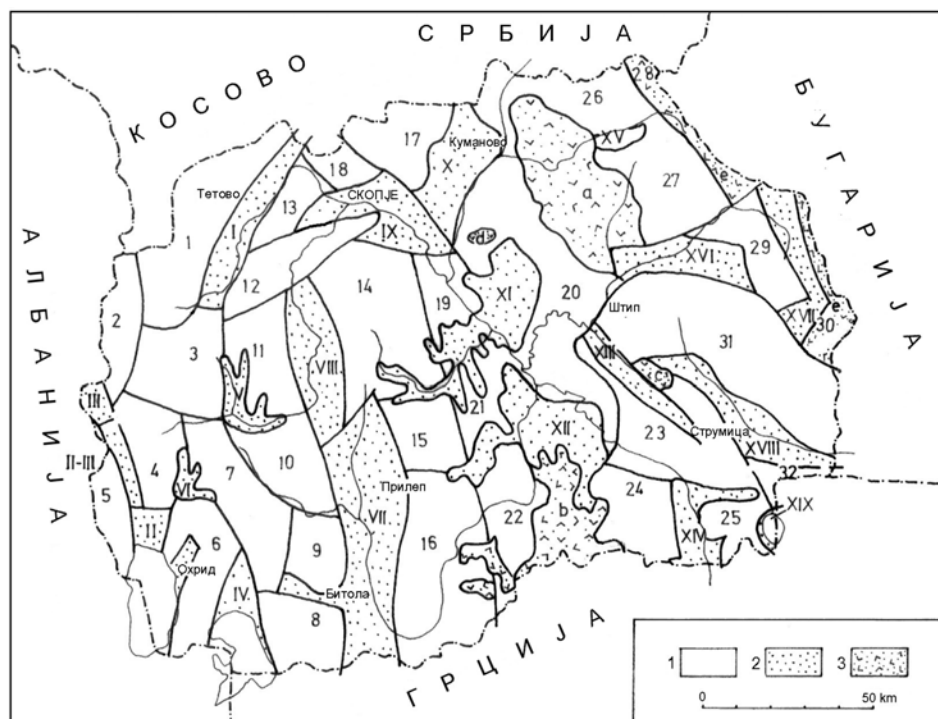
**Прекамбриум** - Биотитски ситнозрнести гнајсеви (Gb), дволискунски тракасти гнајсеви (Gmb), гранитски микашисти (Sm), мермери (M), микашисти и лептинолити (Sm), мусковитски гнајсеви (Gm), амфиболити и амфиболски шкрилци (A), гнајсеви амфиболити и микашисти (GSm), тракасто порфиристо-бластични гнајсеви (G), окцасто-амигдалоидни гнајсеви (Gm), кварц-порфири (Sp), калиски гранити ( $\gamma$ ), шкриљасти гранити ( $\gamma$ ); **Рифеј-камбриум**- Албит-кварц-мусковит-хлоритски шкрилци (Sab),

Епидот-кварц-серицит-хлоритски шкрилци (Sab), Амфибол-хлорит-серицитски шкрилци (Samco), Амфиболски-метагаброви (vam), Амфибол-хлоритски шкрилци и мета дијабази (Sam); **Постар Палеозоик**- Хлорит-кварц-серицитски шкрилци (Scose), мермери (M),графитични шкрилци и филити (Fgr),филити, метапесочници и мермери (F), Хлорит-амфиболски шкрилци (Scoam); **Помлад Палеозоик**- Кварц-графитични шкрилци и филити (Sgr), Хлорит-серицитски шкрилци (Sco), Серицитски шкрилци (Sse); **Мезозоик**- Аплитоидни гранити ( $\gamma$ ); **Горен Еоцен**- Варовници лапорци и глини; **Плиоцен**- Андезитски туф (9), Фација на чакали и песоци (P1); **Плиоцен-Квартер-**

Бигорливи варовници (P1,Q); **Холоцен**- Стари речни тераси (t), Пролувијални наслаги (pr), Делувијални наслаги (d).

### Тектоника

Планината Плачковица и припаѓа на двете крупни геотектонски единици-Српско-македонската маса и Вардарската зона. Граничната зона помеѓу Српско-македонската маса и Вардарската зона ја представува доста маркантна руптура,која на нашата територија почнува од Дојран, преку западните падини на Беласица, Огражден, Плачковица и преоѓа во Кратовско-Злетовската вулканска област.



Слика 1. Неотектонска реорганизација на РМ

Во склопот на овој простор од структурен аспект се издвоени следните морфоструктурни единици: Зрновска антиклинала, Изведенска антиклинала, Калиманско-Смиљанска моноклинала, Виничко-Блатечки

### Рудни појави

На реон Плачковица се наоѓаат неколку рудни појави, кои претставуваат перспектива за натамошни истражувања. Се сретнуваат појави на метални и неметални минерални суровини, и суровини за потребите во градежништвото. Меѓу нив видно место завземаат бакарот, оловото, цинкот и железото (магнетитот). Минерални

расед, Градечко-Баралиски реверсен расед, Виничко-Пекљански ров, Радовишко-Теранско-нивичански грабен, Лушпи, Кочанска депресија.

индикации на олово и цинк се јавуваат во подножјето на планината Изведен кај с. Држанци (слика 2) Т-5 7 626 689 4 619 546. Рудна жица дебела околу 5 cm со ЕП-90/30 во силно ушкрилени гнајсеви со ЕФ-245/70 (земено проба, види фото) и минерализирана (лимонитизирана) вода од раседна структура (слика 3).



Слика 2. Минерални индикации на олово и цинк



Слика 3. Лимонитизирана вода во силно ушкрилени гнајсеви

Во околината на Саинташ во гнајсевите се забележува рудна минерализација на олово (Pb) и цин (Zn), а кај Јасиката и с. Смиљанци минерализација на Fe. Титано-железни рудни појави откриени се во неколку локалности, на поширокиот простор од планинскиот масив Готен, изворишниот дел на реката Лаки и Барбошница просторно поврзани со амфиболити и метагаброви. Во изворишниот дел на р. Плавија се сретнува

минерализација на уран и бакар. Во близина на река Сирава со дадените координати Т-67 7 631 260, 4 613 240, се забележани крупнозрнести гранити кои се доста изменети (каолинитизирани) на места силифицирани. Се забележуваат кварцни жили кои се оруднети со присуство на пиритска минерализација слика 4 (фото).





**Слика 4.** Пиритска минерализација во кварцни жили

Со реализацијата на трудот се очекува дека преку теренските истражувања и лабораториските испитувања ќе се добијат основни податоци на литолошките членови на магматските, метаморфните и седиментните карпи. Голема е можноста доколку со спроведените истражувања се добијат одредени сознанија да се посочат локации за енергетски, металични, полуметалични и неметалични минерални

суровини. Се очекува дека покрај регистрирање на постојните наоѓалишта на минерална суровина ќе се добијат податоци за употребливоста на карпестите маси како минерална суровина и ќе се одредат перспективни локации за нови наоѓалишта пред се на архитектонско-украсен камен, градежно-технички камен, градежен песок и чакал и цигларска глина.

## **МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕ И ИСПИТУВАЊЕ**

Основа за избор на предвидената методологија претставува структурно геолошкиот состав на просторот, присутниот магматизам, метаморфизам како и застапеноста на дисјунктивната тектоника пропратена со постмагматска активност. Со истражувањето на истражниот простор треба да се примени методологијата на следење на геолошките граници и поголемите тектонски структури за што поточно дефинирање на геолошкиот склоп на теренот. Исто така при одредувањето на маршрутите треба да се води сметка со нив да се пресечат што е можно повеќе литолошки граници, односно маршрутите да се планираат нормално на протегањето на литолошките единици. Проучувањата треба да бидат од аспект на опишување на геолошките, минералозските и петролошките карактеристики на застапените карпести маси. За покриените делови од теренот се применува методата на истражно дупчење или раскопување. Исто така од одредени карпести маси се зимаат

примероци за потребните лабораториски испитувања. Картирањето на интрузивните (плутонските) карпи се врши со цел да се осознае нивната геологија, генеза, тектонската градба, развојот, значењето од металогенетски аспект и врската со другите геолошки дејствија. Картирањето на интрузивните карпи опфаќа:

- одредување на составот, на структурно-текстурните својства и видот на карпата;
- издвојување картирани единици ;
- истражување на обликот на интрузивните тела, контактот со околината и меѓу интерните единици;
- испитување на контактните промени во околните карпи;
- испитување на постмагматските промени и појави, а особено за кои се врзани значајни минерални суровини;
- испитување на внатрешната градба на интрузивните тела;

-испитување на релативната геолошка и изотопска старост на интрузивните карпи и нивните вариетети. На геолошките карти, метаморфните карпи се означуваат според составот, структурно-текстурните својства, староста а поретко и според бојата. Кога ќе се разреши метаморфната и предметаморфната градба, потоа се врши формационо расчленување. Ако не можат да се утврдат предметаморфните својства на карпите, формациите се издвојуваат врз основа на составот и староста на метаморфизмот. Со картирањето на метаморфните карпи се издвојуваат картирани единици и се одредуваат својствата на метаморфните вариетети и предметаморфните својства на магматските и седиментните карпи од кои потекнуваат. Теренското картирање е задолжително проследено со пишувана, графичка и материјална документација, која ќе послужи како основа за кабинетска работа, лабораториски испитувања и изработката на Основната геолошка карта и толкувачот. Динамиката за изработка на ОГК-2 на реон "Плачковица" се состои од реализирање на истражните работи во три фази.

**I-Фаза** - изработка на Проект за изработка на Основна Геолошка карта (ОГК-2) реон "Плачковица" во мерка 1:50.000 ;

**II-Фаза** - изведување на проектираните Геодетски, Геолошки, Геохемиски, шлиховски, Геофизички, лабораториски и кабинетски работи;

**III-Фаза** - изработка на синтезни карти и толкувачи

Во проектот детално се обработени последните две фази, во поглед на дефинирање на истражните работи по потребниот вид и обем, локацијата, начинот на изведување, потребната опрема, динамичкиот план за изведување, потребните финансиски средства и други работи. Основна геолошка карта се изработува во теренски размер 1:10.000 а финално се прикажува во размер 1:50.000. Топографските основи треба да бидат понови карти по гриничка поделба. Основна геолошка карта треба да ги содржи следните елементи:

-површини на распространување на седиментните, магматските и метаморфните карпи, расчленети по старост, состав и склоп,

и издвоени геолошки граници со ознака на крактер;

-структурни елементи;

-податоци за местата на појавување, истражување и експлоатација на минерални суровини;

-останати геолошки, хидрогеолошки, инженерскогеолошки, геоморфолошки и други појави.

## **II - Фаза**

Пред започнување на теренските работи за изработка на ОГК-2, се проучува постоечка стручна документација и литература за истражниот терен. Потоа се припремат топографски, геолошки, фотоголошки и други карти, аеро снимци, сателитски снимци, и друг стручен материјал, се врши подготовка на опремата, и се врши планирање за реализирање на теренските работи. Теренските работи започнуваат со увид на теренот (рекогносцирање), за согледување на проблемите кои што треба да се решат и за собирање на материјалот за прелиминарна лабораториска обработка. Детално геолошко картирање се врши во размер 1:10.000 со систематско поминување преку теренот (по определени тури) и на определени точки со собирање на податоците од изданоци. Сите податоци се внесуваат во теренски дневник (диктафон или сл.) и на топографска карта, а поважните детали се фотографираат или се исцртуваат. Во теренскиот дневник се пишуваат местото и бројот на секоја точка на набљудување, бројот на земен примерок (микроскопски препарат, а проби за хемиска анализа по која метода се земени. Се собираат сите податоци за старост, состав, генеза и просторен однос на картираните творевини, појави и наоѓалишта на минерални суровини и др. На соодветни изданоци се земат примероци за лабораториски испитувања или за прелиминарна споредба. За секој теренски ден во база се изработува документациона карта и теренска геолошка карта. На теренската геолошка карта се издвојуваат картираните единици, сите видови геолошки граници, тектонски структури, евентуални несогласувања на геолошките граници или структури (ги проверува носителот на задачата со членот кај кој се јавува неправилност). На неа се

изработува прелиминарна легенда. При деталното геолошко картирање во размер 1:10.000, треба да се комбинираат методите на геолошко картирање и запази принципот за соодветна густина на набљудувачки точки и профили (тури) која ќе овозможи решавање на поставената цел. Се препорачува максимум од 120 точки/km<sup>2</sup>, но не помалку од 50 точки/km<sup>2</sup>. Реамбулација за геолошко картирање на теренот е предвидена само на оние површини, каде порано е изработена геолошка карта 1:10 000. Предложената методологија на геолошките истражувања и испитувања е општо позната и во целост е усогласена со Упатството за изработка на ОГК. Тука ги потенцираме само оние методи што покрај познатите се најбитни за изработка на Основната геолошка карта (ОГК-2). Во текот на втората фаза од реализацијата на проектот, ќе бидат применувани комплексни и мултидисциплинарни методи, како што се геодетски, тектонски, геолошки, геохемиски, шлиховски, геофизички и други методи на истражувања и испитувања. За геолошките методи на истражување, покрај досега познатите методи за структурно-геолошко картирање, го нагласуваме следното:

- Прво, регистрирање на сите пликативни и дисјунктивни деформации со директно мерење на елементите на падот на тие деформации.

- Второ, за геолошкиот состав на теренот, да се обрне внимание на следното:

- > За седиментните карпи:

- издвојување по принцип на формации;
- систематско и детално геохронолошко издвојување;

- детално расчленување на квартерните седименти и регистрирање на корисните минерални суровини.

- > За вулканогени карпи

- испитување на главните групи вулканити и нивните меѓусебни преоди;

- користење на методот на сите изданоци при картирањето, максимално да се почитува;

- задолжително да се определи обликот на тие магматски тела;

- постмагматските промени се издвојуваат многу детално, заради нивното значење за откривање на рудни појави и наоѓалишта.

- > За плутонските карпи

- детално испитување на постмагматските промени и појави, посебно на оние што се

карактеристични како носители на минерални суровини;

- испитување на контактните феномени, како на батолитите така и на околните карпи;

- класификација на елементите на склопот, геометриска, хронолошка, генетска анализа на сите планарни и минерални елементи;

- испитување на релативната геолошка старост на картираните единици, како и лоцирање места за проби, за одредување на апсолутната геолошка старост на карпите.

- > За метаморфните карпи:

- Издвојување на метаморфните карпи;

- Одредување на повеќефазноста на метаморфизмот;

- Посебно внимание да се обрне на земањето проби за испитувањето на предметаморфните карактеристики на карпите и нивната метаморфна историја. Геохемиските методи се содржат во геохемиското опробување на секундарните ореоли на расејување по поточна мрежа, земањето на материјал од двете страни на потокот, опробување на алкалии и хидротермални наоѓалишта и пегматити. Геохемиската проспекција (металометрија) ќе се применува со цел да се испита дистрибуцијата на елементите на проспектираниот простор и притоа просторно да се издвојат ореолите на секундарно расејување во чии рамки се наоѓаат примарните рудни минерализации.

Шлиховското опробување по поточна мрежа се состои од земање 30 kg материјал, од алувионот на потокот и потоа со шлиховање се добива најчесто сив шлих. Шлиховска метода на проспекција има за задача да преку испитувања и детерминирања на шлиховско-минералношки индикации се откријат "слепи" скриени рудни минерализации. Програмирањето на местата за опробување и кај шлиховската и кај металометријата метода е условена од повеќе фактори и тоа структурно-геолошки и геоморфолошки. Раководејќи се по принципот, да секој сегмент од проспектираниот простор биде истражен, односно испитан, до степен кој го предвидува упатството (4 шлиха и 8 металометриски проби на km<sup>2</sup>). Местата за опробување треба да се одредени така

да секоја проба ја репрезентира опробуваната површина, како за минералошката застапеност (шлих), така и за квалитативно, семиквантитативната дистрибуција на елементите. Шлиховските и металометриските проби треба да се рамномерно распоредени по хидрографската мрежа на приближно растојание од 250-300 m. За решавањето на сложената геолошка градба во покриените и подлабоките делови на подземјето во реонот на "Плачковица", голем придонес може да даде примената на геофизичките методи, нарочно за просторно и длабинско дефинирање на тектонските структури, за идентификација и просторно лоцирање на магматските тела (батолити) и за добивање на други податоци кои се од значење за откривање на рудни појави и наоѓалишта на метални минерални суровини. Се предлагат комбинирани гравиметриско-геомагнетни мерења од регионален карактер (4 точки/km<sup>2</sup>). Лабораториски испитувања се многу важен дел од реализацијата, а се состојат од: подготовка на геохемиски проби, шлиховски проби, проби за силикатни анализи, хемиски анализи, анализи на алкалии K<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>O и други видови кои детално се прикажани во динамичкиот план и предмер пресметката. Од предложените лабораториски работи предност се дава на методата ISP-AES водејќи сметка за економичноста и ефикасноста. Анализирањето се врши квантитативно и квалитативно, кај сите шлихови задолжително е одредување на присуство на шелит во секоја шлиховска проба. Апсолутната геолошка старост на свежи магматски карпи може да се одредува со предложените методи на геохронолошката анализа (K/Ar и другите методи). Анализирањето на сите геохемиски, шлиховски проби треба да се извршат на 48 елементи. Тука се опфатени сите елементи, кои досега се анализирани со класични хемиски анализи. На дел од Радовишко и Кочанско поле, како и во пределот изграден од филокарбонатната формација се предвидени сите потребни истражни работи за седиментни и вулканогено-седиментни карпи, т.е. се предвидени гранулометриски анализи на минерали во тешки течности, анализа на фауна, одредување на флора. Шлиховска и геохемиска проспекција не се предвивуваат затоа што во најголем дел од површинските водотеци се канализирани односно резултатите не би биле веродостојни.

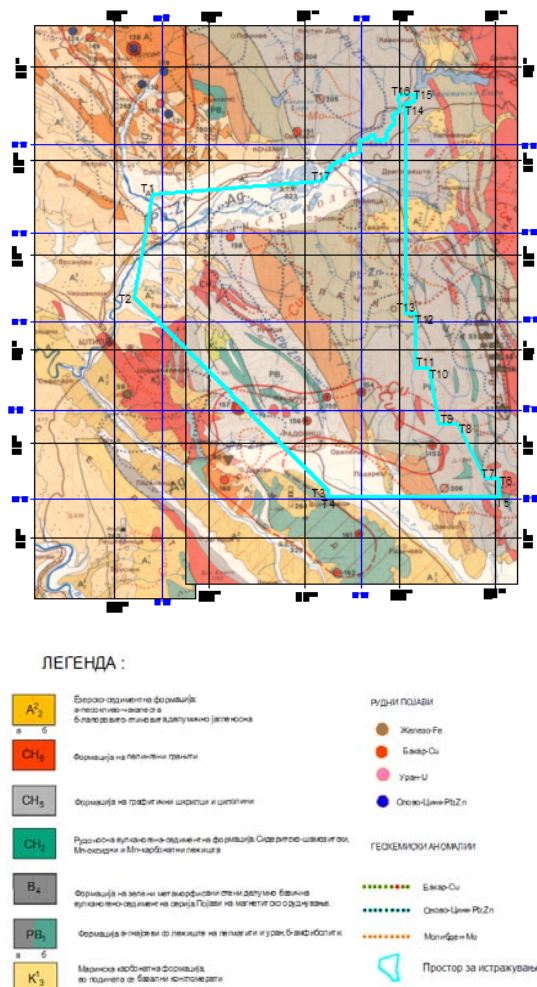
### III - Фаза

Врз основа на постигнатите резултати со истражувањата и испитувањата на реонот "Плачковица", се реализира завршната фаза, која истовремено е конечна фаза, како и конечна цел и задача на овој труд. Во оваа трета фаза се сумираат, анализираат, реинтерпретираат и синтетизираат добиените податоци и резултатите од сите истражувања и испитувања и истите се презентираат во вид на Основна Геолошка карта 2 (ОГК-2) и Карта на минерални суровини. Се предвидени следните работи:

- > компилација на геолошки податоци од размер 1:10.000 на 1:50.000;
- > анализа на зависноста помеѓу геохронологијата, тектониката и магматизмот на реонот "Плачковица".
- > изработка на Основна геолошка карта (ОГК-2) со толкувач во размер 1:50.000;
- > статистичка обработка на податоци од секундарна геохемија и шлихови на Cu, Pb, Zn, Ba, Mo, Sn и Ag;
- > изработка на геохемиски карти на аномалии на Cu, Pb, Zn, Ba, Mo, Sn и Ag во размер 1:50.000;
- > изработка на синтетична геохемиска карта во размер 1:50.000 со толкувач;
- > изработка на синтетична шлиховско-минералозна карта во размер 1:50.000 со толкувач.
- > изработка на синтетични геофизички карти (гравиметриска, геомагнетна, радиометриска и др.) во размер 1:50.000;
- > изработка на карта на минерални суровини во размер 1:50.000 со определување на перспективни подрачја со толкувач;
- > изработка на металогенетска карта во размер 1:50.000 со толкувач.

На крајот на третата фаза се предвидува печатење на Основна геолошка, металогенетска карта и карта на минерални суровини со толкувач.

Толкувачот претставува комплетен и концезен опис на добиените резултати од спроведените истражувања за геолошка градба и историски развој на теренот, како дополнување на податоците, идеите и фактите кои не можеа да се прикажат графички со картите, легенди и столбовите.



Слика 1. Металогенетска карта на реон Плачковица M=1:200 000

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Како краен резултат од спроведените геолошки, геохемиски, геофизички и лабораториски испитувања е изработка на Основна Геолошка Карта-2 во M : 50 000, како база за изработка на следните специјалистички карти :

- Структурно-тектонска карта,
- Геохемиска карта ,
- Карта на минерални сировини и како краен продукт на сите претходно споменати карти изработка на Металогенетска карта.

Покрај споменатите карти со изработката на ОГК-2 ќе се добијат фундаментални податоци за изработка на Основна инженерско геолошка карта, Основна хидрогеолошка карта, како и за изработка на проекти, од геотехнички и друг специјалистички карактер.

За реализација на предвидената методологија без условно треба да учествуваат следните специјалистички кадри:

Структурно-геолошки специјалисти (стратиграфи, петролози, металогеничари, седиментолози, палеонтолози, тектоничари, геофизичари, геохемичари, минералози) пропратени со соодветни специјалисти за лабораториски испитувања (рудна микроскопија, микроскопија во пропуштена светлина, атомски апсорбер, геохронолошки испитувања и др.).

## БЛАГОДАРНОСТ

До колегите од “Геохидроинженеринг” и колегата Благојчо Божинов со кои ги изведовме теренските проспекциски истражни работи.

## ЛИТЕРАТУРА

- Арсовски М. и Стојанов Р. (1966) Општа карактеристика на геолошката градба на територијата на С.Р.М.
- Грубиќ А. (1966): Тектонске карактеристике вардарске зоне.
- Измајлов Н. (1960): Главне црте тектонике Македоније.
- Павлович М. (1939), Извештај о прегледном геолошком испитувању на листу “Штип” 1:100. 000.
- Пендерковски Ј. и Ѓузелковски Д. (1958):Извештај за геолошкото картирање на теренот Плачковица (листови 1 и 3).
- Ракичевич Т., Домурџанов Н.,Петковски П. (1976) толкувач за Основна Геолошка Карта на СФРЈ 1:100 000,лист Штип.
- Симиќ М. и Симиќ В. (1963): Минералне фације у метаморфној серији зелених шкриљца на планини Плачковици-СРМ.
- Томиќ Ј. (1929 ) Гранитски масив код Штипа.
- Томиќ Ј. (1936 б ): Рукописна геолошка карта листа Плачковица 1: 100 000.
- Христов С., Страчков М.,Карајовановиќ М.( 1973 ): Толкувач за Основна Геолошка Карта на СФРЈ 1:100 000, лист Кавадарци.
- Христов С.,Страчков М.,Карајовановиќ М. (1965) Толкувач за Основна Геолошка Карта на СФРЈ 1:100 000-Кавадарци.

# ПРОЕКТ ЗА ИЗРАБОТКА НА ОСНОВНА ГЕОЛОШКА КАРТА ОГК 2 РЕОН ОГРАЖДЕН-БЕЛАСИЦА М 1:50.000

Сашо Георгиевски, Санде Донеv, Игор Митеv

Geing Krebs und Kifer Interneshnl - Скопје, улица Борка Талески бр.24 - Скопје, Р. Македонија  
saso.g@geing.com.mk, donev.s@geing.com.mk, mitev.i@geing.com.mk

## Апстракт

Овој Проект е изработен во целост согласно со Упатствата за изработка на ОГК, ОХГК, ОИГК, Законот за минерални сировини (Службен весник на Р. М. бр.18/99 и 29/02), како и согласно со другите технички прописи, норми и стандарди од областа на геологијата. При тоа, користени се најсовремени научни сознанија и технолошки методи од областа на геологијата, информатичка технологија и др., како и од досегашното искуство во вршење на ваков вид на работи. Изработка на ОГК-2 на реонот “Огражден-Беласица” се реализира во три фази. Целокупната техничка документација од Проектот (текстуални и графички прилози, фотографии и др.) е изработена во дигитална форма со формирана база на податоци, извршена е векторизација на картите и сето тоа е складирано на компакт диск.

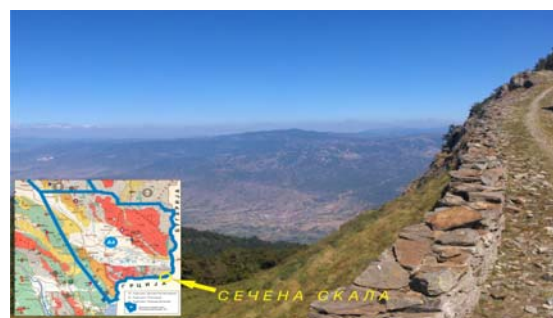
**Клучни зборови:** геолошка карта, стандарди за изработка на основни геолошки карти и начин на приказ

## ВОВЕД

Со долгорочна програма за развојот на основни геолошки истражувања во Р. Македонија, на територијата на Р.М. се формирани пет Макропроекти: “Српско-Македонска маса”, “Вардарска зона”, “Пелагон”, “Западно – Македонска зона” и “Неогени и квартерни базени”. Се започнало со реализација на Макропроектот “Српско – Македонска маса” кој се состои од пет проекти: Проект А-1-руден реон “Осогово-Саса-Тораница”, Проект А-2 - руден реон “Делчево-Пехчево-Берово”, Проект А-3 - руден реон “Плачковица”, Проект А-4 - руден реон “Огражден-Беласица” и Проект А-5 – руден реон “Кратовско-Злетовско вулканска област”. Главната цел на овој Проект е реализација на I-та фаза и програмирање на натамошните истражни работи во II-та и III-фаза, за изработка на ОГК-2. Втората фаза ги содржи теренските, лабораториските и кабинетските работи, додека третата фаза се состои само од анализа и синтеза на сите извршени истражни работи и изработка на финални карти во размер 1:50.000 со толкувачи. Целокупната техничка документација од Проектот е изработена во дигитална форма со формирана база на податоци, извршена е векторизација на картите и сето тоа е складирано на компакт диск.

## МОРФОЛОГИЈА НА ТЕРЕНОТ

Морфологијата на теренот се одликува со рамничарски дел, како што е Струмичката котлина, заедно со Радовишкото поле и планинските делови на Огражден и Беласица. Најмаркантни коти на планината Огражден се: истоимениот врв Огражден (1776 m), Цами Тепе (1394 m), Грамадна (1276 m) и Батерница (1169 m), а на Беласица: Тумоа (1881 m), Висока Чука (1485 m), Писана Скала (1417 m) и Мераба Кран (1198 m). Најниската кота е 200 m, кај царинарницата на државната Македонско-Бугарска граница. Планинските делови се одликуваат со стрмни поточни долини, од кои некои се практично непристапни. Во потоците на Беласица се формирани водопади, од кои најзабележителни се Смоларскиот водопад и Колешинскиот водопад. Стрмните поточни долини на ободот на Струмичката котлина нанесуваат големи наслаги на пролувијални седименти.



Слика 1. Панорамски приказ на теренот кој е предмет на истражувања

## **ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ТЕРЕНОТ**

Во овој Проект за изработка на Основна Геолошка карта (ОГК-2) за реон “Огражден-Беласица”, применети се принципите и методите на геохронолошка поделба, орогенетски фази и тектономагматски циклуси. Новитети има само во пристапот кон генезата на некои карпи, нивното прецизно место во легендата, а во согласност со резултатите од одредувањето на апсолутната геолошка старост со помош на Sr-метода. Поодделно се нагласени метаморфните процеси, кои многу битно влијаеле врз генетските карактеристики на метаморфните карпи. Максимално се користени резултатите од прегледот на досегашните истражувања и испитувања, како и резултатите од овогодешното геолошко рекогносцирање на теренот. Теренот што е предмет на овој Проект во геолошки и тектонско-структурниот однос представува дел од Српско-Македонската маса. Врз база на литолошките карактеристики се издвоени прекамбриски метаморфни карпи, рифеј-камбриски шкрилци, старопалеозојски метаморфити, пермо-тријаски гранити и гранитоиди, јурски габрови и серпентинити, кредни риолити и гранити, терциерни седименти и дацити и квартерни седименти. Геолошката градба на теренот е представена од следните геолошки единици:

### **Прекамбриски метаморфни карпи**

Прекамбриските метаморфни карпи ја изградуваат основата на овој терен. Геолошката старост им е определена по аналогија со слични карпи, што се откриени во Српско-Македонскиот масив. По литолошките карактеристики, издвоени се гнајсеви, микашисти, амфиболити и ленти од амфиболитски шкрилци.

### **Карпи од старопалеозојски комплекс**

Во метаморфни карпи од оваа геолошка старост и кои се во границите на теренот се јавуваат: мермери, кварц-серицит-хлоритски шкрилци, хлоритски шкрилци, метагабови и највеќе филити и метапесочници.

### **Јурски карпи**

На северните падини на Беласица, констатирана е оваа карпа, и детално истражувана, а други помали маси и во вид на дајкови и леќи се во близина на с. Ко-

лешино и на Огражден. Тоа се карпи со среднозрнеста структура, масивни во централните делови, а по периферијата покажуваат шкрилав хабитус. Воглавно се свежи, со паралелопипедно лачење. Структурата им е габровска со големина на зрната од 1.2 до 2.0 mm. Изградени се од хорбленда и плагиокласи, како главни минерали, а споредни се кварцот и биотитот. Секундарни состојки се епидотот, цоиситот, хлоритот и пренитот. Акцесорни минерали се: сфен и апатитот.

### **Кредни алкални гнајсовидни гранити**

Овие карпи се издвоени на Беласица-гранитоиди, кои по својот состав и склоп се разликуваат од гранитоидите на Огражден. Конкордантно се втиснати во околните прекамбриски метаморфити, со кои покажуваат јасни геолошки граници. Со две K/Ar геохронолошки анализи, една од мусковит-109 милиони години, друга од биотит-126 милиони години. Тие резултати одговараат на долна креда, мусковитот од аптски кат, а биотит помеѓу валендијски и отривски кат. Тие карпи се издвоени како: дволикунски гнајсовидни гранити, биотитски гнајсовидни гранити и мусковитски гнајсовидни гранити.

### **Горно Еоценски седименти**

Горноеоценските седименти со фосилно потекло, се јавуваат во атарите на селата Иловица и Штука. Тоа се туфови, конгломерати, песочници и варовници. Кристалокластичните туфови се со крупнопсамитска структура, составена од зрна на кварц, фелдспати, амфиболи, биотит и основна маса. Представуваат доста песоковите варовници, во чија маса се забележуваат фрагменти од ежеви и добро сочувана микрофауна, представена со алвеолини и милиолиди.

### **Плиоценски седименти**

Плиоценските седименти, се трансгресивно над постарите метаморфни седиментни и магматски карпи. Тоа е груб териген материјал, од чакали, песоци, песоковливи глини, глини, лапорци и варовници. Тие всушност се помешани песоковливо-глинести и карбонатни седименти, кои фазијално се сменуваат хоризонтално и вертикално. На картата се оконтурени следните литолошки членови: песоци, глини и песочници, глини, песоци и чакали и глини, суглини и

песочи. Длабинското простирање им е одредено со геофизички методи и длабинско дупчење.

### **Квартерни седименти**

Квартерните седименти го покриваат најголемиот дел од теренот. Најголем дел од тие седименти створени се во текот на плеистоцен, а холоценските се ствараат и денес. Овде се издвоени флувио-гласијални материјал, органо-барски седименти, езерски седименти, слабо услоен гранитски грус, повисока речна тераса, пониска речна тераса, пролувиум, делувиум, распаднат површински материјал и алувиум. Сите квартални седименти ги прекриваат геолошки постарите карпи и се пречка за прецизно лоцирање на геолошките граници, помеѓу карпите. Флувијалните (алувијалните) седименти се основа за примена на шлиховско опробување, остатокот на распаѓање често овозможува бујна тревна вегетација. Посебно овде е издвоен слабо услоен гранитски грус, кој најверојатно е настанат со седиментација во водена средина. Дебелината му е и повеќе од 6.0 m. Регистриран е при нашето рекогносцирањето на теренот. Освен тоа е забележан процесот на сулфатизација кај бањата Банско.



Слика 2. Картирање на отворени профили

### **ТЕКТОНСКА ГРАДБА НА ТЕРЕНОТ**

Основата на тектонската градба на теренот ја сочинуваат: Огражденскиот батолит, Струмичката депресија и Беласичкиот хорст. Најважни карактеристики се елиптичната форма на Огражденскиот батолит и генералното протегање северозапад-југоисток. Беласичкиот хорст се протега во правец исток-запад. Овде, значајно е да се нагласи констатацијата дека епигенетските движења се пресметани геофизички и тие изнесуваат 2 mm/годишно. Практично на теренот, јасно видливи се пликативните, дисјунктивните структури, а љушпести руптурни деформации и дијапирско втиснување се детерминирани

вдолж пликативните и дисјунктивните руптурни деформации.

Пликативните деформации имаат правец на протегање на оските северозапад-југоисток, нешто поретко се со протегање во правец север-југ, а најретко се со генерален правец на протегање на оските кон североисток-југозапад. Дисјунктивните руптурни деформации се со генерални насоки на протегање во следните три правци. Најмаркантни се и многу јасно се забележуваат со правец на протегање северозапад-југоисток, а потоа следат руптурните деформации со протегање североисток-југозапад. Тие ги пресекуваат руптурните со протегање северозапад-југоисток, и создаваат љушпести структури на навлекување. Релативно најретки се руптурните деформации со генерален правец на протегање север-југ.

### **ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ И ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ТЕРЕНОТ**

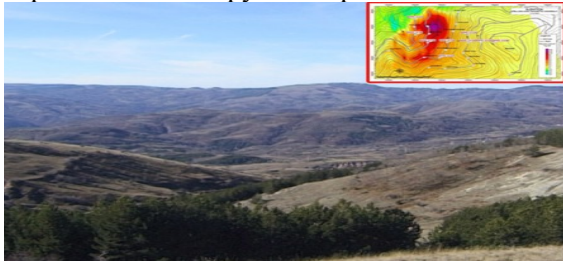
Главните сливови на водотеците, гравитираат кон две реки и Дојранското езеро. Речните и поточните текови од планината Огражден и северните делови на Беласица, гравитираат кон реката Струмица, а сливовите од северниот дел на Огражден, кон реката Преведена. Еден дел од јужните поточни сливови од Беласица се вливаат во Дојранското езеро, а другиот дел во Анска река, притока на р. Вардар. Хидрогеолошки карактеристики е дека јужните делови од двете од двете планини Огражден и Беласица, се одликуват со многу малку постојани извори и водотеци. Ваквата хидрогеологија на теренот, представува проблем за нормално водоснабдување на селските населби, во тој дел, а исто така ќе биде пречка при шлиховското опробување, и понатака нема услови за квалитетна примена на хидрохемиската метода на флуор.

### **ПРЕГЛЕД НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ**

Теренот, што е предмет на проектот се одликува со индикации, појави и наоѓалишта на минерални сировини, како и градежен материјал, кои имаат перспективно значење. Од досегашните истражувања и испитувања, регистрирани се индикации на калај, волфрам, сребро,



бакар и олово и цинк. Истражувани се појавите на уран, злато, бакар, олово и цинк, железо. Индикации на Sn и W се регистрирани на локалностите на североисточната страна на врвот Огражден, кај Ново Село и југозападно од Банско. Појави на Pb, Zn, Cu се истражувани на локалностите Иловица - Штука и во атарот на с. Бајрамбос. Злато моментално се истражува на локалноста “Вро - Иловица”, така да добиените резултати од деталните геолошки истражувања со структурно дупчење укажале дека се работи за перспективно наоѓалиште. Освен тоа, злато е констатирано во алувионите на Селски поток, Дивљак поток. Златоносни се алувионите на Сушевска, Доброшинска и горниот тек на Струмичка река.



Слика 3. Идниот рудник за бакар и злато Иловица-Штука

Обемни истражувања на уран се извршени на локалностите: Куклиш, Банско, Свидовица, Кара Таш, Бајрамбос, Ѓупски Присој, Широко Дол, Близава Ритка, Липски Присој, Еленин Врв кај Подареш. Како перспективни се следните ураноносни региони:

- Ураноносен регион Куклиш-Три Води- Струмица;
- Ураноносно поле Куклиш - Ајду Таш;
- Ураноносно поле Свидовица - Бела Скала;
- Ураноносно поле Дорлобос - Чинарли;
- Ураноносно поле Паспатај - Карани;
- Ураноносен регион Бајрамбос;
- Ураноносен регион Кара Таш;
- Ураноносен регион Поповњак - Зартелташ;
- Ураноносно поле Бедна Пољана;

Кај локалноста Куклиш Струмица постои запуштен истражен поткоп. Покрај овие полиња, перспективно е и ураноносното поле Еленин Врв, кај Подареш, каде е детално истражено и се пресметани рудни резерви.

Експлоатацијата на натрискиот фелдспат со површински коп се врши на локалноста кај с. Хамзали, концесија на “Неметали

Огражден”-Струмица. Андалузити се јавуваат помеѓу селата Нова Мала, Доброшинци, Висока Мала, на пределот северно од с. Сушево, потоа на јужните падини на планина Готен (Мал и Голем Гарван), во долината на Широко Дол и Безгаштевска Река, Кукавица, Суви Лаки, река Штука - Рамниште - Ново Село - Македонско Бугарска граница. Исто така, порано е истражуван алунит но подетални податоци не беа достапни. На многу локалности, на теренот има кварцно фелдспатски суровини. Експлоатација е вршена на каолински глини. Од неметалните минерални суровини, моментално сега се експлоатира натриски фелдспат, а има појави на кварцно-фелдспатска суровина, каолински глини, каолинити, кварц, алунит, андалузити и др. Како интересна појава на градежен материјал е истражуван амфиболски габро, а перспективни за истражување се порфиرويدните биотитски гранити, кои можат да се користат како декоративен и градежен материјал. Тука треба да се додадат уште неметални минерални суровини, песоците и чакалите, кои се користат како материјали во градежништвото. На овој терен има појави на сулфур во близината на градот Струмица, што заслужува понатамошни истражувања и испитувања. Општо е позната бањата Банско и другите појави на термална вода во Струмичката котлина. Од бањата Банско водата се користи во балнеолошки цели како и за оранжериско производство на раноградинарски култури.

### ЦЕЛ И ЗАДАЧА НА ПРОЕКТИРАНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

Основна цел на проектираните истражувања и испитувања е да се изработи Основна геолошка Карта (или скратено ОГК-2) во мерка 1:50.000. Таа ќе послужи за добивање податоци за геолошката градба на теренот, за проспекција на минерални суровини, потоа ќе послужи како основа за изработка на други специјалистички карти, за детални геолошки истражувања и др.

Целта се постигнува со реализирање на проектираните истражни работи, кои се опишани во текстот што следува и графичката документацијата.

При теренската изработка на ОГК-2 истовремено се врши и проспекција за минерални сировини, што е прикажано на кои сировини да се обрне нужно внимание.

Главната цел е сите проектирани работи да се изведуваат со примена на најнова опрема и средства за работа, што одговараат на денешниот степен на развој на техниката.

Намената на ОГК-2 е следната:

- за изработка на Основна хидрогеолошка карта (ОХГК-1);
- за изработка на Основна инженерскогеолошка карта (ОИГК-1);
- за изработка на карта на минерални сировини во размер 1:50.000;
- за изработка на металогенетска карта во размер 1:50.000;
- за рационално и ефикасно управување и мониторинг со концесии;
- за научни цели (студии, проекти и др.).

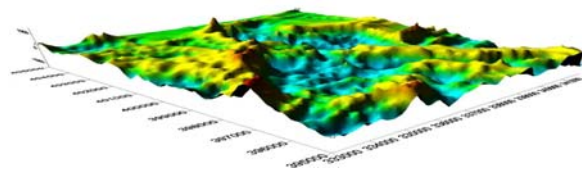
За дел од проблеми што не се предвидени во овој проект, кои можат да се јават во текот на реализацијата на проектираните истражни работи, ќе се решаваат договорно во моментот кога ќе настанат.

#### **КОНЦЕПЦИЈА И МЕТОДОЛОГИЈА НА ПРОЕКТИРАНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА**

Основната концепција за изработка на ОГК-2 на руден реон “Огражден-Беласица” се состои од фазно реализирање на истражните работи. Основна геолошка карта се изработува во теренски размер 1:10.000 а финално се прикажува во размер 1:50.000. Топографските основи треба да бидат понови карти по гриничка поделба.

Основна геолошка карта треба да ги содржи следните елементи:

- површини на распространување на седиментните, магматските и метаморфните карпи, расчленети по старост, состав и склоп, и издвоени геолошки граници со ознака на карактер;
- структурни елементи;
- податоци за местата на појавување, истражување и експлоатација на минерални сировини;
- останати геолошки, хидрогеолошки, инженерскогеолошки, геоморфолошки и други појави;



**Слика 4.** Обработка на геолошки подлоги во 3Д ГИС Систем

Руден реон “Огражден-Беласица” опфаќа 6 листа на геолошка карта во размер 1:50.000. Секој од овие листови содржат по 16 листа во размер 1:10.000 или за истражниот терен вкупно 53 листа. Пред започнување на теренските работи за изработка на карта, се проучува постоечка стручна документација и литература за истражниот терен и за проблемите, се припремаат топографски, геолошки, фотогеолошки и други карти, аеро снимци, сателитски снимци, и друг стручен материјал. Теренските работи започнуваат со увид на теренот (рекогносцирање), за согледување на проблемите кои што треба да се решат и за собирање на материјалот за прелиминарна лабораториска обработка. Детално геолошко картирање се врши во размер 1:10.000 со систематско поминување преку теренот (по определени тури) и на определени точки со собирање на податоците од изданоци. Сите податоци се внесуваат во теренски дневник (диктафон или сл.) и на топографска карта, а поважните детали се фотографираат или се исцртуваат. Во теренскиот дневник се пишуваат местото и бројот на секоја точка на набљудување, бројот на земен примерок (микроскопски препарат, а проби за хемиска анализа по која метода се земени. Се собираат сите податоци за старост, состав, генеза и просторен однос на картираните творевини, појави и наоѓалишта на минерални сировини и др. На соодветни изданоци се земаат примероци за лабораториски испитувања или за прелиминарна споредба. За секој теренски ден во база се изработува документациона карта и теренска геолошка карта. На теренската геолошка карта се издвојуваат картираните единици, сите видови геолошки граници, тектонски структури, евентуални несогласувања на геолошките граници или структури (ги проверува носителот на задачата со членот кај кој се јавува неправилност). На неа се изработува прелиминарна

легенда. При деталното геолошко картирање во размер 1:10.000, треба да се комбинираат методите на геолошко картирање и запази принципот за соодветна густина на набљудувачки точки и профили (тури) која ќе овозможи решавање на поставената цел. Се препорачува максимум од 120 точки/km<sup>2</sup>, но не помалку од 50 точки/km<sup>2</sup>. Реамбулација за геолошко картирање на теренот е предвидена само на оние површини, каде порано е изработена геолошка карта 1:10.000 во рамките на детални истражувања на минерални суровини на андалузити и на уран. Поради тоа во овој проект е предвидено реамбулација да се изврши во првата година на површина 5 km<sup>2</sup> и во четвртата година на површина 13 km<sup>2</sup>. Предложената методологија на геолошките истражувања и испитувања е општо позната и во целост е усогласена со Упатството за изработка на ОГК. Тука ги потенцираме само оние методи што покрај познатите се најбитни за изработка на Основната геолошка карта (ОГК-2). Во текот на втората фаза од реализацијата на проектот, ќе бидат применувани комплексни и мултидисциплинарни методи, како што се геодетски, тектонски, геолошки, геохемиски, шлиховски, геофизички и други методи на истражувања и испитувања.

Директно применување на геодетски методи за работа на терен, не се предвидува освен кај геофизичките методи. При геолошкото картирање и другите теренските работи најдобро е лоцирање на местата, точките и профилите да се врши со ГПС систем. За геолошките методи на истражување, покрај досега познатите методи за структурно-геолошко картирање, го нагласуваме следното:

-Прво, регистрирање на сите пликативни и дисјунктивни деформации со директно мерење на елементите на падот на тие деформации.

-Второ, за геолошкиот состав на теренот, да се обрне внимание на следното:

*За седиментните карпи:*

-издвојување по принцип на формации;  
-систематско и детално геохронолошко издвојување;

-детално расчленување на квартерните седименти и регистрирање на корисните минерални суровини.

*За вулканогените карпи-откриени досега во атарите на с. Иловица и с. Штука:*

-испитување на главните групи вулканити и нивните меѓусебни преоди;  
-користење на методот на сите изданоци при картирањето, максимално да се почитува;  
-задолжително да се определи обликот на тие магматски тела;  
-постмагматските промени се издвојуваат многу детално, заради нивното значење за откривање на рудни појави и наоѓалишта.

*За плутонските карпи, како што се Огражденскиот и Беласичкиот батолит:*

-детално испитување на постмагматските промени и појави, посебно на оние што се карактеристични како носители на минерални суровини;  
-испитување на контактните феномени, како на батолитите така и на околните карпи;  
-испитување на релативната геолошка старост на картираните единици, како и лоцирање места за проби, за одредување на апсолутната геолошка старост на карпите.

*-За метаморфните карпи:*

-Издвојување на метаморфните карпи;  
-Одредување на повеќефазноста на метаморфизмот;  
Посебно внимание да се обрне на земањето проби за испитувањето на предметаморфните карактеристики на карпите и нивната метаморфна историја. Геохемиските методи се содржат во геохемиското опробување на секундарните ореоли на расејување по поточна мрежа, земањето на материјал од двете страни на потокот, опробување на алкалии и хидротермални наоѓалишта и пегматити. Геохемиската проспекција ќе се применува со цел да се испита дистрибуцијата на елементите на проспектираниот простор и притоа просторно да се издвојат ореолите на секундарно расејување во чии рамки се наоѓаат примарните рудни минерализации. Во рамничарскиот дел на Струмичката котлина не е планирана геохемиска проспекција, затоа што нема услови за примена на методата што е дадена за Огражден и Беласица.

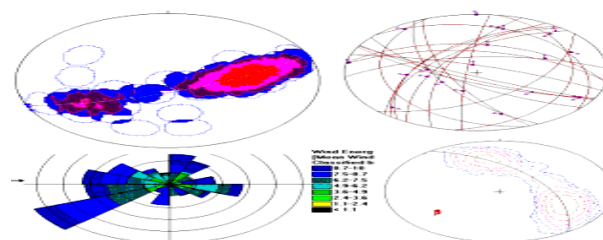
Шлиховското опробување по поточна мрежа се состои од земање 30 kg материјал, од алувионот на потокот и потоа со шлиховање се добива најчесто сив шлих. Шлиховска метода на проспекција има за задача да преку испитувања и детерминирања на шлиховско-минералоски индикации се откријат “слепи” скриени рудни минерализации.

Програмирањето на местата за опробување и кај шлиховската и кај металометриската метода е условена од повеќе фактори и тоа структурно-геолошки и геоморфолошки. Местата за опробување треба да се одредени така да секоја проба ја репрезентира опробуваната површина, како за минералоската застапеност (шлих), така и за квалитативно, семиквантитативната дистрибуција на елементите. Шлиховските и металометриските проби треба да се рамномерно распоредени по хидрографската мрежа на приближно растојание од 250-300 m.

За решавањето на сложената геолошка града во покриените и подлабоките делови на подземјето во реонот на “Огражден-Беласица”, голем придонес може да даде примената на геофизичките методи, нарочно за просторно и длабинско дефинирање на тектонските структури, за идентификација и просторно лоцирање на магматските тела (батолити) и за добивање на други податоци кои се од значење за откривање на рудни појави и наоѓалишта на металични минерални суровини.

Теренските мерења на забрзување на силата на земјината тежа и вертикална или тотална компонента на земјиното магнетно поле, се врши симултано на истите точки. По изведување на теренските мерења ќе се изврши обработка на податоците и интерпретација со примена на соодветни софтвери за 2Д и 3Д моделирање. За сето тоа ќе се изготви соодветен извештај. Лабораториски испитувања се многу важен дел од реализацијата, а се состојат од: подготовка на геохемиски проби, шлиховски проби, проби за силикатни анализи, хемиски анализи, анализи на алкалии  $K_2O$  и  $Na_2O$  и други видови кои детално се прикажани во динамичкиот план и предмер пресметката. Анализирањето се врши квантитативно и квалитативно, кај

сите шлихови задолжително е одредување на присуство на шелит во секоја шлиховска проба. Апсолутната геолошка старост на амфиболското габро може да се одредува со предложените методи на геохронолошката анализа (K/Ar и другите методи). Анализирањето на сите геохемиски, шлиховски проби за одредување на литофилни елементи, проби за одредување на ретките и ресеани елементи, се анализираат на 48 елементи. (Тука се опфатени сите елементи, кои досега се анализирани со класични хемиски анализи). Во рамничарскиот дел, Струмичката котлина и дел од Радовишко поле, се предвидени сите потребни истражни работи за седиментни карпи, т.е. анализи на минерали во тешки течности, анализа на макрофауна, препарирање на палеофауна, одредување на палеофлора, граунлометриски анализи, како и квантитативна и квалитативна анализа на гранулометриските проби. Шлиховска и геохемиска проспекција не се предвидуваат затоа што во најголем дел од површинските водотеци се канализирани односно резултатите не би биле веродостојни. Ободниот дел - алувионот, делувиумот и пролувиумот, се третира исто како и терените на Огражден и Беласица. Во оваа трета фаза се сумираат, анализираат, реинтерпретираат и синтезираат добиените податоци и резултатите од сите истражувања и испитувања и истите се презентираат во вид на Основна Геолошка карта 2 (ОГК-2) и Карта на минерални суровини. Се предвидени следните работи:



Слика 5. Интерпретација и статистика на геолошки податоци

- анализа на зависноста помеѓу геохронологијата, тектониката и магматизмот на реонот Огражден-Беласица;
- изработка на Основна геолошка карта (ОГК-2) со толкувач во размер 1:50.000;
- статистичка обработка на податоци од секундарна геохемија и шлихови на Цу, Пб, Зн, Ба, Мо, Сн и Аг;

-изработка на геохемиски карти на аномалии на Цу, Пб, Зн, Ба, Мо, Сн и Аг во размер 1:50.000;

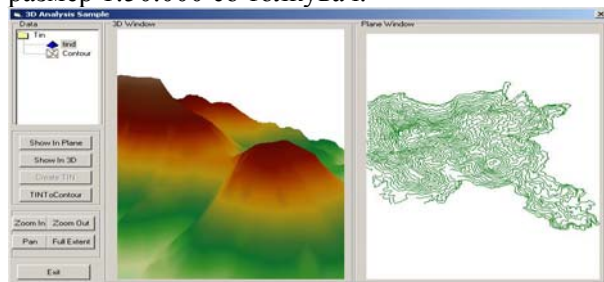
-изработка на синтеза геохемика карта во размер 1:50.000 со толкувач;

-изработка на синтеза шлиховско-минералозна карта во размер 1:50.000 со толкувач;

-изработка на синтезни геофизички карти (гравиметриска, геомагнетна, радиометриска и др.) во размер 1:50.000;

-изработка на карта на минерални суровини во размер 1:50.000 со определување на перспективни подрачја со толкувач;

-изработка на металогенетска карта во размер 1:50.000 со толкувач.



Слика 6. Обработка на геолошки подлоги

На крајот на третата фаза се предвидува печатење на Основна геолошка, металогенетска карта и карта на минерални суровини со толкувач.

Толкувачот претставува комплетен и концезен опис на добиените резултати од спроведените истражувања за геолошка градба и историски развој на теренот, како дополнување на податоците, идеите и фактите кои не можеа да се прикажат графички со картите, легенди и столбовите. Во толкувачот треба да се обработат следните поглавја: вовед, географски преглед, преглед на досегашни истражувања и испитувања, приказ на општа градба на теренот, опис на картираните единици, тектоника, преглед на минерални суровини, историја на создавање на теренот, заштита на животна средина и литература. Техничките услови за реализирање на проектираните работи зависат од многу услови и фактори, од кои најбитни се: геолошката сложеност на теренот, физичката тежина на работата, покриеноста на теренот и проодноста. Сите наброени услови се прикажани во следните табели.

## ВИД И ОБЕМ НА ПРОЕКТИРАНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

Во основа тие се составени од геодетски, геолошки, геохемиски, шлиховски и геофизички работи, а се извршуваат во теренски, лабораториски и кабинетски услови на работа.

Покрај другото, прикажани се по редослед и по фази на извршување, како е логично. Фазите на реализација условно меѓусебно се зависни една од друга, така да секоја последователна фаза зависи од претходната, како и од постигнатите резултати добиени во текот на таа фаза.

Исто така, можно е некои резултати што ќе се добијат во текот на реализирањето на проектот да укажат на потреба од изведување на дополнителни истражувања и испитувања, што е предмет на договарање помеѓу инвеститорот и изведувачот.

## ДИНАМИКА НА ИЗВЕДУВАЊЕ НА ПРОЕКТИРАНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

Динамиката за реализирање на истражните работи дадени во Проектот, реално ќе зависи најповеќе од висината на издвоените финансиски средства и од потребите на инвеститорот, потоа од опремата и средства за работа, од бројот, составот на ангажирани стручни специјализирани екипи за спроведување на геолошките норми и нормативи за овој вид задачи и многубројни други фактори. Поради ограничени и недоволни финансиски средства, реално програмираниот рок за реализација на тој Проект од 4-5 години, не е запазен туку е двојно поминат (преку 10 години), што може да се смета за нерационално и многу скапо реализирање. Ако се земе само бројот на годишни извештаи, наместо 5 изработени се и финансирани 10 извештаи. Со истражувањата требало да се опфати простор од 1250 km<sup>2</sup> а просечна годишна реализација е 99 km<sup>2</sup>. Со предложениот динамички план е предвидено истражните работи да се изведуват етапно во две одвоени фази и да се завршат за 5 години. Првата фаза која се однесува за изработка на проект со овој проект е завршена. Втората фаза треба да трае 4 години а III-фаза (изработка на синтезни карти и толкувачи) една година, односно да се изведува во петтата година.

Со оглед на специфичноста и сложеност на просторот што го зафаќа овој реон, во втората фаза предвидено е Огражденскиот дел да се истражува во првата и делумно во втората година, Струмичка котлина со Радовишко поле во втората и третата година, додека Беласичкиот дел во четвртата година. Со предложениот динамички план е предвидено истражните работи да се изведуват етапно во две одвоени фази и да се завршат за 5 години. Првата фаза која се однесува за изработка на проект со овој проект е завршена.

### **СПЕЦИФИКАЦИЈА НА ПРОЕКТИРАНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА**

Спецификација со предмер-пресметка на проектираните истражни работи за двете фази е изработена според геолошките норми, критериумите и стандардите за секој вид на работа, од “Правилникот за критериумите за формирање на цени во

### **ЗАКЛУЧОЦИ И ПРЕДЛОГ ПРЕПОРАКИ**

-При планирање на геолошките истражувања препорачуваме, од картите на тури во размер 1:25.000 кои се користени при изработката на ОГК-1, да се користат резултатите добиени за петрографските препарати, силикатни анализи, на хемиски анализи на Pb, Zn и Cu и рудно микроскопски препарати.

-Резултатите од поранешните геофизички истражувања во рамките истражувања на термална вода во Струмичката котлина (Н. Столиќ, проф. Т. Делипетров и од другите авторите), да се реинтерпретираат за овие цели и да се синтетизираат и прикажат заедно со резултатите од проектираните геофизички мерења на Огражден и Беласица.

-Сите резултати од структурно длабинското дупчење, изведени за термални води, за истражување на злато на концесионен простор Иловица-Штука и други податоци, максимално и наменски да се искористат и адекватно да се прикажат графички и текстуално во годишните извештаи за структурно геолошко картирање.

Генерално прикажаните хидрогеолошки и инженерскогеолошки карактеристики, за да се дополнат со новите резултати, добиени при теренската работа на ОГК-2.

-Потребно е да се искористат сите резултати од досегашните истражувања и испитувања на овој терен. Новите

Втората фаза треба да трае 4 години а III-фаза (изработка на синтетички карти и толкувачи) една година, односно да се изведува во петтата година. Со оглед на специфичноста и сложеност на просторот што го зафаќа овој реон, во втората фаза предвидено е Огражденскиот дел да се истражува во првата и делумно во втората година, Струмичка котлина со Радовишко поле во втората и третата година, додека Беласичкиот дел во четвртата година.

областа на геолошките истражувања” од тогашниот “Советот за истражувачки работи во рударство на СР Македонија” од 1987 година, како и согласно со најчестите пазарни цени за таков вид на работите.

истражувања и испитувања, проектирани погоре ќе имаат многу понизок квалитет, ако не се користат сите резултати од досегашните истражувања и испитувања, без оглед на тоа што ќе бидат применети и најсовремени методи на истражувања и испитувања.

-Во текот на реализацијата на проектот потребно е да се обрне посебно внимание на следните работи: Метаморфизмот да се обработи што попрецизно, затоа што овде е само навестен еден дел од него, односите меѓу сите формации, како и геолошките граници, многу појасно и прецизно да се дефинираат, јасно да се издвојат дацитите и андезитите и да се одредат фази на вулканизмот на овие субвулкански карпи, наведениот гранитски грус детално да се проучи и точно да се документира, на структурно геолошката карта 1:10.000 не се нанесуваат фотогеолошки утврдени пликативни и дисјунктивни тектонски структури, а исто така претпоставени геолошки граници и тектонски структури. Целокупната текстуална и графичка документација (годишни извештаи, толкувачи, разновидни карти) покрај класичниот начин во печатна форма, задолжително да се изработи и на инвеститорот да му се предаде и во дигитална форма.

## ЛИТЕРАТУРА

**М. Арсовски, Р. Стојанов:** Општа карактеристика на геолошката градба на територијата на СРМ. Реферат ВИ Совет. Геол. СФРЈ дел И. Охрид, 1996;

**М. Арсовски:** Тектоника на Македонија, Рударско Геолошки факултет, 1997;

**Бабовиќ М:** Геологија Србије книга ИИИ - 2, Метаморфизам стр. 162 - 164, Београд 1968;

**Антоновиќ А:** Потенцијалне могуќности СР Македоније за откривање лежишта урана. Београд, 1983;

**Белев С:** О кристалических сериях низких ступней метаморфизма в југозападној Болгарий, восточној Македоний и југовосточној Сербий, 1966;

**Белмустаков Ф:** Геология на јужната част од областа Пиянец - југозападна Българија. Списание на Бълг. геол.друж Год. ЦЦ кн.1, Софија, 1948;

**Вујановиќ В., Башиќ С:** Аномално поле Македоније и његова веза са геолошком граѓом

терена. Трудови св.10 Геолошки завод - Скопје, 1963;

**Диков Ванчо:** Извештај за извршените работи на лежиште габро - Беласица Струмица, 1981;

**Делипетров Т:** Примена геофизичких истраживања за одређивање геодинамичког модела струмичке депресије. Београд, 1988;

**Н. Думуриќанов:** Завршен извештај за геолошкото картирање на Ти – Фе појави во регионот Митрашинци - Берово во 1979 год. Ибид., 1979;

**Јанковиќ С:** Металогенетске епохе и рудоносна подручја Југославије Београд 1967 год., 1967;

**К. Јованов:** Проект за изработка на Основна хидрогеолошка карта (ОХГК - 1) 1:100.000 на Р. Македонија за листовите Струмица и Гевгелија, 1996;

**Столић Н:** Извештај за геоелектрични испитувања на локалноста Банско - Струмица. Ибид. Стручен фонд на геолошки завод - Скопје, 1986;

## PROJECT FOR PREPARATION OF BASIC GEOLOGICAL MAP OGK-2 AREA OGRAZDEN-BELASICA IN SCALE 1:50.000

Sasho Georgievski<sup>1</sup> Sande Donev<sup>2</sup> Igor Mitev<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> *Geing Krebs und Kiefer International - Skopje, street Borka Taleski no.24 - Skopje, Macedonia*  
*saso.g @ geing.com.mk, donev.s @ geing.com.mk, mitev.i @ geing.com.mk*

### Abstract

This project is developed in full accordance with guidelines for making OGK, OHGK, OIGK, the Law on Mineral Resources (Official Gazette of the Republic M. No. 18/99 and 29/02), and also in other technical regulations, norms and standards in the field of geology. In addition, used the latest scientific in the field of geology, information technology and others. And previous experience in performing this kind of stuff. Making OGK-2 district "Ograzden – Belasica" realized in three phases. Any technical documentation project (text and graphis reports, photos, etc.). Is produced in digital form created database, run the vectorization of maps and it is stored on compact disc.

**Key words:** geological map, standards for making basic geological maps and modes of display

# БИОСТРАТИГРАФИЈА НА ОВЧЕПОЛСКИОТ ПАЛЕОГЕНСКИ БАСЕН, Р. МАКЕДОНИЈА

Виолета Стојанова<sup>1</sup>, Гоше Петров<sup>1</sup>, Виолета Стефанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет "Гоце Делчев", Факултет за природни и технички науки,  
Гоце Делчев 89, МК - 2000 Штип, Република Македонија  
violeta.stojanova@ugd.edu.mk  
gose.petrov@ugd.edu.mk/violeta.stefanova@ugd.edu.mk

## Апстракт

Во овој труд, се презентирани резултатите од микропалеонтолошките истражувања на фораминиферната фауна во палеогените седименти на Овчеполскиот басен, стратиграфски значајни за одредување на геолошката старост на палеогениот комплекс во басенот. Богатата и разновидна микрофораминиферна фауна пронајдена во горната флишна литозона, претставена со 63 вида, кои припаѓаат на 31 род и 23 фамилии, овозможи да се идентифицира една биостратиграфска зона по бентосни фораминифери.

**Клучни зборови:** фораминифери, биостратиграфија, палеоген, Овчеполски басен.

## ВОВЕД

Овчеполскиот палеогенски басен претставува голема еоценско-олигоценска седиментна маса сместена во источниот дел од Вардарската зона. Палеогените седименти во Овчеполскиот басен се богато фосилоносни и биле предмет на проучување од повеќе автори.

Први и најзначајни палеонтолошки истражувања на Овчеполски палеогенски басен се вршени од страна на група автори од Геолошкиот институт на САН, Белград (1954). Врз основа на бројни фосилни остатоци на гастроподи, ламелибранхиати, нумулити и корали е одредена горно еоценска (приабонска) старост на палеогената маса.

Преку изработката на ОГК лист Штип 1: 100 000 од страна на Ракиќевиќ Т. и др. (1969), палеогенот во Овчеполскиот басен е добро палеонтолошки обработен и документиран, и одреден како приабон. Притоа, во палеогенот се издвоени 4 суперпозициони литозони: базална, долна флишна, песочничка и горна флишна литозона.

Според палеонтолошките испитувања на локалитетите с. Бели и с. Пантелеј, од страна на Митровиќ-Петровиќ и др. (1990), а врз основа на ехинидската и другата придружна фосилна фауна, во Овчеполскиот басен покрај приабонските наслаги се таложеле и олигоценски теригено-карбонатни седименти. Овие седименти во најголем дел се еродирани и делумно сочувани по источната периферија

на басенот, каде се јавуваат како вулканогено-седиментна серија. Во серијата се сменуваат песокливо-глиновити седименти и карбонати, со слоеви од туфити, туфови и агломерати од олигоценско - миоценскиот вулканизам (Кратово-Злетово), каде најстари изотопски вредности за вулканитите се добиени 32 Ма. Со цел да се добијат нови сознанија за геолошката старост на палеогените седименти во Овчеполскиот басен, беа направени микропалеонтолошки проучувања на фораминиферната фауна.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДОЛОГИЈА

За испитување и опробување на фораминиферната фауна се опфатени палеогените седименти на 5 откриени профили во Овчеполскиот басен. Техничката обработка на материјалот од пробите е извршена по класичните методи на микропалеонтолошка анализа (распаѓање, промивање, сушење, одбирање и определување). Таксономските определувања се извршени со микроскоп-бинокулар Zeiss, со зголемување од 50-80 пати.

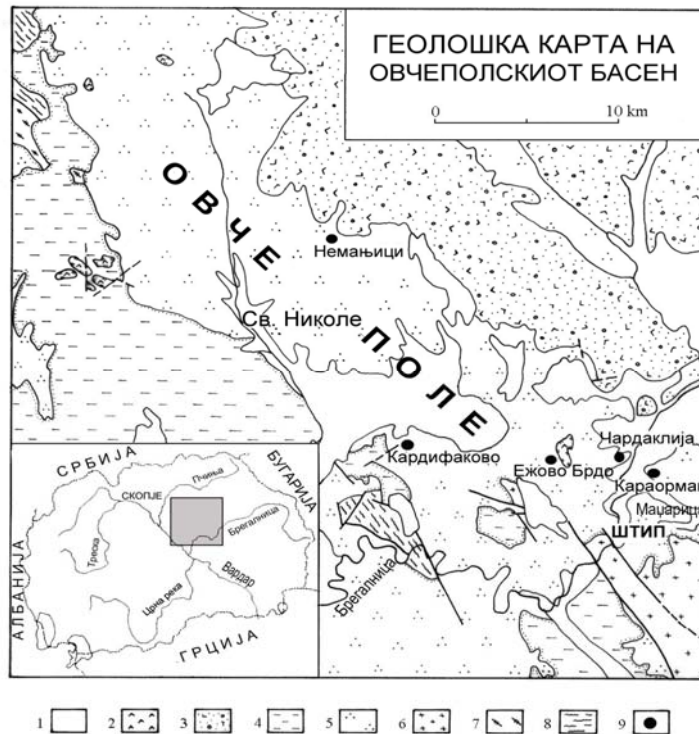
## СТРАТИГРАФИЈА НА ПАЛЕОГЕНОТ НА ОВЧЕПОЛСКИОТ БАСЕН

Според досегашните истражувања, масата дебела околу 3.5 km е изградена од 4 литозони: базална литозона, долна флишна литозона, литозона на жолти песочници и горна флишна литозона. Со



микропалеонтолошко истражување се опфатени 5 карактеристични откриени палеогени профили на Овчеполскиот басен: с. Чардаклија, локалитет Ежево Брдо, с. Кадрифаково, Маџарица и с.Немањици, од каде се земени голем број на проби и се добиени позитивни резултати за фораминиферна фауна (сл.1).

Испитуваните профили претежно се лоцирани во седиментите на горната флишна литозона: глиновито-лапоровити слоеви кои ритмички се сменуваат со песочници, алевролити, глинци со лапоровити глини и оолитни варовници. Со микропалеонтолошките испитувања се пронајдени разновидни бентосни и планктонски фораминифери.

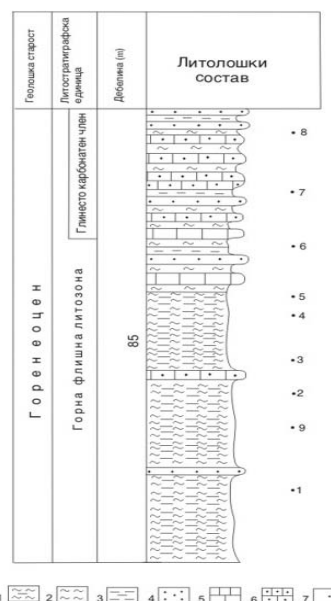


Слика 1. Геолошка карта на Овчеполскиот басен

1. квартал, 2. млади ефузивни карпи, 3. терциерни вулканогено-седиментни карпи, 4. неогени седименти, 5. горно-еоценски седименти, 6. јурски гранити, 7. јурски дијабази и габрови, 8. палеозоиски комплекс, 9. места на опробување

### ПРОФИЛ – С. ЧАРДАКЛИЈА

Локалитетот Чардаклија се наоѓа околу 5 km северно од Штип. Профилот од кој се земени пробите и се вршени испитувања на фораминиферната фауна е направен во источниот дел од селото. Самиот истражуван профил ги претставува погорните нивоа на горната флишна литозона и се карактеризира со следните литолошки својства: во профилот со дебелина од 85 метри доминираат сиви глини со преоди во сиви лапоровити глини, лапорци и алевролити, во кои се наоѓаат слоеви со дебелина до 70 cm претставени од сивобели и жолтеникави песокливи и оолитни варовници богати со нумулити, а поретко и слоеви на песочници (сл. 2).



Слика 2. Геолошки профил – с. Чардаклија

1. лапоровито-глиновити седименти,
2. глинци,
3. лапорци,
4. песочници,
5. варовници,
6. песокливи варовници,
7. проби

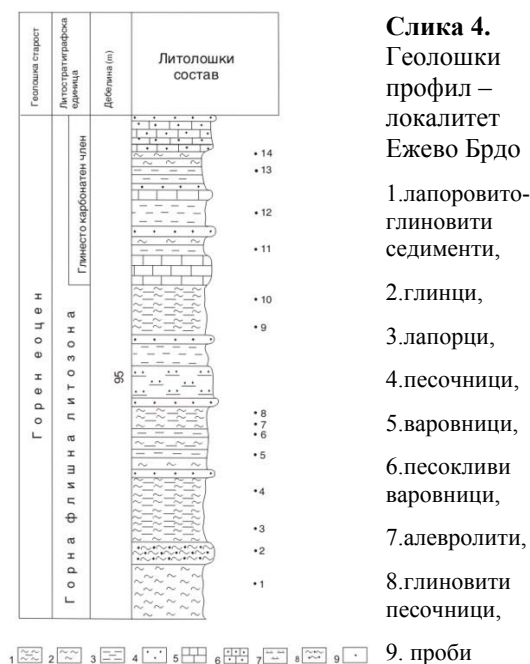
Од профилот се земени 8 проби. Опробувањето е извршено на секои 7 до 8 метри во глиновитито-лапоровитите слоеви (проби 1, 2, 3, 4, 5, 6), со ислучок на пробите 7 и 8 кои се земени во жолтеникави песокливи и оолитни варовници, и се наоѓаат во повисоките нивоа на профилот со слаба застапеност на фораминифери. Во профилот е пронајден фаунистички материјал застапен од бентосни фораминифери и нумулити (сл. 3). Со анализа на стратиграфската положба на одделните таксони на фораминиферната фауна, слоевите во интервалот помеѓу пробите 2-6, припаѓаат на горен еоцен, со присутните видови *Lagena humifera* Bandy и *Pararotalia audoini* (d'Orbigny). Останатите нивоа се однесуваат условно за горен еоцен; во долните делови се застапени транзитни фораминифери кои имаат распространение во целиот еоцен, а во горните делови нема фораминифери.

### ПРОФИЛ – ЛОКАЛИТЕТ ЕЖЕВО БРДО

Локалитетот Ежево Брдо се наоѓа околу 7 km север-северозападно од градот Штип. Микрорпалеонтолошките испитувања на фораминиферите се направени во источниот дел на вулканскиот апарат Ежево Брдо. Профилот е лоциран во горната флишна литозона, со дебелина на профилот околу 95 метри. Профилот е изграден од лапоровито-песокливи седименти кои ритмички се менуваат, во вид на слоеви од глинци, алевролити, глинци со лапоровити глини, лапорци и песокливи варовници (сл. 4). Од профилот се земени 14 проби, а опробувањето е извршено на секои 4 до 5 метри во лапорците, глиновито-лапоровитите и лапоровито-песокливите слоеви.

Горна флишна литозона								Литостратиграфска единица		
1	2	3	4	5	6	7	8	Проби		
*	*							Нема фораминифери	<i>Spiroloculina com. communis</i> Cush & Todd	Видови фораминифери
*	*	*							<i>Quinqueloculina juleana</i> d'Orbigny	
*	*								<i>Triloculina angularis</i> d'Orbigny	
*	*		*	*					<i>Triloculina gibba</i> d'Orbigny	
*	*								<i>Hauerina</i> sp.	
*	*								<i>Eponides minima</i> Cushman	
*	*								<i>Cibicides carinatus</i> (Terquem)	
	*	*							<i>Pararotalia subinermis</i> Bhatia	
	*	*	*	*					<i>Nonionella winniana</i> (Howe)	
	*	*	*						<i>Pararotalia audoini</i> (d'Orbigny)	
		*							<i>Lenticulina yaguatensis</i> (Bermudez)	
		*	*						<i>Fursenkoina dibolensis</i> Cush & Applin	
		*							<i>Cibicides tallahatensis</i> Bandy	
		*							<i>Cibicides cf. westi</i> Howe	
			*	*	*			<i>Textularia broniana</i> d'Orbigny		
			*	*	*			<i>Textularia minuta</i> Terquem		
			*	*	*			<i>Lagena humifera</i> Bandy		
			*	*	*			<i>Lagena striata</i> (d'Orbigny)		
			*	*	*			<i>Bulimina trigona</i> Terquem		
			*	*	*			<i>Nonion graniferum</i>		
				*	*			<i>Quinqueloculina</i> sp.		
			*	*				<i>Nummulitidae</i>		

Слика 3. Распространетост на фораминиферната фауна во палеогенски профил – с. Чардаклија



Фаунистичката застапеност на фораминиферната фауна во профилот е претставена на сл. 5.

Седиментите од профилот се со геолошка старост од горен еоцен. Староста ја потврдува присуството на *Pararotalia audoini* (d'Orbigny) која има распространение само во горен еоцен и која се јавува во пробите 3 до 11. Во горните нивоа на профилот, поради отсуство на олигоценски фораминифери, не може да се извлече границата E-Ol. Најдолните делови на профилот, фаунистички се стерилни.

Горна флишна литозона														Литостратиграфска единица		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Проби		
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		<i>Quinqueloculina juleana</i> d'Orbigny	Видови фораминифери
	*	*	*		*	*			*	*	*	*			<i>Triloculina angularis</i> d'Orbigny	
	*	*	*			*	*		*	*	*				<i>Lenticulina yaguatensis</i> (Bermudez)	
	*	*	*				*	*	*	*	*				<i>Bulimina trigona</i> Terquem	
	*	*	*	*	*			*	*	*					<i>Cibicides carinatus</i> (Terquem)	
	*	*		*	*	*			*	*					<i>Nonionella winiana</i> (Howe)	
		*	*	*	*	*	*	*	*	*					<i>Pararotalia audoini</i> (d'Orbigny)	
			*				*	*	*						<i>Quinqueloculina sp.</i>	
			*	*	*		*	*	*	*					<i>Triloculina gibba</i> d'Orbigny	
						*	*	*	*	*					<i>Textularia minuta</i> Terquem	
						*	*		*	*	*	*			<i>Spiroloculina com. communis</i> Cus & Tod.	
						*	*		*		*	*			<i>Lagena striata</i> (d'Orbigny)	
						*	*		*		*	*			<i>Fursenkoina dibolensis</i> Cush. & Applin	
						*	*		*		*	*			<i>Bulimina trigona</i> Terquem	
						*	*			*	*	*			<i>Cibicides westi</i> Howe	
						*	*			*	*	*			<i>Cibicides talahatensis</i> Bandy	
*	*	*	*												<i>Nummulitidae</i>	

**Слика 5.** Распространетост на фораминиферна фауна во палеогенскиот профил - Ежево Брдо

### ПРОФИЛ – С. КАДРИФАКОВО

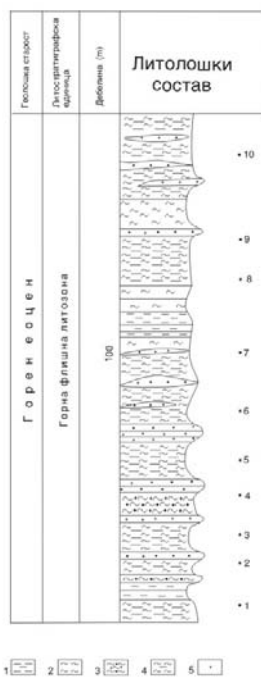
Локалитетот Кадрифаково се наоѓа околу 15 km северозападно од Штип. Профилот од кој се земени пробите и се вршени микропалеонтолошки испитувања на фораминифери е направена во јужниот дел

од селото. Профилот е лоциран во горната флишна литозона, со дебелина 100 метри. Профилот е изграден од лапоровито-глиновити седименти кои ритмички се сменуваат во вид на слоеви од песочници, глинци, лапорци и песокливи глинци (сл.6).

Од профилот се земени 10 проби, а опробувањето е извршено во лапоровито-глиновити слоеви, на растојание од 6-7 метри помеѓу пробите. Во профилот е пронајден фаунистички материјал од бентосни и планктонски фораминифери (планктонската фораминифера количински е слабо застапена во однос на бентосната фораминифера, прикажано на сл. 8).

Седиментите од профилот – с. Кадрифаково се со геолошка старост од горен еоцен. Староста ја потврдува присутството на *Pararotalia audoini* (d'Orbigny) и *Siphonodosaria verneuili* (d'Orbigny), кои се застапени во интервалот помеѓу пробите 5-10, и имаат распространение само во горен еоцен.

Во пробата 5 се јавува *Textularia bronniiana* d'Orbigny, и претставува единствен род во профилот со распространение во O1, но поради присутството на други транзитни фораминифери е оневозможено да се издвои границата E<sub>3</sub>-O1.



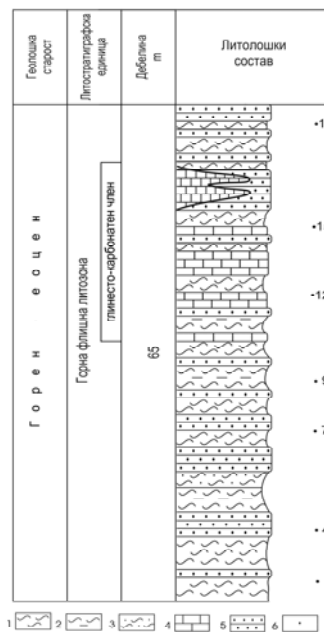
**Слика 6.** Геолошки профил – с. Кадрифаково  
1. лапорци,  
2. глинци,  
3. глиновити песочници,  
4. лапоровито-глиновити седименти,  
5. проби

Во долните нивоа на профилот се застапени транзитни фораминифери кои имаат распространение во целиот еоцен, па овие нивоа условно ќе припаѓаат на постарите делови на еоценот. Во пробата 5 на профилот се пронајдени планктонски

фораминифери од горна креда (мастрих). Присутните кредни фораминифери кои се наоѓаат во палеогените седименти, се транспортирани од околните кредни седименти, при самиот процес на седиментација на палеогените седименти.

## ПРОФИЛ – МАЏАРИЦА

Профилот каде се направени микропалеонтолошките истражувања на фораминиферна фауна се наоѓа 3 km ЈИ од с. Караорман, од десната страна на р. Маџарица. Истражуваниот профил е лоциран во горната флишна литозона, со дебелина на профилот 65 метри. Профилот е изграден од зеленкасти глиновито-лапоровити седименти, кои наизменично се сменуваат со песочници, глинци и варовници. Од профилот се земени 18 проби, а опробувањето е направено на секои 3-3.5 m помеѓу пробите, во лапоровито-глиновитите слоеви, со исклучок на пробата 17, која е направена во песочливи глинци.



**Слика 7.** Геолошки профил – Маџарица

1. глинци,
2. глиновито-лапоровити седименти,
3. глиновити песочници,
4. варовници,
5. песочници,
6. проби

Горна флишна литозона										Литостратиграфска единица	Видови фораминифери	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Проби		
*	*	*	*	*	*		*	*	*	<i>Quinqueloculina juleana</i> d'Orbigny		
*	*	*			*		*			<i>Lenticulina yaguatensis</i> (Bermudez)		
*	*	*	*		*	*	*	*	*	<i>Fursenkoina dibolensis</i> (Cush. & Applin)		
	*	*		*			*			<i>Textularia minuta</i> Terquem		
	*	*			*		*	*		<i>Spiroloculina com. communis</i> Cush. & Todd		
		*	*	*		*	*	*	*	<i>Triloculina gibba</i> d'Orbigny		
		*	*			*	*			<i>Lagena striata</i> (d'Orbigny)		
		*	*	*		*		*		<i>Cibicides carinatus</i> (Terquem)		
		*	*			*	*			<i>Nonionella winiana</i> Howe		
		*	*	*	*	*			*	<i>Pararotalia subinermis</i> Bhatia		
				*	*		*		*	<i>Lenticulina ellisori</i> (Bowen)		
				*	*			*		<i>Globigerina parva</i> Bolli		
				*	*		*	*		<i>Siphonodosaria verneulli</i> (d'Orbigny)		
				*	*	*			*	<i>Cibicides tallahatensis</i> Bandy		
				*	*	*			*	<i>Nonion graniferum</i> (Terquem)		
				*	*	*			*	<i>Pararotalia audoini</i> d'Orbigny		
				*	*	*	*	*	*	<i>Textularia bronniiana</i> d'Orbigny		

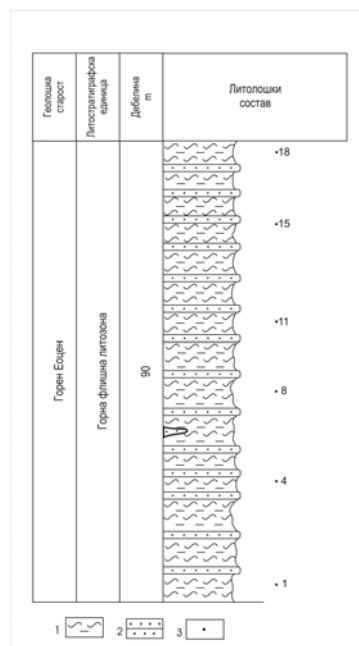
Слика 8. Распространетост на фораминиферна фауна во палеогенскиот профил – с. Кадрифаково

Фаунистичкиот матерјал од профилот – Мацарица е претставен на сл. 10. Врз основа на стратиграфската положба на одделните таксони на фораминиферната фауна, староста на седиментите од профилот – Мацарица е горен еоцен. Староста се потврдува со присуството на карактеристичните фосили *Lagena humifera* Bandy и *Bolivina reticulata* Hantken, кои имаат распространение само во горен еоцен, и се застапени во интервалот помеѓу пробите 10-16, односно горните делови на седиментите од профилот – Мацарица припаѓаат на горен еоцен – приабонски кат. Долните делови на профилот (проби 1- 9) се однесуваат условно за горен еоцен, бидејќи во овие делови се застапени транзитни фораминифери кои имаат распространение во целиот еоцен.

### ПРОФИЛ – С. НЕМАЊИЦИ

Локалитетот с. Немањци се наоѓа 6.5 km североисточно од градот Св. Николе. Профилот во кој се земени пробите и се вршени микропалеонтолошки испитувања на фораминифери е направен во западниот дел од селото. Истражуваниот профил е лоциран во горната флишна литозона, со дебелина на профилот околу 90 метри. Профилот во целина е изграден од сиво зеленкасти лапоровито-глиновити

седименти кои ритмички се менуваат во вид на тенки слоеви со песочници. Од профилот се земени 18 проби, а опробувањето е извршено во лапоровито-глиновитите слоеви, на растојание од 3-4 метри помеѓу пробите (сл. 9). Во профилот е пронајден фаунистички материјал од бентосни и планктонски фораминифери (сл. 11).



Слика 9. Геолошки профил – с. Немањци  
1. глиновито-лапоровити седименти,  
2. песочници, 3. проби.

Горна флишна литозона																	Литостратиграфска единица		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17-18	Проби		
*	*						*	*									Нема фораминифери	Видови фораминифери	<i>Quinqueloculina juleana</i> d'Orbigny
*	*	*		*															<i>Triloculina angularis</i> d'Orbigny
*	*	*		*															<i>Triloculina gibba</i> d'Orbigny
*	*	*				*	*				*	*							<i>Spiroloculina com. communis</i> Cush.&Todd
*	*					*	*		*										<i>Quinqueloculina sp.</i>
*	*	*				*	*				*	*							<i>Spiroplectamina car. carinata</i> (d'Orbigny)
*	*			*															<i>Lagena striata</i> (d'Orbigny)
*	*					*	*			*	*								<i>Cibicides carinatus</i> (Terquem)
				*		*	*	*											<i>Pararotalia subinermis</i> Bhatia
						*	*	*	*										<i>Fursenkoina dibolensis</i> Cushman.&Applin
							*	*	*										<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker et Jakob)
							*	*	*										<i>Cibicides tallahatensis</i> Bandy
								*	*	*									<i>Cibicides cf. westi</i> Howe
									*	*	*								<i>Textularia broniana</i> (Terquem)
									*	*	*								<i>Textularia minuta</i> Terquem
									*	*	*								<i>Lagena humifera</i> Bandy
										*	*	*							<i>Giroidina soldani</i> d'Orbigny
										*	*	*							<i>Lagena scalariformis</i> (Williamson)
											*	*	*						<i>Bulimina trigona</i> Terquem
											*	*	*	*					<i>Eponides minima</i> Cushman
										*	*	*				*	<i>Nonion graniferum</i> (Terquem)		
												*	*	*	*		<i>Bolivina reticulata</i> Hantken		
													*	*	*		<i>Bolivina nobilis</i> Hantken		
		*	*		*	*	*										<i>Nummulitidae</i>		

Слика 10. Распространетост на фораминиферна фауна во палеогенскиот профил – Мацарица

Планктонската фораминифера во профилот – с. Немаџици количински е повеќе застапена, во однос на другите профили. Фораминиферни видови кои имаат биостратиграфско значење за одредување на староста се: *Siphonodosaria verneuili* (d'Orbigny), *Caucasina eocaenica* Chalilov, *Dentalina communis* (d'Orbigny), *Palmula budensis* (Hantken), *Bolivina cf. antegresa*

*Subbotina*, *Bolivina gracilis* Cushman, *Bolivina reticulata* Hantken, *Spiroplectamina carinata carinata* (d'Orbigny), карактеристични само за горен еоцен. Овие се појавуваат во интервалот помеѓу пробите 1-18, односно од долу се до најгорните делови на профилот, кои припаѓаат на геолошка старост – горен еоцен.

Горна флишна литозона																		Литостратиграфска единица
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Проби
*	*			*	*	*	*				*	*	*	*	*			<i>Spiroplectamina car. carinata</i> (d'Orbig.)
*	*			*	*			*	*		*	*	*		*	*	*	<i>Percultozonaria fragara</i> (Gümbel)
*	*			*	*													<i>Lagena scalariformis</i> (Williamson)
*	*						*		*		*	*	*	*	*	*	*	<i>Globigerina ciper. angulisuturalis</i> Bolli
*		*	*				*				*	*			*	*	*	<i>Globigerina officinalis</i> Subbotina
*	*	*	*					*			*	*	*	*	*	*	*	<i>Globigerina ouach. gnaucki</i> Blo.&Bann.
*	*	*	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<i>Globigerina ou. ouachitaensis</i> How&Wal
*	*	*	*				*				*	*	*	*	*	*	*	<i>Globigerina parva</i> Bolli
*				*	*													<i>Bolivina costata</i> d'Orbigny
*			*			*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker & Jakob)
*	*	*		*	*	*												<i>Cibicides ungeriqanus</i> (d'Orbigny)
*	*	*					*	*	*	*	*			*	*	*	*	<i>Cibicides westi</i> Howe
*	*	*						*	*	*	*			*	*	*	*	<i>Pullenia quinqueloculina</i> (Reuss)
*	*			*		*	*	*	*	*			*					<i>Melonis affine</i> (Reuss)
*	*	*	*										*	*	*			<i>Chilostomella balkanensis</i> Dain & Chalil.
*	*														*	*	*	<i>Anomalinoidea welleri</i> (Plumer)
*	*			*	*	*	*		*	*								<i>Spiroplectamina dentata</i> (Alth)
	*	*		*	*													<i>Dorothia indentanta</i> (Cushman & Jarvis)
	*	*																<i>Spiroloculina com. communis</i> Cush.&Tod
	*	*		*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	<i>Lenticulina cf. ellisori</i> (Bowen)
	*	*	*		*						*	*	*	*	*	*	*	<i>Glandulina laevigata</i> d'Orbigny
	*	*			*													<i>Bolivina gracilis</i> Cushman
	*	*	*	*	*			*		*	*	*	*	*	*	*	*	<i>Bolivina nobilis</i> Hantken
	*	*		*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	<i>Bulimina costata</i> d'Orbigny
	*	*									*	*	*		*	*	*	<i>Bulimina trigona</i> Terquem
*	*	*		*	*	*					*	*	*	*				<i>Caucasina eocenica</i> Chalilov
	*	*				*	*				*	*	*	*				<i>Caucasina tenebricosa</i> Pischvanova
	*	*			*	*	*								*	*	*	<i>Dentalina comm. communis</i> (d'Orbigny)
		*	*			*	*	*			*	*						<i>Globulina gibba</i> d'Orbigny
		*	*	*			*	*	*		*	*	*	*				<i>Globigerina yagatensis</i> Wein.&Applin
		*	*			*	*	*						*	*	*	*	<i>Bolivina cf. antegresa</i> Subbotina
		*	*		*	*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	<i>Bolivina scalprata</i> Schwager
		*	*				*		*				*	*	*			<i>Siphonodosaria cf. adolphina</i> (d'Orbigny)
		*	*				*	*						*	*	*	*	<i>Cibicoides lectus</i> (Vasilenko)
		*	*		*	*	*	*	*						*	*	*	<i>Gyroidina soldani</i> d'Orbigny

Видови фораминифери

			*	*		*					*	*	*	*		*	*	<i>Bolivina reticulata</i> Hantken
			*	*	*					*	*	*				*	*	<i>Eponides saginarius</i> Bykova
			*	*		*	*	*		*	*	*				*	*	<i>Heterolepa dutemplei</i> (d'Orbigny)
			*	*		*	*	*		*	*	*						<i>Hanzawia producta</i> (Terquem)
			*	*	*					*	*	*						<i>Proxifroms</i> sp.
			*	*	*					*	*	*			*	*		<i>Pamula budensis</i> (Hantken)
			*	*	*									*	*			<i>Lagena hexagona</i> (Williamson)
			*	*						*	*	*						<i>Bolivina cookei</i> Cushman
			*	*				*	*					*	*	*		<i>Lenticulina yaguatensis</i> (Bermudez)
			*	*								*	*	*				<i>Glandulina ovula</i> d'Orbigny
			*	*								*	*	*				<i>Siphonodosaria verneuili</i> (d'Orbigny)
			*	*	*					*	*	*						<i>Cancris subconicus</i> (Terquem)
			*	*	*					*	*	*						<i>Gavelinella danica</i> (Brotzen)
			*	*						*	*	*						<i>Valvulineria laevis</i> Brotzen

Слика 11. Распространетост на фораминиферна фауна во палеогенскиот профил – с. Немањици

## РЕЗУЛТАТИ

Со анализа од микропалеонтолошките истражување на фораминиферната фауна во Овчеполскиот палеогенски басен можат да извлечат повеќе констатации.

Со истражување на фораминиферна фауна во Овчеполскиот басен се опфатени сите литолошки нивоа на палеогенот, како што се базалната, долната флишна литозона, литозоната на жолти песочници и горната флишна литозона. Позитивни резултати се добиени за средните и горните нивоа на горната флишна литозона, мошне богати со фораминиферна фауна.

Колекцијата на пронајдената и определена фораминиферна фауна во Овчеполскиот палеогенски басен е претставена со 63 вида, кои се однесуваат на 31 род и 23 фамилии: Spiroplectamminidae Cushman, 1927 – 2 вида, Eggerellidae Cushman, 1937 - 1 вид, Textulariidae Ehrenberg, 1838 - 2 вида, Spiroloculinidae Wiesner, 1920 - 1 вид, Hauerinidae Schwager, 1896 – 3 вида, Nodosariidae Ehrenberg, 1838 - 6 вида, Lagenidae Reuss, 1862 – 3 вида, Polymorphinidae d'Orbigny 1839 – 1 вид, Glandulinidae Reuss, 1860 – 2 вида, Globigerinidae Car., Park. and Jones – 6 вида, Boliviniidae Glaessner, 1937 – 6 вида, Buliminidae Jones, 1875 – 3 вида, Fursenkoinidae Loeblisch and Tappan, 1961 –

1 вид, Caucasinidae Bykova, 1959 – 2 вида, Stilostomellidae Finlay, 1947 – 2 вида, Baggenidae Cushman – 2 вида, Eponididae Hofker – 2 вида, Parrelloididae Hofker – 1 вид, Cibicidae Cushman – 5 вида, Nonionidae Schultze, 1854 – 4 вида, Chilostomellidae Brandy, 1881 – 3 вида, Gavelinellidae Hofker, 1956 – 3 вида, Rotaliidae Ehrenberg, 1839 – 2 вида.

Систематската класификација на фораминиферната фауна во басенот е направена по Loeblich & Tappan (1988).

Присутните стратиграфски видови во опишаните профили на Овчеполскиот басен можат да се класифицираат на:

- видови распространети само во горниот еоцен, кои претставува најголема сигурност за определување на староста,
- видови кои доаѓаат од пониските нивоа и се распространети до E<sub>3</sub>,
- видови кои се појавуваат во E<sub>3</sub> и живеат подоцна до O<sub>1</sub>, N.
- видови кои живееле порано од E<sub>3</sub>,
- неколку присутни видови кои живеат подоцна од еоценот.

Со анализа на стратиграфската положба на одделните таксони на фораминиферната фауна, седиментите од профилите - с. Чардаклија, Ежево Брдо, Караорман, Кадрифаково, Маџарица, Немањици се со геолошка старост горен еоцен - приабонски кат.



Во Овчеполскиот басен само профилот – Немањици со геолошка старост горен еоцен, претставува стратиграфски профил во кој може да се издвои биозоната *Bolivina antegressa*. Како критериум за издвојување на биозоната *Bolivina antegressa*, а воедно и поставување на границата меѓу нив, е појавувањето и исчезнувањето на

таксоните од групата на видот *Bolivina* со претставниците *Bolivina antegressa* Subb., и *Bolivina nobilis* (Hantk). Издвоената биозона *Bolivina antegressa* со застапените бентосни видови, припаѓа на горниот дел на зоната *Planulina costata* (Бугрова, 1988), и се однесува за геолошка старост горен еоцен - приабонски кат (табела 1).

**Табела 1.** Зонална поделба на еоцено според бентосни фораминифери (Бугрова, 1988)

Оддел	пододдел	Зони, подзони	
		по бентосни фораминифери	
Е о ц е н	горен	<i>Planulina costata</i>	<i>Bolivina antegressa</i>
			<i>Brotzenella taurica</i>
	среден	<i>Caucasinella pseudoelonata</i>	
		<i>Haplophragmoides orfaensis</i>	
		<i>Uvigerina costellata</i>	
		<i>Pseudogaudryina</i>	<i>Turkmenella ninikae</i>
	долен	<i>pseudonavarroana</i>	<i>Bulimina mitgarziana</i>
		<i>Pseudogaudryina externa</i>	

## ЗАКЛУЧОК

Асоцијацијата на бентосни фораминифери пронајдени во Овчеполскиот палеогенски басен овозможи да се идентифицира една биостратиграфска подзона *Bolivina antegressa*, која припаѓа на зоната *Planulina costata* (Бугрова, 1988) за профилот –с. Немањици, а воедно ја потврдува и геолошката старост на Овчеполскиот басен, која категорично припаѓа на горен еоцен – приабонски кат.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бугрова Э. М., 1988: Зональное деление эоцена юга СССР по бентосным фораминиферам. Акад. Наук. СССР, т. 300, н.1, 169-171.
- Džuranov S., Tuneva V., Dumurdžanov N., 1999: Microforaminifera findings near the village of Čardaklija in the Ovče pole paleogene basin, Republic of Macedonia. *Geologica Macedonica*, 13, 57-68, Štip.
- Kaasschieter J., 1961: Foraminifera of the Eocene of Belgium. *Mem. Inst. Sci. Nat. Belgique*. 147, 1-271.
- King C., 1983: Cainozoik micropaleontological biostratigraphy of the North Sea. *Institute of Geological Sciences, London*, 82/7, 40.
- Löeblich A., Tappan H., 1988: Foraminiferal genera and their classification: plates New York, Van Nostrand Reinhold, 900 p.
- Maksimović B., Sikošek B., Marković O., & Veselinović M., 1954: Geološki sastav i tektonska struktura jednog dela Ovceg Polja i Tikveša sa paleontološkom

Со оглед дека при истражувањето на палеогените седименти во Овчеполскиот басен е добиен широк спектар на фораминиферни видови кои се карактеристични за целиот еоцен (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>), може да се претпостави дека подолните нивоа од Овчеполскиот палеоген се постари од горен еоцен (приабон).

- dokumentacijom. *Trudovi na Geološki Zavod na NRM*, 4, Skopje, 1- 177.
- Mitrović - Petrović J., Ljubotenski T., & Pavlović M. 1990: Paleogeni ehinidi Istočne Makedonje. XII Kongres na geolozi na Jugoslavija, Ohrid, kn.1, 369-377.
- Pap A., Schmid A., 1985: Die fossilen foraminiferen des Tertiären beckens von Wien. *Revision der monographie von Alcide d'Orbigny (1846). Abh. Geol. Bund.*, 37, 370.
- Ракичевиќ Т., Думурџанов Н., Петковски П., 1969: Толкувач на ОГК на СФРЈ, Штип.
- Temkova V., 1985: Problem na granicata pomegu goren eocen i oligocen vo Makedonija. *Geol. Glasnik* 28, projekt 174, Sarajevo, 65-76.
- Тунева В., 2000: Стратиграфија на палеогенот од Овчеполскиот басен според микрофораминиферите. Магистерска работа, РГФ, Штип, 44-62.

**МЕТАЛОГЕНИЈА И НАОЃАЛИШТА НА  
МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ**



# HYDROGEN ISOTOPIC STUDY OF THE BOROVIĆ MINERALIZED SYSTEM, KRATOVO-ZLETOVO VOLCANIC AREA

**Todor Serafimovski<sup>1</sup>, Goran Tasev<sup>1</sup>, Tadej Dolenc<sup>2</sup>, Nastja Rogan-Šmuc<sup>2</sup>, Dalibor Serafimovski<sup>1</sup>, Petra Vrhovnik<sup>2</sup>, Matej Dolenc<sup>2</sup>, Timotej Verbovšek<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> University "Goce Delčev", Faculty of Natural and Technical Sciences, Goce Delčev 89, 2000 Štip, Macedonia; [todor.serafimovski@ugd.edu.mk](mailto:todor.serafimovski@ugd.edu.mk); [goran.tasev@ugd.edu.mk](mailto:goran.tasev@ugd.edu.mk);

<sup>2</sup> University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia;

## Abstract

Wide zones of intensive hydrothermal alterations were determined at the Borović area. Silicification, limonitization, kaolinization etc., are the progressive alterations with distinctive occurrences at the surface. Stockwork veins and veinlets are dominant too. Detailed studies have shown that this system at the Borović has been mineralized, where at few randomly taken samples from the silicified zones has been determined presence of gold within the range of 0.10 up to 0.62 g/t Au, followed by increased concentrations of copper, silver, molybdenum etc. Also, in this mineralized system have been determined presence of geothermal mineralized waters with temperatures up to 50°C and artesian flow of about Q=10 l/s within the Povišica river flow. Isotopic studies of hydrogen and oxygen or ratios H/D and  $\delta^{18}\text{O}$  in samples taken from thermomineral waters from wells in the Borović locality have shown values within the range  $-10.62\text{‰}$  -  $-8.61\text{‰}$   $\delta^{18}\text{O}$  and  $-72.70\text{‰}$  -  $-56.90\text{‰}$   $\delta\text{D}$ , which points out that the origin of these mineralized waters is mainly of meteoric character. Namely, there were slight discrepancies from the MWL (Meteoric Water Line), which reflects the direct fractionation of O and H isotopes in meteoric water at the contact with adjacent rocks and deep hydrothermal fluxes

**Key words:** Isotopes, alterations, mineralization, hydrogeochemistry, Borović

## INTRODUCTION

Locality Borović in the geological literature is known since the first half of the twentieth century when the concession for geological exploration of this area had English company Selected Mines Ltd. However, more specific data from the studies of the Kratovo-Zletovo volcanic area and of course the Borović itself can be found in works of Pantić et al., (1972), Klajn (1977), Serafimovski (1990), Bogoevski (1998) etc. Later on this locality has been explored as potential locality for geothermal energy. In that direction we would like to stress out the works of Rakic et al. (1993), Rakic et al. (1996), Gorgieva (1995), Serafimovski et al. (2001), Rakic and Stolic (2002), Ristova (2011), Verbovšek et al., (2011) etc.

All the explorations and data contained within numerous materials are pointing out that in the vicinity of Borović has been determined copper and gold mineralizations, as well as significant quantities of thermomineral waters, which exploitation is of

continuous character. This was our reason in this paper to review the Borović mineralized system, its alterations and H/D and O isotopes within its thermomineral waters.

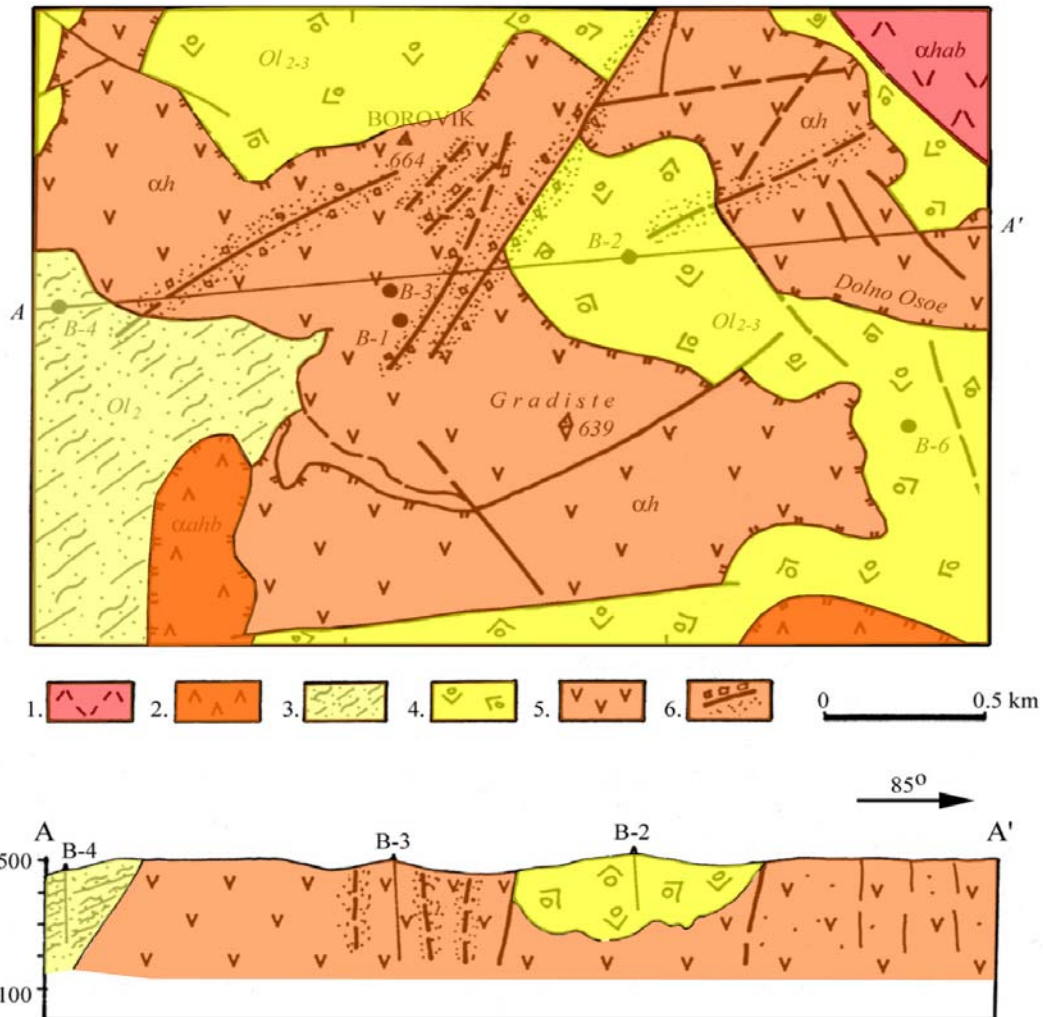
## GEOLOGY OF THE STUDIED AREA

Studied area lies below the Borović hill (651 m), few kilometers west from town of Kratovo in NE Macedonia (42.07°N, 22.08 °E). The nearest villages are Topolović and Turalevo in the north and Filipovci in the south. Area belongs to Zdravevci geothermal system, named after a nearby smaller village. The region is also known as Borović (or Borovik, originally Боровик) ore field, and is therefore noted further on in the paper as Zdravevci-Borović geothermal system. Borović is one of the volcanic manifestations in the wider Kratovo-Zletovo volcanic area, and several wells were drilled in the valley of river Povišnica (Povišica) in late 1980's.

Kratovo-Zletovo area lies in a former volcanic crater or caldera (Turalevo crater),

which was later significantly altered by intensive hydrothermal alternation, silicification (up to 99% SiO<sub>2</sub>), jarositization and kaolinitization. The area was intensively

studied for the occurrence of ore minerals, and high values of Pb, Zn and Cu were found. Area was mostly studied by (Klajn, 1977) and (Rakić et al., 1993).



**Figure 1.** Geological map and cross section through the Borovik mineralized system (Serafimovski, 1990) 1. Hornblende-augite-biotitic andesite; 2. Augite-hornblende-biotitic andesite; 3. Tuffaceous sandstones; 4. Tuffaceous sandstones, breccia and marls; 5. Hornblende andesite; 6. Faults (often mineralized)

Mineralized area Bukovik is located in the NW parts of the Kratovo-Zletovo ore district, between the Filipovci and Turalevo villages. The terrain is of low mountainous nature with average altitudes of 450 to 750 m and few representative hills such are: Gradiste, Borovik, Golak and some other with extensive erosion.

Geological setting is heterogeneous and in general consists of volcanic materials, tuffaceous breccias, sandstones, marls etc. Oligocene tuffaceous breccias, sandstones and marls have been intruded by biotite-augite andesites, hornblende andesites and

sometimes occur even younger volcanic outburst as smaller or larger plate-like forms.

Structural setting is quite similar to the other parts of the adjacent vicinity of this mineralized area, within the Kratovo-Zletovo ore district. Namely, the major fault and structural systems are of NE-SW and NW-SE direction and rarely of E-W direction, which at the crater Turalevo and Borovik intersect each other and in such a manner represent an area suitable for deposition of ore mineralization. The fault structures are related with intensive hydrothermal alterations and post-volcanic manifestations. In regards of hydrothermal alterations the

most abundant one is the silicification, followed by kaolinitization, sericitization, chloritization, pyritization etc.

Up to date data have shown that within the Borovik mineralized system are present numerous hydrothermally altered zones that occasionally are mineralized, mainly with copper and gold mineralization and sporadically with lead and zinc. All the facts are pointing out that the major focus should be given to the exploration of copper mineralizations.

All the occurrences of copper mineralization according to the host rocks where they have located can be divided into: pyrite occurrences with chalcopyrite in tuffaceous series, which have been intensively altered (with notable presence of argillites and jarosites). There have been confirmed "iron hats" (Klajn, 1977). Especially characteristic is pyritization with "iron hats" along left tributary of the Povicha river southern of Borovik. Sampling of adits and exploration drill holes have shown presence of copper up to 0.1% Cu and plenty of pyrite, reaching up to 20% of mineralized mass. The most copper is related to the crystal lattices of pyrite either it sporadically occurs in form of chalcopyrite disseminated in pyrite or as very fine individual grains.

Newer detailed explorations (drilled few exploration drill holes) have shown copper and gold mineralization, but however the data are still of limited character and intensity of exploration is low. Preliminary findings are that the mineralization is of quite similar character as it is the one at the Plavica locality and is more intensive around the zones of tectonic crushing. Also, the aforementioned findings indicated that the gold mineralization could be attributed to the existence of epithermal gold deposit of so-called acid-sulfate type.

Gold concentrations were always higher within intensively silicified zones, which are situated along faulting structures or zones of their intersection. At the following table (Table 1) are given concentrations of copper, gold and silver in samples from the surface and particular intervals within the drill holes.

**Table 1.** Concentration of copper, gold and silver in particular samples from the Borović locality

Sample	Cu (%)	Ag (ppm)	Au (ppm)
TS-1	0.032	0.65	0.10
TS-2	0.062	1.20	0.19
TS-3	0.024	1.05	0.45
TS-4	0.030	0.95	0.43
KB-1	0.042	0.60	0.17
KB-2	0.040	0.90	0.62
KB-3	0.044	0.95	0.18
KB-4	0.078	0.85	0.20
KB-5	0.028	0.85	0.10
KB-6	0.028	0.90	0.10

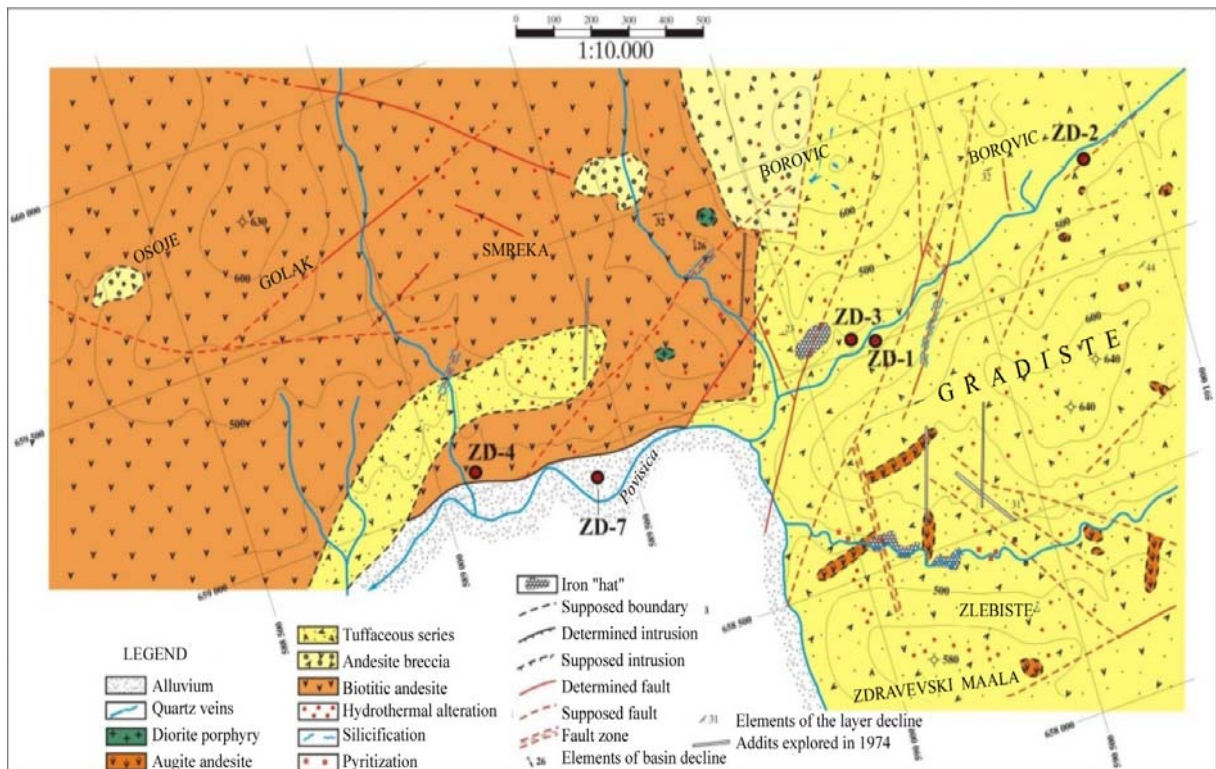
As it can be seen from the table above, the mineralized area points out to a porphyry system characterized by low concentrations of representative metals. We have to mention that lower concentrations of copper are uncommon, since locally they are significantly higher and microscopic studies (of lower intensity too) have been determined copper mineralizations represented by presence of chalcopyrite. Also, at surface on wider areas have been determined so-called copper blossoming represented by Cu-carbonate minerals such are malchite and azurite. There are indications that the most of copper at this shallow and surface levels was washed out (Klajn, 1977). So, once again we stress out, that the majority of these samples were taken from the surface or shallow drill holes and probably should be expected that to depth the copper concentrations will rise.

Silver concentrations that have been within the range of 1 ppm are completely compatible with those usually found in porphyry copper deposits worldwide. Gold concentrations are very similar to those found at Plavica and Crni Vrv localities, while in particular samples are very indicative (TS-3 and KB-2). Without any doubts such gold concentrations are pointing out to an existence of favorable environments for disposal of epithermal gold mineralizations mainly relate to the zones of faulting and silicification. This should be used as a guideline for planning and directing further detailed exploration in this area.

In the close vicinity of the Zdravec-Borović system itself, the oldest and deepest

rocks are Paleozoic and Precambrian magmatic and metamorphic rocks (schists and amphibolitic rocks) of Serbo-Macedonian mass, and granodioritic pluton bodies (Klajn, 1977; Rakić et al., 1995; Rakić et al., 1993). Estimated temperature in this source is about 200 °C. These rocks are covered by Eocene and Oligocene sedimentary, volcanic and sedimentary-volcanic rocks, mostly clastic rocks and flysch (Figure 1), plus volcanic intrusions of dacite-andesite and diorite. Conglomerate

and breccia prevail in Eocene and Middle Oligocene is represented by sandstones, breccias and limestones with high amount of volcanic material. Miocene is composed of various sandstones, marls and tuffs, Pliocene mostly by clastic rocks, and Quaternary by alluvium and delluvium. All these rocks are dissected by andesitic and dacitic eruptive rocks, tuffs and ignimbrites. Complete thickness of rocks above the pluton is about 1000-2000 m (Mičevski et al., 2007).



**Figure 2.** Simplified geological map of Zdravec-Borović area with locations of analyzed wells (modified after Klajn, 1977).

Wells (figure 1) were drilled to various depths: well ZD-1 to 90 m, ZD-2: 107 m, ZD-3: 335 m, ZD-4: 134 m, ZD-5: 129 m, ZD-6: 96 m and later wells ZD-7 and ZD-9 (depths unknown). The major borehole ZD-3 lies 444 m above sea level in the valley of Povišnica and was drilled in 1989. Borehole diameter is 86 mm with installed casing of 3,5 inches. The well is drilled in a fracture zone and is relatively deeper than other surrounding boreholes.

Water was recognized early in 1991 as therapeutic (Milenković, 1991). Water is artesian and flows from the well ZD-3 with approximate discharge of  $Q = 10-11$  l/s. The

temperature of the water varies with depth and due to interaction with surface water and lies in the range of 43-48 °C. Maximum temperature in the well was 50,8 °C. Two aquifers have been found to exist in the area, first in the depth of 83 m and second on 210 m (Đuzelovski, 1999).

## METHODS AND MATERIALS

Waters were sampled in two periods, first on 22.06.1991 and later in summer 2005. In the first period, only the major well ZD-3 was sampled, with intention to check the possibility of water for therapeutic use

(Milenković, 1991). Second sampling was done in 2005, and water samples from three wells ZD-3, ZD-7 and ZD-9 (Figure 2) were analyzed for geochemical composition and isotopes, plus the river Povišnica. Note that the results from the 2005 analysis for the well ZD-3 are not presented in this study, as sulphate concentration was far too low from expected and also far too low from the previous analysis in 1991, so this analysis was omitted.



**Figure 3.** Natural discharge of the well in Zdravec-Borovič area. Note the lack of vegetation in the background due to hydrothermal alteration and iron mineral precipitates in the creek bed in the foreground.

Analyses from the year 1991 were performed in laboratory in Belgrade, Serbia and analyses in 2005 in the ActLab laboratory in Canada. Measurements of water temperature and pH were determined in the field. Isotope composition of  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  was performed in Ljubljana, Slovenia. As the concentration of  $HCO_3$  ion (for the 2005 analyses) was not performed, it was calculated as the missing ion in geochemical software AquaChem via calculation of electrical balance to achieve electroneutrality. Saturation indices were calculated by software PHREEQC for Windows.

## RESULTS AND DISCUSSION

Waters from wells belong to Ca-Na- $HCO_3$ - $SO_4$ , Na-Ca- $HCO_3$ - $SO_4$  and Ca- $HCO_3$ -

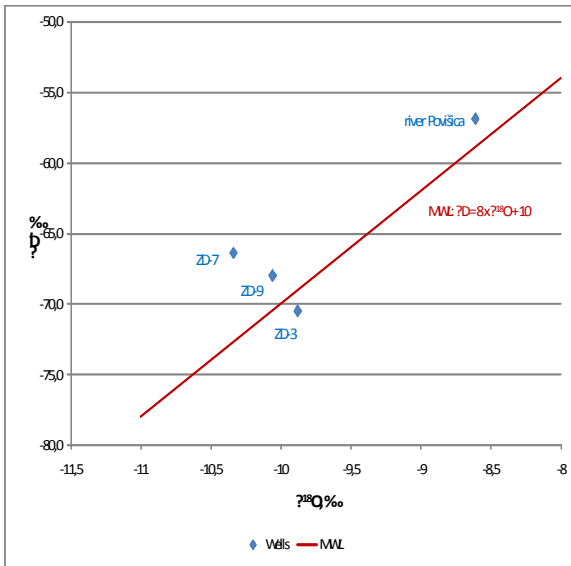
$SO_4$  types and therefore their origin can be attributed to carbonates-sulphates with elevated Na values from volcanic complex, reflecting the groundwater composition.

First of all we have performed a statistical analysis of  $\delta^{18}O$  and  $\delta D$  data, to see does the data follow certain standard and formerly determined rules. The data obtained for  $\delta^{18}O$  and  $\delta D$  in water samples were plotted on a summary diagram of isotope compositions of waters of different origins (see Taylor 1967; Brownlow, 1996 and Misra, 2000) with a primary goal to determine the exact origin of waters of interest (Figure 3). As can be seen from plot bellow (Figure 3), there were slight discrepancies from the MWL (Meteoric Water Line) determined by the equation  $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 10$ , but however the grouping of data was around the MWL. Those discrepancies reflect the direct fractionation of meteoric water of O and H in contact with adjacent rocks and deep hydrothermal fluxes.

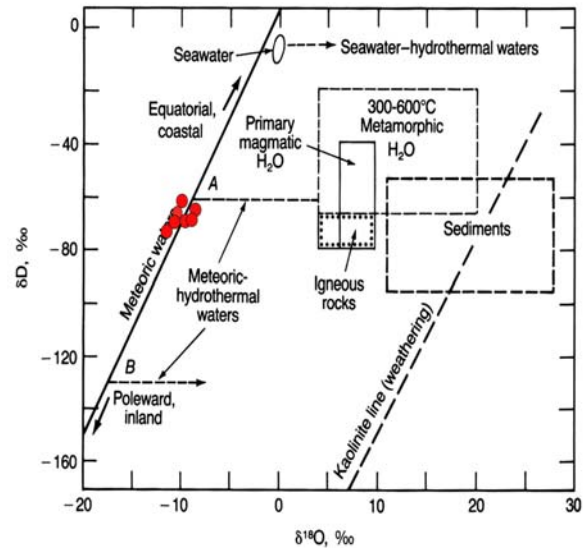
The plot have shown that majority of data plots are on or near the MWL indicating the meteoric origin of waters for most of the samples. Few of the samples, as can be seen from the diagram, have shown that there is a direct interaction and isotopic exchange between the meteoric generated waters and hydrothermal systems. This was direct confirmation about the nature of fluids, which have played the major role in the mineralization processes that have generated the polymetallic deposit. The main conclusion from this part can be drawn that there was an interaction between the meteoric water and a certain magmatic intrusion, which acted as an heat engine that have initiated an hydrothermal convection in the groundwater of the enclosing country rocks.

From the isotope data it is clear that although deviations from the Meteoric Water Line (MWL)  $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 10$  occur (Figure 4a and b), samples are still grouped along this line. Water is therefore believed to be infiltrated meteoric water, which infiltrates through several fractures in sedimentary and volcanic rocks, is progressively heated in the depth and is later captured in the wells near the surface.





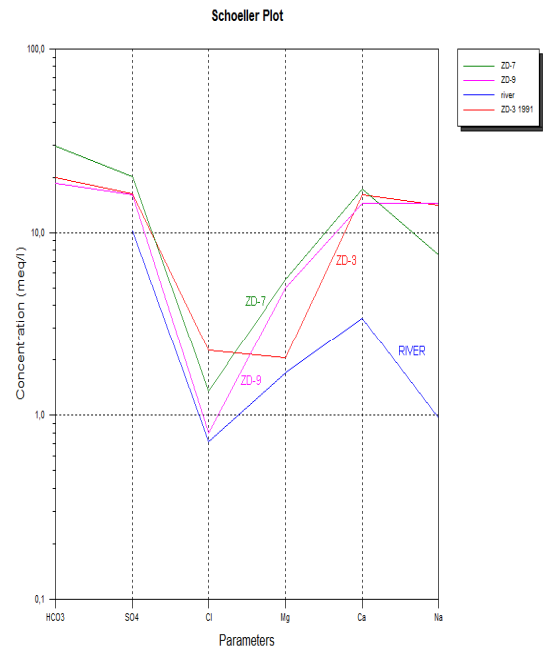
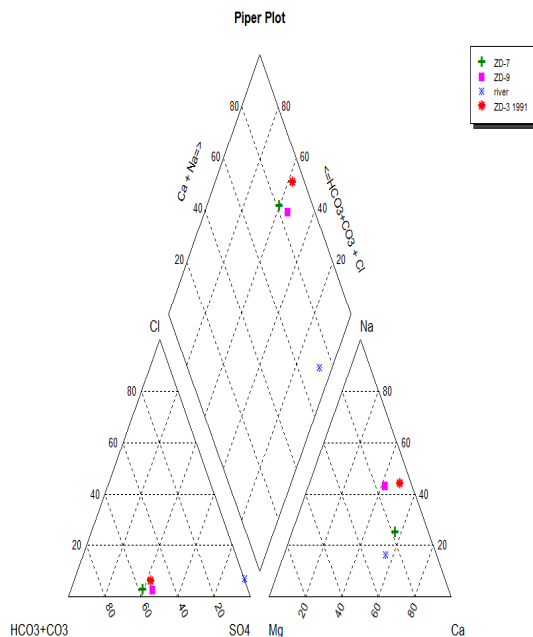
**Figure 4a.** Isotope composition of Zdravevci-Borovič wells ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$ ). MWL: Meteoric Water Line.



**Figure 4b.** Diagram of isotope composition of waters of different origins with included plots of values obtained for Borovič samples (Taylor, 1974; 1997)

Water is highly mineralized, as the total dissolved solids value (TDS) is 3458 mg/l (based on the 1991 analysis). Water

composition is presented on the Piper and Schoeller plots (Figure 5), and water from all wells belongs to one group.



**Figure 5.** Piper and Schoeller plots of hydrogeochemical analyses of Zdravevci-Borovič waters.

Temperature from deepest well ZD-3 was 43-44 °C, but significantly lower in other two wells (21,2 °C in well ZD-7 and 22,8 °C in ZD-9). The reason for relatively cooler water can be attributed to lower well depth of two wells, as infiltrated water is progressively heated in greater depths. Deeper well ZD-3 is also situated in a more

fractured zone, which permits higher circulation rate of water. Obviously, the potential for geothermal exploitation of the area exists, as the water outflows naturally from the wells (Figure 3). If pumped, the cooling effects would be less pronounced and temperature would be higher on the surface.

**Table 2.** Selected concentration of water wells and river Povišnica and saturation indices of calcite, gypsum, goethite and hematite. Bold numbers indicate exceeded drinking water limit values.

Well	pH	Na	Fe	Mn	Ni	As	Cu	Pb	Zn	Br	F	SO <sub>4</sub>	SI <sub>cal</sub>	SI <sub>gyp</sub>	SI <sub>goe</sub>	SI <sub>hem</sub>
unit	-	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	-	-	-	-
river	<b>5,7</b>	22,4	0,19	<b>50,1</b>	5,7	1,73	<b>3,7</b>	2,25	24,1	26	0,3	<b>488</b>	-	-	-	-
ZD-3	6,5	<b>324,5</b>	<b>0,90</b>	<b>300</b>	5	<b>40</b>	<b>5</b>	5	30	0	<b>1,8</b>	<b>780</b>	-	-	-	-
1991													0,52	0,53	6,97	16,02
ZD-7	<b>5,8</b>	173	<b>5,15</b>	<b>872</b>	<b>25,1</b>	<b>49,6</b>	<b>4,0</b>	0,72	9,8	<b>131</b>	<b>1,8</b>	<b>971</b>	-	-	-	-
													0,29	0,44	4,37	10,72
ZD-9	<b>6,0</b>	<b>333</b>	<b>3,93</b>	<b>350</b>	<b>69,2</b>	<b>60,6</b>	<b>8,4</b>	0,43	7,7	<b>145</b>	0,8	<b>767</b>	-	-	-	-
													0,30	0,56	5,05	12,11
limit	6,5-9,5	200	0,2	50	20	10	2	10	-	10	1,5	250	-	-	-	-

Despite the location in the regional area of highly mineralized ore deposits with Pb-Zn and Cu, and the fact that such surface waters can be highly contaminated with metals like Cu and Zn values for the waters in Kratovo-Zletovo area (Alderton et al., 2005), the analyzed waters do not show exceeded values of permissible drinking water element concentrations for Pb or Zn. However, several other metals and parameters are exceeded (Table 2) in regard to EU Drinking Water Directive (98/83/EC). Values of Fe, Mn and SO<sub>4</sub> are greatly exceeded in all wells, and some other parameters also exceed the permissible limits for Cu, Na, Ni, As, Cu and F. The pH values are also a bit lower than lower limit. Selected calculated saturation indices (Table 1) indicate that the water is greatly oversaturated by iron oxides and hydroxides (SI>10), and slightly undersaturated or in relative equilibrium with calcite and gypsum (SI is around ±0,5). Iron minerals are therefore expected to precipitate from the water, and such precipitates are indeed visible in the field (Figure 3).

## CONCLUSIONS

The Borovic locality represents one of the most potential areas within the Kratovo-Zletovo volcanic area from the aspect of Cu-Au mineralizations and geothermal-thermomineral waters.

Intensively hydrothermally altered rocks, manifested by silicification, kaolinitization, sericitization, limonitization, etc., are important indicator of ore mineralization and existence of the geothermal system. Intensively silicified volcanic tuffs are characterized by gold contents of up to 0.46 g/t Au.

The investigated area of Zdravevci-Borović geothermal system is potentially interesting for geothermal water exploration and exploitation, as water from wells has temperatures up to about 50°C, with discharge of approximately 10 l/s. With the use of submersible pumps, even higher temperatures at higher discharges can be obtained.

Origin of water can be related to sedimentary (carbonate) and volcanic cover due to its geochemical composition, and the water is attributed to be meteoric as it was shown by isotopes of hydrogen and oxygen or their respective ratios H/D and δ<sup>18</sup>O, which values were within the range -10.62÷ -8.61 δ<sup>18</sup>O and -72.70÷ -56.90 δD. These values of studied isotopes are compatible with hydrothermal fluid systems, which have produced mineralizations at the Borović area.

Water infiltrates in fractured rocks, is progressively heated in the depth and captured at the surface at relatively high temperatures (highest in well ZD-3).

By further isotope analyses (tritium), the age of water and cycling could be determined. Systematic geochemical sampling of water from wells should be performed in the future to get further information on the water-rock interaction, to study the speciation and mobility of elements and evolution of ground water. The wells should be hydraulically tested for influence to determine the effects of pumping on temperature and discharge.

## REFERENCES

- Alderton, D.H.M., Serafimovski, T., Mullen, B., Fairall, K., James, S., 2005. The Chemistry of Waters Associated with Metal Mining in Macedonia. *Mine Water and the Environment*, 24: 139-149.
- Bogoevski, K., 1998. Gold in Macedonia: Geology, metallogeny, features, ore occurrences, gold ore deposits and their evaluation. University "Sts Cyril and Methodius"-Skopje, Faculty of Mining and Geology-Stip, Special Issue No. 7, 249 p.
- Georgieva, M., 1996. Geothermal resources of the Vardar zone and Serbo-Macedonian mass at the territory of the Republic of Macedonia. Doctoral thesis, Faculty of Mining and Geology-Stip, University "Sts. Cyril and Methodius"-Skopje. (in Macedonian)
- Donevski, B., 2008. Energy Sector in Macedonia: Current Status and Plans Sustainable Energy Technologies. In: Hanjalić, K., Krol, R., Lekić, A. (Eds.). Springer Netherlands, pp. 303-320.
- Duzelovski, D., 1999. Podzemnite vodi (izdan) za reševanje na vodosnabduvanjeto vo R. Makedonija i nivnata zaštita. Institut "Geohidroproekt", Skopje, 308 pp.
- Klajn, Đ., 1977. Geološke, geohemijske i metalogenetske odlike rudnih pojava Borovika u SR Makedoniji, Institut za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, str. 73-84..
- Mičevski, E., Popovski, K., Popovska-Vasilevska, S., Kolčakovski, Ž., 2007. The hydrogeothermal potential of the Vardar zone and Serbo-Macedonian mass and energetical valorization of the available geothermal resources at the territory of the Republic of Macedonia, European Geothermal Congress, Unterhaching, Germany.
- Milenković, J., 1991. Kompletna fiziko-hemijska analiza mineralne vode iz istražne bušotine ZD-3 kod Kratova i stručno mišljenje o njenoj terapijskoj vrednosti, Institut za rehabilitaciju, Beograd.
- Pantić, R., Simić, V., Mijalković, N., Koprivica, D., Lolević, S., Radusinović, S., Radusinović, D., 1972. Kratovo-Zletovo district exploration and prospects (Final Report). FSD-Geoinstitut, Belgrade (in Serbian).
- Rakić, S., Micevski, E., Stolić, N., 1993. Elaborat za dosegašnite geotermalni istraživanja na terenet zapadno od Kratovo-geotermalen sistem Zdravevci so presmetka na rezervite na hidrotermalnite fluidi, Geološka služba na RIK Sileks Kratovo i Geohidroproekt, Skopje., Skopje.
- Rakić, S., Đorđević, N., Stolić, N., 1995. Geotermalna potencijalnost na Kratovsko-Zletovskata vulkanska oblast. In: Popovski, K. (Ed.), Geotermalna energija: sastojba i perspektivi vo Republika Makedonija. MANU.
- Rakic, S. and Stolić, N., 2002. Geothermal system Zdravevci-Kratovo. Possible temperatures of the collector and heating body and perspective for exploration at depth. Second counseling for the Geothermal Energy in the Republic of Macedonia, pp 103-126. Bansko, R.Makedonija. (in Macedonian)
- Ristova, J., 2011. Geological and geochemical features of the geothermal system "Zdravevci" Kratovo. Master thesis, University "Goce Delčev"-Štip, Faculty of Natural and Technical Sciences, 122 p.
- Serafimovski, T., 1990. Metallogeny of the Lece-Chalkidiki zone. Doctoral thesis, 391 p., Stip. (in Macedonian)
- Serafimovski, T., Tasev, G., Spasovski, O. and Stefanova, V., 2001. Relation between geothermal systems and hydrothermal mineralizing systems. First Counseling for Geothermal Energy in the Republic of Macedonia, pp 7-32. 14-16th December Bansko, R.Makedonija. (in Macedonian)
- Taylor, H. P., Jr., 1974. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. *Economic Geology*, Vol. 69, pp. 843-883.
- Taylor, H. P. Jr., 1997. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. In: H. L. Barnes (Ed.), *Geochemistry of Hydrothermal ore deposits*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 229-302.
- Verbovšek, T., Serafimovski, T., Tasev, G., Dolenc, T. and Dolenc, M., 2011. Hydrogeochemical Analysis Of Waters From Zdravevci-Borović Geothermal System In NE Macedonia. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Workshop on the UNESCO-IGCP Project "Anthropogenic effects on the human environment in the Neogene basins in the SE Europe", Eds. T. Dolenc & T. Serafimovski, Ljubljana, Slovenia, pp. 93-98.

# PORPHYRY Cu-Mo-Au-Ag-DEPOSITS OF THE NORTHEAST OF RUSSIA, COMPARISON WITH SIMILAR DEPOSITS OF THE R. MACEDONIA SEGMENT OF THE TETHYS BELT

Alexander Volkov<sup>1</sup>, Todor Serafimovski<sup>2</sup>, Goran Tasev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Staromonetnii per. 35, Moscow, 119017 Russia, tma2105@mail.ru*

<sup>2</sup>*Institute of geology, Faculty of Natural and Technical Sciences, University "Goce Delcev"-Stip, 2000 Stip, R.Macedonia, todor.serafimovski@ugd.edu.mk, goran.tasev@ugd.edu.mk*

## Abstract

By analogy with other metallogenic belts of the Circum-Pacific ring, the metallogenic belts in the Northeast of Russia are promising for discovery of large and superlarge porphyry-type Cu-Mo deposits. The spatial distribution of these deposits is controlled by intrusive domes in Middle Paleozoic, Late Jurassic-Early Cretaceous, and Late Cretaceous volcanic belts. New data on formation conditions and sources of ore matter are presented with respect to the deposits of the Baim and Koni-P'yagina ore districts of the Oloi and Uda-Murgal metallogenic belts. A comprehensive study of these porphyry copper deposits of both areas is undertaken to answer questions on the conditions of their formation. How do some of them differ from formation conditions of giant Cu-porphyry deposits?

**Key words:** comprehensive, study, copper, porphyry, formation.

## INTRODUCTION

The forecasting, exploration, and evaluation of porphyry Cu-Mo deposits in volcanic belts in the Northeast of Russia is one of the most important current lines of research aimed at expansion of mineral resources of not only copper and molybdenum but also Au, Ag, and Pt-group and some other rare metals.

According to the modern concept, the largest metallogenic belts in the inner zone of the Circum-Pacific belt in northeastern Asia are controlled by accretionary and postaccretionary tectonic units superimposed on island-arc and oceanic terranes. Massive sulfide deposits of various types related to "green tuffs" were formed in these terranes, whereas porphyry Cu deposits, which are basic for several ore districts with epithermal Au-Ag and base-metal mineralization [1].

Under the current economic conditions of northeastern Russia, most of the known porphyry Cu-Mo deposits and occurrences are not promising for economic development. However, the metallogenic belts and zones where these deposits are located are extremely important in forecasting of potentially economic high-grade epithermal Au-Ag deposits.

Regularities in the distribution and formation mechanism of giant Cu-porphyry deposits have been discussed by many authors.

Deposits of the R. Macedonia discussed in this communication usually contain up to 150000 t of Cu with the Buchim deposits likely being the smallest in the world among similar recently mined deposits. The long-term economically profitable development of the latter refutes the traditional opinion that only Cu porphyry deposits with reserves at least of 2500000 t and Cu content exceeding 0.5% are profitable for exploitation. Therefore, complex study of dwarfish deposits of the R. Macedonia is as important as research into giant deposits of the Pacific ore belt for solving the problem of their formation mechanism and answering the question, how they differ compared to giant deposits.

A comprehensive study of these porphyry copper deposits of both areas is undertaken to answer questions on the conditions of their formation.

## GENERAL OUTLINE OF Cu-PORPHYRY-TYPE DEPOSITS

Porphyry-type deposits are the main worldwide source of Cu and Mo; Au, Ag, and Pt-group and some other rare metals are recovered from this ore as by-products. Porphyry deposits are accompanied by numerous base-metal, Au-Ag, and Sb-Hg satellite deposits and placers and are

important for the economic development of Chile, Peru, Uzbekistan, Kazakhstan, Mongolia, Armenia, Serbia, R. Macedonia, Bulgaria, Romania, and partly Mexico and Greece. Large and superlarge deposits of this type were recently found in Iran, Afghanistan, Pakistan, China, Mongolia, North and South America, Indonesia, the Philippines, USA, Canada, Australia, Papua New Guinea, and Russia; these deposits also will be involved in economic development. Porphyry deposits provide 20% approximately of the Au and Ag produced in the United States. Large Cu-porphyry deposits with average grades of 2 g/t Ag and 0.4 g/t Au are located in Arizona; their hypothetical resources are estimated at 80 Mt Cu.

The Bingham ore district in Utah ranks first in mining Cu and second in mining Mo. In 1890–1971, the Bingham porphyry copper deposit yielded about 31 kt Ag and 300 t Au, including 800 t Ag at a grade of 2 g/t in 1970 alone. As much as 4 kt Ag and 55 t Au were produced over the same period from base-metal ore of this district [2].

According to Krivtsov et al. [3], porphyry deposits are classified by Ag grades into: (I) Mo deposits virtually devoid of Ag, (II) Mo–Cu deposits with <1 g/t Ag, (III) Cu–Mo deposits with <1 to a few grams per ton Ag, and (IV) Ag–Cu deposits that commonly contain a few tens of grams per ton Ag. Although the Ag grade of porphyry copper ore is extremely low (no higher than 5–6 g/t, on average, and commonly 0.3–3.0 g/t), the bulk of silver produced is considerable owing to the enormous mass of ore involved in processing. Associated veins with high Ag and Au grades are often regarded as independent noble metal deposits.

In terms of Cu, Mo, Au, and Ag reserves, porphyry deposits are referred to as large and superlarge (100–1000 Mt of ore or more) with low and medium grades: 0.3–1.5% Cu, 0.001–0.05% Mo, 0.03–1.0 g/t Au, and 1–6 g/t Ag [4].

The deposits vary from Precambrian to Quaternary in age; Mesozoic and Cenozoic deposits are predominant; the latter prevail in the Pacific ore belt [4]. The classic porphyry copper provinces were formed in geodynamic settings of continental volcanic belts and volcanic island arcs.

The most important characteristics of porphyry systems [5, 6, 7] are as follows:

(1) Occurrence of ore-bearing minor porphyry intrusions (<2 km in diameter) composed of calc-alkaline and potassic, moderately alkaline rocks. The ore is also hosted in volcanic, sedimentary, and other country rocks. Coeval andesitic and dacitic volcanics are common for island arcs, while potassic, moderately alkaline rocks are typical of the continental setting.

(2) Hypabyssal depth of ore formation (1–4 km).

(3) Porphyritic texture of ore-bearing intrusions, where phenocrysts of feldspar, quartz, and dark-colored minerals are incorporated into a fine grained groundmass.

(4) Numerous intrusive phases may be pre-, syn-, and postore; late diatremes are typical of the West Pacific deposits.

(5) Progressive evolution of a steep ore-bearing stockwork from the early, short, and irregularly arranged veins and veinlets closely related to emplacement of intrusions via transitional veins lying in one plane to the late through veins and breccia bodies related to regional and local stress fields.

(6) Extensive development of metasomatic alteration and ore mineralization controlled by fractures in porphyry intrusions and country rocks.

(7) Several stages of hydrothermal alteration that develop progressively from early potassic and propylitic alteration to phyllic (sericitic) and intermediate and advanced argillic alteration.

(8) Sulfides and oxides vary from bornite and magnetite in the early mineral assemblages to transitional chalcopyrite and pyrite to late pyrite and hematite, pyrite and enargite, and pyrite and bornite.

(9) Cu–Au (Mo, Ag) is the major (economic) assemblage of metals; the Pb–Zn (Ba, Mn) assemblage also may be of economic importance; Mo is typical of central portions of continental deposits and marginal parts of island-arc deposits. Au is visible and submicroscopic and also occurs as electrum.

(10) The early metasomatic rocks and related Cu mineralization are generated by magma-derived hydrothermal fluids with a salinity of 30–60 wt % NaCl equiv at a temperature of >600 to 400°C. The fluids responsible for the formation of the late metasomatic alteration and ore mineralization contain a meteoric

component; they are less saline (<15 wt % NaCl equiv) and low-temperature (400–200°C). The host intrusions serve as a source of heat.

(11) The topology of the subducted plate controls ore mineralization in the overriding island arc. The subduction-related deformational setting gives rise to thickening of the crust, block uplifts, and faulting and fracturing favorable for development of ore mineralization.

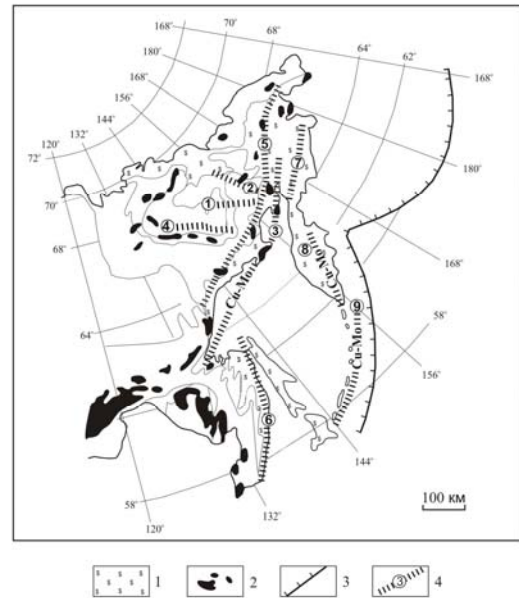
## DISTRIBUTION OF Cu-PORPHYRY DEPOSITS OF THE NORTHEAST RUSSIA

The promising porphyry Cu-Mo deposits and occurrences in the Northeast of Russia make up metallogenic belts of various ages (Fig. 1). More than 110 Cu-Mo-porphyry deposits and occurrences are shown in the metallogenic map of the Northeast of Russia.

The specific metallogenic features of these belts are caused by tectono-magmatic reactivation in the transitional zone from ocean to continent and, in particular, are related to the formation of the Late Cretaceous marginal continental Okhotsk-Chukotka volcanic-plutonic belt (OChVB), which is superimposed on Triassic and Jurassic island-arc and cratonic complexes that were formed above seismofocal (paleosubduction) zones that plunge down to a depth of 600–700 km.

*The Kedon metallogenic belt* coincides with the Middle Paleozoic volcanic belt of the same name in the Omolon Cratonic Terrane (Fig. 1). Volcanic rocks of the Kedon belt overlap the Archean-Paleoproterozoic basement and its Phanerozoic sedimentary cover. The Rb–Sr age of volcanic rocks belonging to the Kedon Complex is 334–377 Ma [8].

The ore mineralization of the marginal continental volcanic-plutonic belt was formed in the Omolon Terrane during the Middle Paleozoic stage. Lateral zoning is expressed in localization of Cu-porphyry deposits in the east, epithermal Au-Ag deposits in the transitional zone, and Au-bearing jasperoids in the west.



**Figure 1.** Porphyry Cu-Mo metallogenic belts in the marginal-sea province of northeastern Asia. (1) Areas of volcanic rocks; (2) plutonic rocks; (3) deepwater trench; (4) porphyry Cu-Mo metallogenic belts (numerals in circles): (1) Kedon, (2) Oloi, (3) Uda–Murgal, (4) Yasachnaya River, (5) Okhotsk–Chukotka, (6) East Sikhote-Alin, (7) Koryak, (8) Central Kamchatka, (9) Kuril.

*The Oloi metallogenic belt* is controlled by an Early Cretaceous island arc system situated between the South Anyui and Omolon terranes (Fig. 1). Most of it is now located at the interfluves of the Oloi and Greater Anyui rivers, extending in the northwestern direction for 400 km at a width of 200 km in the central segment. The U-Pb zircon age of magmatic zircons from the Yegdegkych pluton is  $141.8 \pm 2.0$  Ma [9]. Numerous porphyry Cu-Mo and epithermal Au-Ag deposits are related to the island-arc magmatism. Cu-Mo stockworks are localized largely in stocks and minor intrusions of the gabbro-monzonite-syenite association, while epithermal Au-Ag veins develop at their periphery. Widespread magnetite and occurrence of Co and Pt minerals are typomorphic attributes of ore mineralization in the Oloi metallogenic belt.

*The Uda-Murgal metallogenic belt* is related to the inner zone of the OChVB and is controlled by the continent margin and the boundaries of the paleoisland arc that bears the same name [10]. The island-arc rocks are traced now near the left bank of the Uda River, on the Koni-P'yagina and Taigonos

peninsulas, and in the basins of the Penzhina and Anadyr rivers (Fig. 1). The island arc is composed of tholeiitic basalts and basaltic andesites, including lavas, tuffs, tuffaceous breccias and siltstones; felsic rocks amount to 4%. The total thickness of this sequence varies from 3 to 7 km. The volcanic and sedimentary rocks were deposited on an uplift bordered by marine troughs like the Greater Kuril Islands [10].

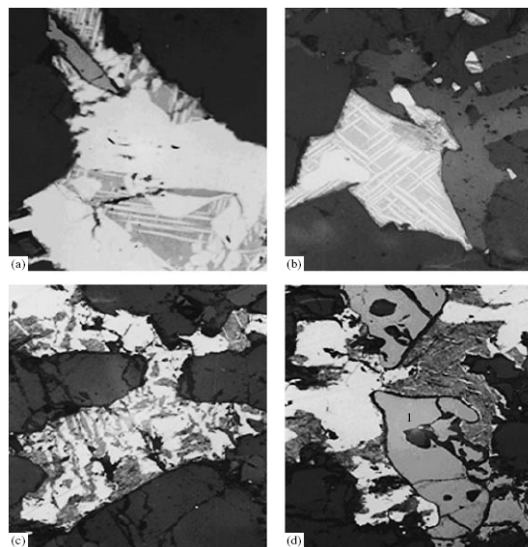
The large area of porphyry Cu-Mo deposits coincides with the frontal zone of the OChVB, superimposed on the terrigenous-volcanic complex of the marginal continental arc, which is highly deformed and locally thrust over the continent.

*The Okhotsk-Chukotka metallogenic belt*, which comprises numerous volcanogenic deposits, extends for more than 3500 km along the eastern margin of the Asian continent and coincides with the Late Cretaceous-Paleogene volcanic-plutonic belt of the same name and its perivolcanic zone. The following types of ore mineralization are known in this belt: porphyry Cu-Mo deposits; epithermal Au-Ag veins; Au-sulfide impregnations; Au-mineralization related to granitoids; Sn- and Ag-bearing base-metal mineralization of vein, skarn, and porphyry types; and Hg- and Au-Sb-bearing veins. The belt consists of several metallogenic zones; porphyry Cu-Mo deposits are known in some of these zones. However, in most zones, no works aimed at prospecting for Cu-porphyry-type ore have been conducted.

#### GENETIC FEATURES OF NORTHEAST RUSSIA CU-PORPHYRY MINERALIZATION

The Cu-Mo porphyry systems of the Koni-P'yagina ore district of the Uda-Murgal metallogenic belt were formed in a crust of transitional type in the course of active interaction of Early Cretaceous igneous complexes with Triassic and Jurassic island-arc rocks. The massive sulfide lodes hosted in island-arc complexes in the basement of younger volcanic and plutonic belts were sources of copper, as can be clearly seen from relationships of tonalites with the Triassic-Jurassic sequences of basalts and basaltic andesites in the coastal cliffs of the northern Okhotsk region. Numerous xenoliths of basaltic rocks that contain as

much as 50% sulfides (bornite, chalcocite, and chalcopyrite) are especially striking in this respect (Fig. 2).



**Figure 2.** Cu-mineralization in xenoliths of the Ryabinovy stock. Polished sections, magn. 120.

(a, b) Exsolution structure of bornite in chalcopyrite; (c) intergrowth of bornite, chalcopyrite, and chalcocite; (d) the same in intergrowth with magnetite (1).

The geochemical specialization of Cu-porphyry ore also indicates its cognation with basalts; in particular, Cu reveals the closest correlation to chrome. The gain of molybdenum most likely was related to felsic volcanic and granitoid plutonic complexes. Indeed, porphyry Mo-deposits devoid of Cu (Okša, Osenny) appear at a distance from island arcs and backarc faults limit the occurrence of copper mineralization.

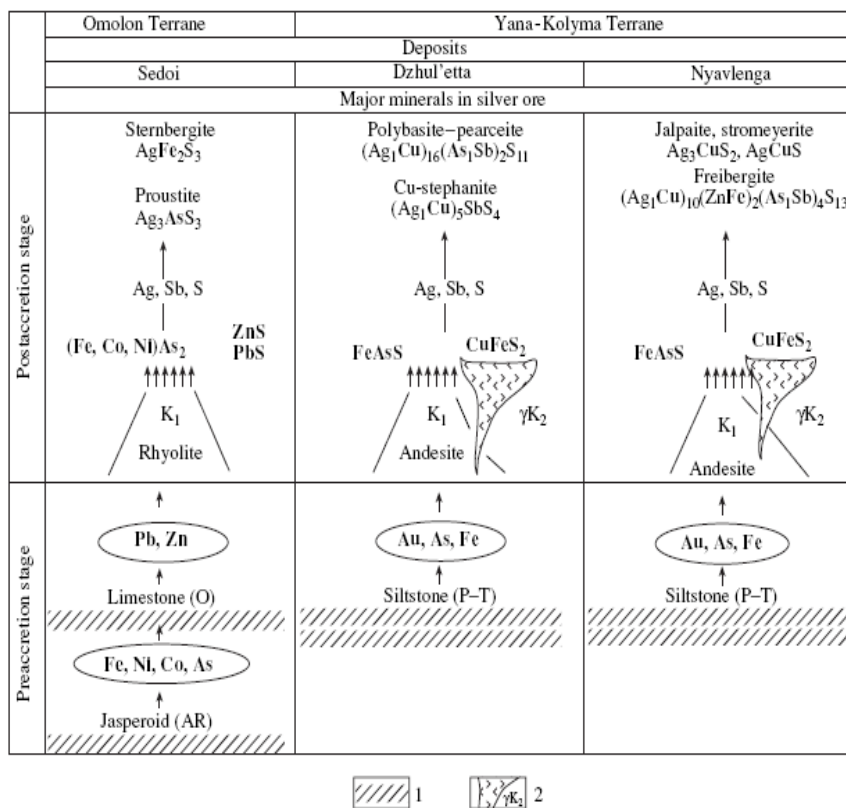
Early magnetite is abundant at the deposits of the Oloi metallogenic belt. Furthermore, quartz-hematite veins were formed at the late hydrothermal stage in the Baim ore district [11]. V.G. Kaminsky suggested that magnetite at the Peschanka giant (8000000 t Cu, 435 t Au, 5000 t, Ag) porphyry deposit is a product of crystallization of the Yegdegkych pluton. Goryachev, Polovinkin [12] explained the occurrence of magnetite in the Innakh ore field by auto-metasomatic alteration that accompanied crystallization of magmatic melt. In our opinion, magnetite and hematite could have been formed as a result of remobilization and redeposition of iron from jaspilites that occur in the Precambrian basement of the Oloi-Berezovsky paleoceanic arc. This suggestion is supported

by widespread jaspilites and magnetite skarn bodies in the Precambrian metamorphic sequences of the Omolon Cratonic Terrane adjacent to the arc. Blocks of Precambrian rocks may have been incorporated into the basement of this arc due to their displacement in the process of accretionary thrusting.

The evolution of an ore system and formation of an entire series of mineral deposits implies multiple redistribution of materials, so that newly formed minerals inherit and retain in their composition information on the preceding stages.

The well-known Dzhul'etta epithermal Au-Ag deposit (50 t Au; 1000 t Ag) may be cited

as an example. This deposit is localized at the junction of three metallogenic units: the Omsukchan zone with a Sn, Ag, Fe, Pb, and Zn geochemical profile; the Yana-Kolyma Au-Ag-As metallogenic province; and the Uda-Murgal Cu-porphyry metallogenic belt. Their influence was imprinted on the mineralogical and geochemical specialization of the post-accretionary ore at the Dzhul'etta deposit, first of all, in the productive mineral assemblages: (I) electrum-fahlore, (II) polybasite-pearceite (Pb, Zn, Fe, Au, Ag, Cu, As, Sb), and (III) kustelite-acanthite (Au, Ag, Se).



**Figure 3.** Mobilization and redistribution of material in rocks lying at the base of volcanic structures. (1) Sedimentary country rocks; (2) Late Cretaceous granitoids.

In terms of mineral species, this effect was expressed in development of As and Cu mineral phases (Fig. 3): polybasite (up to 2.5% As), pearceite (up to 10.5% Cu), and acanthite (up to 4% Cu and 3.4% As).

The second example concerns the Nyavlenga multistage epithermal Au-Ag deposit (30 t Au, 600 t Ag), situated 40 km west of the Dzhul'etta deposit. Upper Jurassic preaccretionary rocks of the Yana-Kolyma metallogenic province serve as the basement of the volcanic edifice that hosts the Nyavlenga deposit.

These rocks are characterized by elevated contents of Au, As, Pb, and Zn. The gain of these components from the basement is reflected in a high As content of freibergite; high total sulfide contents, including galena and sphalerite; and development of the late quartz-arsenopyrite assemblage. The effect of the Uda-Murgal belt on the ore mineralization at the Nyavlenga deposit is expressed in the intramineral granitoid injections specialized for Cu and Mo and in the abundance of molybdenite, as well as Cu-



Ag sulfides (stromeyerite, jalpaite, and mckinstryite), in the Au-Ag ore (Fig. 3).

In the Omolon Cratonic Terrane, Paleoproterozoic jaspilites enriched in Fe, Co, and Ni, as well as Neoproterozoic-Lower Paleozoic carbonate rocks with dispersed Pb and Zn, exerted an influence on the composition of epithermal ores. These rocks were accreted in the Middle Paleozoic (the Kedon Group of volcanic rocks) and in the Mesozoic along the Konginsky Fault.

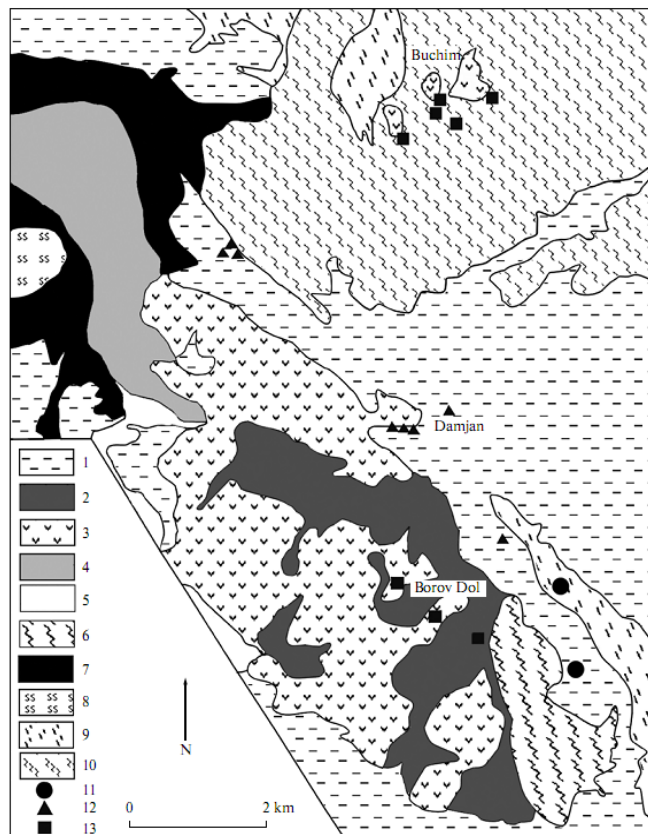
The epithermal Au-Ag and Ag-bearing base-metal deposits are localized in the young volcanic structures. Furthermore, it was established that the model isotopic age of Pb in galena from the Mesozoic deposit corresponds to the age of the basement: the Ordovician at the Sedoi occurrence and the Neoproterozoic in the Pravaya Vizual'naya area [9]. The concentrations of Co and Ni in loellingite of the productive assemblage reach 1.4 and 3.2 wt %, respectively.

Sternbergite and argentopyrite are predominant as Ag mineral species (Fig. 3).

The examples cited above demonstrate that, in contrast to the Baim zone, the epithermal Au-Ag mineralization in the OChVB, to a certain extent, is isolated in time from the porphyry copper-molybdenum mineralization. Thus, the crustal sources of ore matter likely were different.

#### DISTRIBUTION Cu-PORPHYRY DEPOSITS OF THE R. MACEDONIA

The Cu porphyry deposits studied belong to the Lece-Chalkidiki metallogenic zone located at the transition between the Serbian-Macedonian Massif and the Vardar zone, and are genetically connected with small Tertiary subvolcanic-alkaline stocks such as the Tulare in Serbia, Buchim and Borov Dol in Macedonia; Vakhi, Gerakario, and Potokerasia in Greece; and others. Among these massifs, only the Buchim deposit in Macedonia has been mined recently.



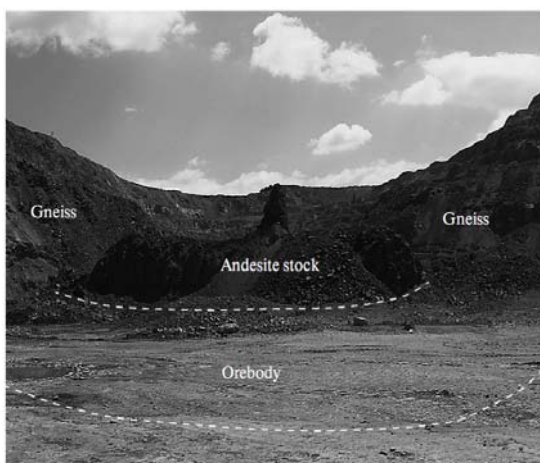
**Figure 4.** Geological map of the Buchim–Damjan–Borov Dol ore district. (1) Paleogene, Neogene, and Quaternary sedimentary rocks; (2) pyroclastic rocks; (3) andesite and latite; (4) Quaternary flysch; (5) carbonate rocks; (6) carbonate slate; (7) granite; (8) serpentinite; (9) muscovite schist, (10) gneiss; (11) Pb–Zn vein mineralization; (12) iron skarn mineralization; (13) Cu–Au porphyry mineralization.

The metallogenic features of the southern Balkan Peninsula are determined, on the one hand, by geodynamic evolution of the Tethys–Eurasian metallogenic belt (TEMB), which was defined by Jankovich et al [13] and, on the other, by old crystalline massifs. The belt was formed during the post-Mesozoic epoch instead of the Jurassic paleo-ocean Tethys, which was located between the southern continental margin of Eurasia in the north and the African–Arabian and Indian plates in the south. Volcanism in this region began in the late Oligocene, while ore mineralization is Miocene in age. Geochronological study by the K/Ar method revealed that andesites of the Damjan and Borov Dol fields were formed in the period of 28.0 to 26.5 Ma ago, while andesite stocks of the Buchim ore field appeared between 27.0 and 24.5 Ma ago [14].

The *Buchim ore field* is located in the northern part of the ore district in the Serbian–Macedonian Massif. The outer part of these structures is composed of gneisses, and their central parts are represented by latite stocks (Fig. 5).

The Buchim deposit is known from ancient times, although it was explored in detail only in the 1970s.

The *Damjan ore field* is located in the central part of the ore district in the Vardar zone 5 km south-west of the Buchim mine (Fig.4).



**Figure 5.** Open pit in the Central ore body at the Buchim deposit.

The important metallogenic feature of this ore district is the lack of economically significant Cu and Au concentrations in scarns of the Damjan deposit.

The *Borov Dol ore field* is located in the southern part of the ore district in the Vardar

zone. The volcanic caldera hosting this deposit is 5 km across being well developed in the district morphostructure (Fig. 4).

In addition to the above mentioned deposits, the northern part of the district hosts numerous ore occurrences with Cu porphyry mineralization: Vranjak, Orljak, Crn–Vrv–Kalape-trivci, Kosevo, Kosevska Reaka, and others.

#### GENETIC FEATURES OF THE RM Cu-PORPHYRY MINERALIZATION

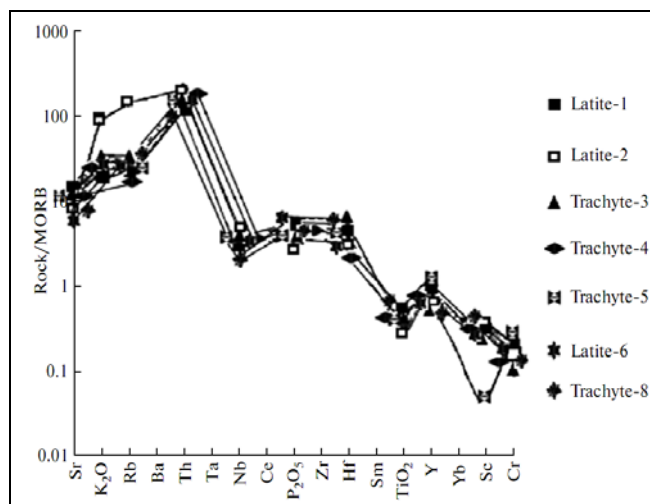
Volcanics of the district represent derivatives of intermediate–acid magmas with relatively high alkali contents, which are highly differentiated from basic to highly acidic and calc-alkaline varieties. They belong to the high-potassic series being represented by andesites, latites, trachytes, rhyolites, and transitional rocks [14].

Previously, it was thought [15] that the parental magma of the volcanogenic–intrusive complex in the Serbian–Macedonian metallogenic zone resulted from partial melting of the continental crust in response to deep collision of continental blocks, which was intruded through a deep-seated fault into higher formations.

The subsequent analysis of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotope ratios and distribution of minor elements revealed that volcanic rocks of the study area resulted from mixing of material originating from the continental crust and upper mantle [16, 17]. In addition, it was shown [16] that by the concentrations of minor and trace elements the volcanics of the area are similar to their counterparts from active continental margins.

The original data (Fig.6) indicate that differentiation of the magmatic melt yielded conditions favorable for different interactions between mineral components. Concentrations of trace and accessory elements imply fractionation of minerals during magmatic evolution. The spider diagram demonstrates distinct positive Th and Y anomalies and insignificant negative Nb and  $\text{TiO}_2$  anomalies; anomalously high  $\text{K}_2\text{O}$ , Rb, Nb, and Sc contents characteristic of subduction related magmas are established for Sample 5 (Fig. 6).

Thus, the geochemical study of minor elements indicates that igneous rocks of the deposits under consideration were most likely formed in the transitional zone between the continental crust and the upper mantle.



**Figure 6.** MORB-normalized trace element contents in volcanic rocks of the Buchim–Damjan–Borov Dol ore district. (1–3) Latite corresponding to nos. 1, 2, 6 in Table 3; (4–7) trachyte.

The study of stable isotopes is now used for obtaining more accurate information on the genesis of ore metals. The S isotope composition for the Buchim deposit was studied in 10 pyrite samples. As follows from the table, the S isotope composition in pyrite varies in narrow limits (+0.16 to +2.53‰ averaging +1.06‰ in all three ore bodies of the deposit with insignificant enrichment in the heavy isotope relative to meteorite sulfur. According to classification in [18], such a composition of S isotopes allows the Buchim deposit to be attributed to the category associated with felsite volcanics. As follows from these data, sulfur of the Buchim deposit is either of magmatic origin or was mobilized from sulfides of volcanic rocks. At the same time, the S isotope composition in the Borov Dol deposit is characterized by the dominant light S isotope ranging from 0 to -7 ‰ [14]. Such a difference in the isotope composition of sulfur from closely spaced deposits may be explained by their different geological structures. As was mentioned, the Buchim deposit is located in the Serbo-Macedonian Massif, while the Borov Dol deposit is confined to the Vardar zone. It is conceivable that sulfur of the Borov Dol deposit partly originates from host sedimentary rocks.

The study of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  values in calcite from ores of the Buchim deposit demonstrates that water of the ore-forming fluid originates from several sources, including mainly meteoritic [19]. This

inference needs, however, further verification.

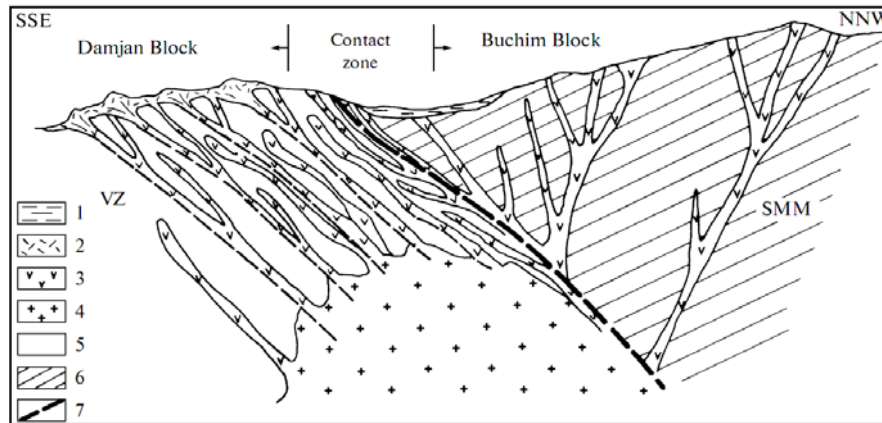
The composition of fluid inclusions in quartz from the Buchim deposit indicates that ore-forming hydrothermal solutions were of the chlorite–sodium type with concentrations of salts varying from 10 to 25 wt % equiv. The NaCl and mineralization temperatures ranged from 49 to 200 °C. Ore components were transported in the form of complex ions, which contained Na and K chlorides and less common sulfates and carbonates [20].

In conclusion, an important metallogenic fact should be noted for the Buchim–Borov Dol ore district: lack of economically significant copper mineralization in magnetite–hematite skarns of the Damjan deposit, although they were formed at the contact between carbonate flysch rocks and subvolcanic andesites compositionally similar and coeval with rocks constituting stocks of the Buchim and Borov Dol deposits. It is quite conceivable that the upper part of the ore body with copper mineralization is eroded in the Damjan deposit. This is evident from the study of similar polymetallic skarn deposits in Karamazar [21], which demonstrate distinctly zoned patterns: the upper levels of these deposits host polymetallic mineralization, which is replaced downward by hematite–magnetite ores. This observation confirms the inference by Cifliganec [14], who believed, proceeding from metasomatic zoning, that the Buchim deposit was eroded

up to its medium level and no erosion was characteristic of the Borov Dol deposit.

It is conceivable that a primary intrusive center served as a source of copper for the deposits under consideration. At the same time, subvolcanic intrusive bodies of these deposits are insufficiently large for mobilization of a quantity of copper from them by the hydrothermal convective system to provide its present day content in orebodies. Consequently, the magmatic

source of copper was likely located at deeper levels and represented a relatively large intrusive body (Fig.7). It may be suggested that the significant volume of orebearing magma that formed the intrusive body at a deep level could yield copper for a relatively large porphyry deposit, although the latter is missing in the entire Lece–Chalkidiki metallogenic zone, the district under consideration included.



**Figure 7.** A model of magmatic system in the Buchim–Damjan–Borov Dol ore district. (1) Pliocene–Quaternary rocks; (2) volcanic rocks; (3) subvolcanic bodies; (4) granitoids; (5) ultramafic rocks, granitoids, Cretaceous and Paleogene rocks in rocks in the Vardar Zone (VZ); (6) gneiss, muscovite schist, and amphibolite in the Serbo-Macedonian Massif (SMM); (7) faults.

It is possible that some copper could have been mobilized from ultramafics occurring both in the Serbian–Macedonian Massif (amphibolites) and Vardar zone (peridotites and serpentinites), which were intruded by the Cenozoic magmatic complex. Such a possibility is more real since the Neogene

calc-alkaline magmatic complex in the Serbian–Macedonian province is depleted in copper as compared with Cretaceous igneous rocks in the Bor area [16].

## CONCLUSIONS

The examples cited above demonstrate that the formation mechanism of some Northeast Russia and R. Macedonia porphyry copper-deposits very similar. But, the crustal sources of ore matter likely were different.

The hypothesis of copper remobilization from serpentinites and ultramafics of the Vardar zone or massive sulfide deposits of the Cyprus type is also supported by insignificant reserves and low concentrations of ore elements in the studied Cu porphyry

deposits, which is characteristic of regenerated deposits [22]. The similar ore forming condition observed in the Lora and outer deposits of the Koni-P'yagina ore districts of the Northeast Russia (Volkov et al., 2006).

This likely represents the main feature, owing to which formation of dwarfish deposits differs from that of their giant counterparts.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (pr.no.11-05-00006-a, 10-05-00354 and 12-05-00443-a).

## REFERENCES

1. (Sidorov et al., 2011): Sidorov A. A., Starostin V. I., Volkov A. V., 2011: Ore complex analyses. Moscow, MSU.
2. Konstantinov et al., 2003): Konstantinov M. M., Kostin A. V., Sidorov A. A., 2003: Geology of Silver Deposits, Yakutsk.
3. (Krivtsov et al., 1986): Krivtsov A. I., Migachev I. F., Popov V. S., 1986: Porphyry Copper Deposits of the World, Nedra, Moscow.
4. (Volkov et al., 2006): Volkov A. V., Savva N. E., Sidorov A. A., et al., 2006: Spatial Distribution and Formation Conditions of Cu–Au Porphyry Deposits in the Northeast of Russia, *Geol. Ore Deposits*, 48, 6, 448–472.
5. (Cooke et al., 2005): Cooke D. R., Hollings P., Walshe J. L., 2005: Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls, *Econ. Geol.* 100,5, 801–818.
6. (Kerrick et al., 2000): Kerrich R., Goldfarb R., Groves D., et al., 2000: The Characteristics, Origins, and Geodynamic Settings of Supergiant Gold Metallogenic Provinces, in *Science in China, Series D*, 43, 1–68.
7. (Krivtsov, 2001) Krivtsov A. I., 2001: Porphyry Copper Deposits, TsNIGRI, Moscow.
8. (Egorov, 2001): Egorov V.N., Sherstobitov P.A., 2001: The Kedon Volcanic-Plutonic Association in the Southeastern Omolon Massif. Magmatism and Metamorphism of Northeast Asia. Proceeding of conference, Magadan, SVKNII, 23–29.
9. (Shpikerman, 1998): Shpikerman V. I., 1998: Pre-Cretaceous Mineralization of Northeast Asia Magadan, SVKNII.
10. (Parfenov, 1984): Parfenov L. M., 1984: Continental Margins and Island Arcs of the Mesozooids in Northeastern Asia. Novosibirsk, Nauka.
11. Shapovalov, 1994): Shapovalov V. S., 1994: Evidence for a Common Ore-Magmatic System with Reference to the Complex Mineralization (Western Chukchi Peninsula). *Problems of Ore Typification & Exploration Mineralogy in the Northeast of Russia*. Magadan, SVKNII, 73–82.
12. Goryachev, 1979): Goryachev N. A., Polovinkin V. L., 1979: Mineralogical and Geochemical Evidence for Relationship between Gold Mineralization and Magmatism with Reference to the Innakh Ore District, Western Chukchi Peninsula. *Mineralogical Features of Endogenic Ore Deposits in Yakutia*. Yakutsk, Yakut. Inst. Geol. Siberian Division, Acad. Sci. USSR, 115–129.
13. (Jankovic et al., 1980): Jankovic S., Petkovic M., Tomson I. N., et al., 1980: Porphyry Copper Deposits in the Serbo–Macedonian Province, Southeastern Europe, in *European Copper Deposits*. *Geol. Soc. Amer. Spec. Publ.*, 1, 96–103.
14. (Cifliganec, 1993): Cifliganec V., 1993: Copper Mineralization in the Republic of Macedonia: Types and Distribution Pattern. *Geol. Depart., Faculty of Mining and Geol., Spec. Iss.*, 1., Stip.
15. (Stefanova et al., 2004): Stefanova V., Nedelkov R., Moritz R., 2004: *Ann. Sci. Conf. of the Bulgarian Geological Society*, Sofia, 75–77.
16. (Karamata, 1974): Karamata S., 1974: Geohs-miske, petroske i metalogenetske provincije kradno-tatcijarne starosti, data Balknskog poluostrva i Male Azige, CDL XXV.SANU, Posebno izdanje Knj., Beograd.
17. (Boev et al., 1992): Boev B., Serafimovski T., Lepitkova S., 1992: Isotopic Sr Composition of Tertiary Volcanic Rocks in Macedonia, *Geol. Macedonica* 6, 23–32.
18. (Serafimovski, 1993): Serafimovski T., 1993: Structural-Metallogenic Features of the Lace-Chalkidiki Zone: Types of Mineral Deposits and Distribution, *Geol. Depart., Faculty of Mining and Geol., Spec. Iss.*, 2, Stip.
19. (Ohmoto, 1979): Ohmoto H., Rye R. O., 1979: Isotopes of sulfur and carbon. Barnes, H.L. (Ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2nd ed., Wiley, New York, 509–567.
20. (Serafimovski et al., 1996): Serafimovski T., Cifliganes V., Jancovic S., et al., 1996: Genetic Model of the Buchim Porphyry Copper Deposit, Republic of Macedonia, Plate Tectonic Aspects of the Alpine Metallogeny in the Carpatho-Balkan Region, *Proc. of the Ann. Meeting, Sofia*, 1, 63–73.
21. (Zharikov, 1968): Zharikov V. A., 1968: The Origin of Endogenic Ore Deposits, Nedra, Moscow.
22. (Schneiderhohn, 1957): Schneiderhohn H., 1957: Advances in Perception of Secondary Hydrothermal and Regenerated Deposits, *Regenerated Ore Deposits, Inostr. Liter.*, Moscow.

# FLUID INCLUSIONS STUDY IN THE QUARTZ FROM THE ZLETOVO MINE

Goran Tasev<sup>1</sup>, Todor Serafimovski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University "Goce Delčev"-Štip, Faculty of Natural and Technical Sciences  
goran.tasev@ugd.edu.mk; todor.serafimovski@ugd.edu.mk

## Abstract

The latest studies of fluid inclusions in Zletovo Mine were performed on quartz samples from the ore veins No. 2, 3 and 8. The quartz samples were selected from main ore parageneses where have dominated galena and sphalerite, followed by pyrite, chalcopyrite, calcite, kaolinite etc. Homogenization temperatures were within the range of 335÷145°C and they reflect phases of pulsation of hydrothermal solutions, which have been defined into four groups going from the highest temperatures down to the lowest temperatures ones. Also, it was confirmed the hydrothermal ore-bearing solutions were of a NaCl-type where concentration of components was within the range 4.4÷8.6 % wt NaCl equiv. This points out that hydrothermal solutions at the moment of formation of the analyzed quartz already have been within the final mineralizing phase. Density of fluid inclusions with liquid phase were within the range 0.7÷0.95 g/cm<sup>3</sup>. Calculated pressures and paleo-depths of mineralization ranged from 200÷250 bar and 1.0÷1.5 km, respectively.

**Key words:** homogenization, quartz, fluid inclusion, Zletovo Mine

## INTRODUCTION

The lead-zinc deposit Zletovo has been subject of exploitation even back to the medieval time while its official exploitation have started in 1941, but for a short period because the Second World War started and the mine worked under the occupation. After the end of the war at the Zletovo deposit was built modern mine with an annual production capacity of 400 000 t of ore. The Zletovo mine is in continuous production for more than 70 years, mainly as state owned, while at 2006 there was a transformation of ownership into a private one as an associate branch of the company Indo Minerals and Metals. An average content of metals within the ore is around 8% Pb+Zn.

Along to the exploration of the Zletovo deposit were performed detailed and special studies of the lead-zinc mineralizations as well as the settings where it has been deposited. Within the important published and fund materials here we would like to stress out that the most complex and complete one were workings of Петковиќ и др. (1982), Блечик (1983), Serafimovski (1990, 1993), Ефремов (1993), Serafimovski and Aleksandrov (1995), Serafimovski et al., (2005), Serafimovski et al., (2006), etc..

## GEOLOGICAL SETTING AND MINERALIZATION

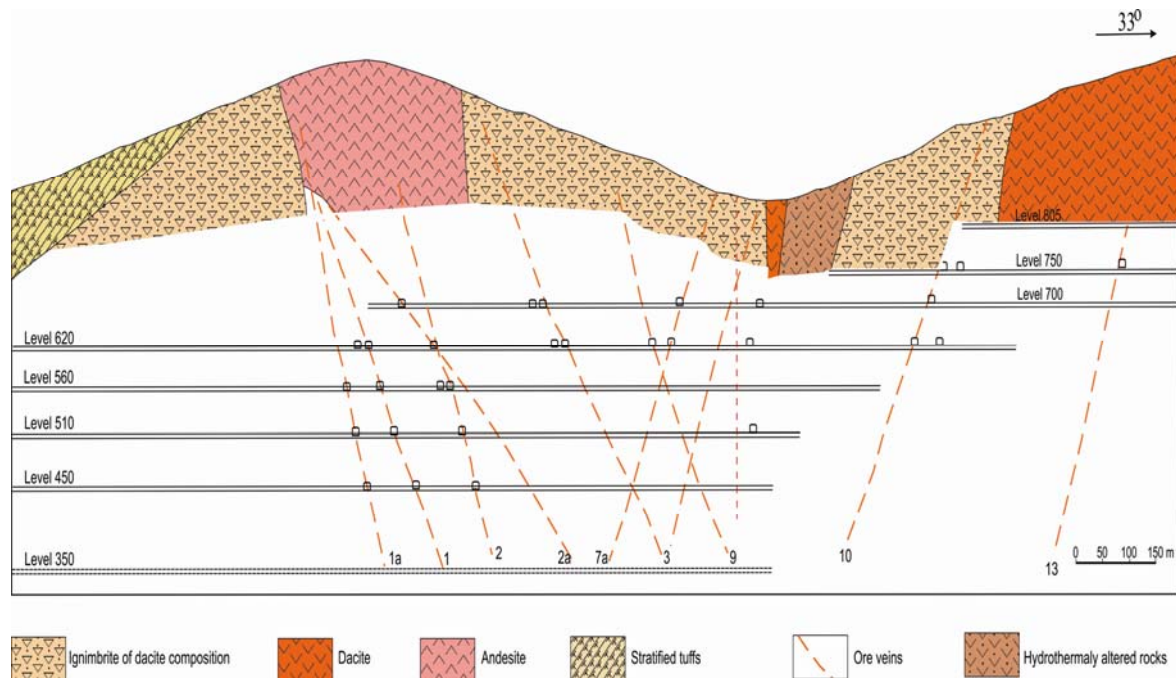
The Zletovo lead and zinc deposit located in the east of the Kratovo-Zletovo volcanogenic complex occupies the central parts of the Kratovo - Zletovo ore district or the south-eastern parts of the Zletovo ore field. The Zletovo lead-zinc deposit has been formed during hydrothermal activity that was intimately associated with Tertiary volcanism along an active continental margin. The major rock types in the area are andesite, dacite, dacitic ignimbrite and volcanic tuff (Serafimovski 1990; Serafimovski and Aleksandrov 1995; Tasev 2003). Dacitic ignimbrite is the most common volcanic unit. Pb-Zn mineralization at Zletovo is spatially and genetically related to fracture zones that trend NW, NNW and ENE. These fractures appear to have served as the main conduits and depositional sites for hydrothermal fluids.

Ore bodies occur as veins, accompanied by impregnation and stockwork-disseminated ore mineralization, most commonly in the selvage parts of the mineralized vein structures. The ore bodies are of variable dimensions in strike, dip and size. Vein type ore bodies have been determined 100 to 300 m in length (depending on the vein), rarely over 5 km (vein no 10), whereas they have been traced over 500 m in

dip and according to data available so far no change in continuity has been noticed to depth which is very important for the potential of the deposit.

The ore veins are also variable, ranging from several centimeters up to 2 m, and rarely over 5 m in size. Thickening of veins occurred in places where there are great changes in their direction both in strike and dip. Investigations

done so far have determined about 16 veins of NW-SE to NNW-SSE and ENE-WSW to E-W extension most commonly subparallel to each other. Occasionally they bend and intersect (commonly under a sharp angle) such as ore veins 2, 3, 4, 6 and 7 (Figure 1). Flank branching of main ore veins is common (ore vein 1) which results in formation of apophyses of small dimensions.



**Figure 1.** Geological cross section through the Zletovo Mine

The ore mineral association comprises galena as the principal ore mineral together with sphalerite and subordinate pyrite, siderite and chalcopyrite, and rare pyrrhotite, marcasite, and magnetite. Minor occurrences of U-mineralization (pitchblende) have also been discovered. Detailed information about the mineral parageneses and geochemical features of the major minerals in ore veins is provided in Mudrinic and Serafimovski (1991) and Serafimovski and Tasev (2003). The veins typically contain large clasts or screens of altered dacitic and andesitic wallrocks. The altered clasts are weakly mineralized or barren.

#### METHODOLOGY

The study of numerous transparent quartz wafers, made of 6 quartz samples (S1-S7, there is not S2) from the Zletovo mine, polished on both sides (with a thickness of 150  $\mu\text{m}$ ), was performed under the optical microscopes Nikon and Olympus BX51,

equipped with high quality lenses capable of studying the fluid inclusions (whose dimensions are varied in the range from 5-40  $\mu\text{m}$ ) and photographic cameras for photographing the fluid inclusions. In each analyzed sample were analyzed by at least 20 inclusions, which guarantees the reliability of results obtained for several parameters assessed.

Detailed investigations at Royal Holloway, University of London, were performed using the Linkam heating stage THM 600 (temperature range  $-196^{\circ}\text{C}$  to  $+600^{\circ}\text{C}$ ) and controller TMS 90, which was possible to be programmed for number of phases and temperature changes over the time

The accuracy of the apparatus was controlled by measuring the temperature of melting and homogenization of "artificial" standards of pure substances. The calibration was performed using water fluid inclusion in synthetic quartz crystal, but we will still have an error of  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

## RESULTS AND DISCUSSION

As we have mentioned above the fluid inclusions as remnants of ancient ore-bearing solutions from the Zletovo deposit were analyzed at the analytical facilities of the Geological Department, Royal Holloway University of London, Egham, UK.

During the analysis were analyzed few parameters of the fluid inclusions, such are:  $T_h$ -homogenization temperature,  $T_m$ -temperature of melting of last ice crystal, salinity (%NaCl), density, pressure, determination of

the primary or secondary origin of the inclusion etc. (Table 1).

In each analyzed sample were taken into account at least 20 inclusions, which should provide sufficient data that will ensure reliability of the parameters mentioned above.

All the studied fluid inclusions were colorless. Analyzed fluid inclusions were mainly of two phases type (L+V where L-Liquid; V-Vapour; see Figure 2a and 2b), or liquid phase (L) and vapour phase (V), without presence of CO<sub>2</sub>.

**Table 1.** Microthermometry data data of studied fluid inclusions from the Zletovo deposit, Macedonia

Locality and sample label	Mineral	Tip na fluidni inkluzii	Salinity (wt% NaCl equiv.)		Homogenization temperature (°C)	
			Range	Average	Range	Average
Zletovo (S-1)	Kvarc	P	3.1÷11.8	8.6	137.8÷265.4	196.2
Zletovo (S-2)	Kvarc	P	1.7÷5.4	4.4	233÷285	251.2
Zletovo	Kvarc	P	-	-	304.0÷368.0	335.0
Zletovo	Kvarc	Ps	-	-	210.0÷265.0	235.0
Zletovo	Kvarc	P	-	-	109.0÷163.0	145.0

*Note: P-Primary fluid inclusions; Ps-Pseudoprimary fluid inclusions; samples S-1 and S-2 are from (Tasev, 2003), other are from Efremov (1993)*

Primary fluid inclusions in quartz varied from 3 to 7  $\mu\text{m}$  and locally up to 12÷13  $\mu\text{m}$  (Figure 2). Some secondary liquid-rich inclusions occur along healed fractures that cut across different quartz grains and range from 1 to 5  $\mu\text{m}$ , and typically had irregular shapes (Figure 2a lower left area-green arrows).

The degree of fulfillment of the fluid inclusions has been calculated by the formula below:

$$D_f = \frac{L}{L+V}$$

where: Df – degree of fulfillment of the inclusion

L – liquid phase

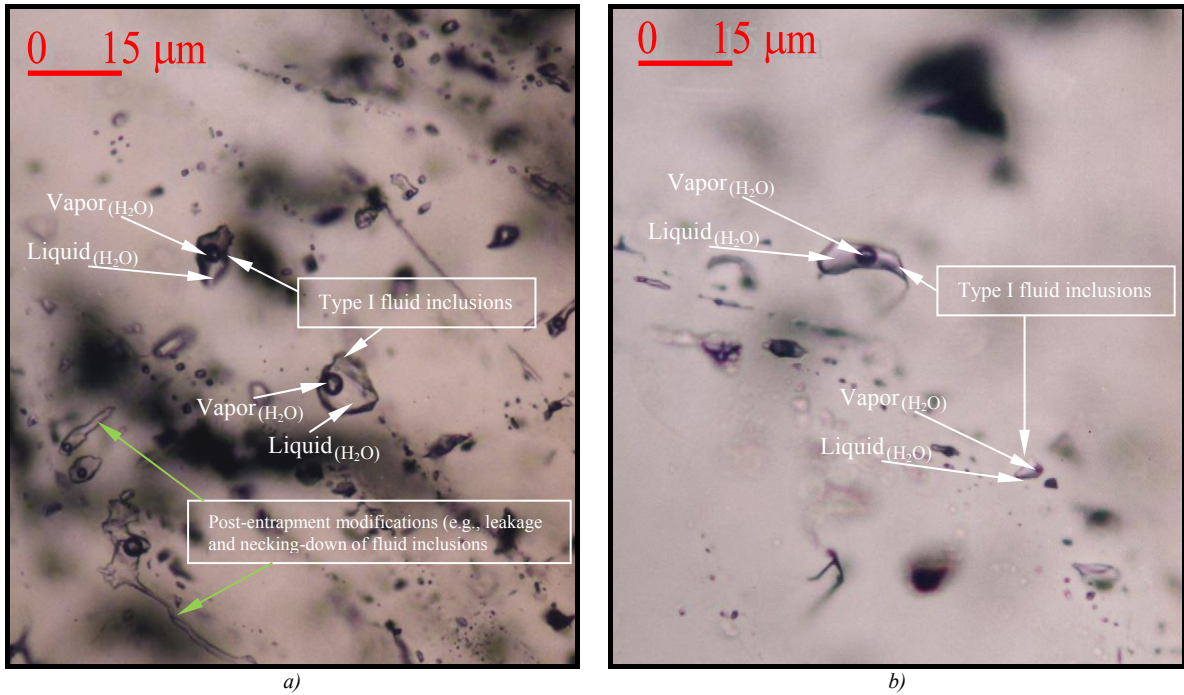
V – vapor phase

The degree of fulfillment of the studied fluid inclusions was high, ranging from 0.7 up to 0.9. They consist of two phases (L+V) with 10 to 15 vol.% vapor. All the studied fluid inclusions homogenized into a liquid phase. The salinity of solutions, in general, was low, ranging from 1.7 to 11.8 wt% NaCl equiv, in average 4.4-8.6 wt% NaCl equiv.

In more than 120 individual fluid inclusions in six quartz samples from Zletovo Mine,

homogenization temperatures ( $T_h$ ) were within a range from 109 up to 368°C. This range of homogenization temperatures have shown high consistency bearing in mind range of 150÷350 °C determined by former studies (Blečić, 1983). Also here we would like to stress out that  $T_h$  range given above is characterized with two peak values of 130–180°C and 200–275°C, which easily can be related to the polymetallic stage that is characterized by the assemblages of sphalerite–galena–pyrite–chalcopyrite, and less abundant pyrite–galena–quartz. This is very similar to the data of Li et al., (2011) for the Maouduan deposit where sulfides followed the sequence pyrite → sphalerite → chalcopyrite → galena. The temperatures of capture of the inclusions can be determined as medium to high ones. Here it is necessary to point out that the homogenization temperatures are defining the lowest temperature of mineralization while the temperatures determined by sulfur stable isotope geothermometers are defining “real” temperatures of mineralization (Ohmoto and Rye, 1979; Ohmoto, 1986; Rye et al., 1974; Shelton and Rye, 1982).



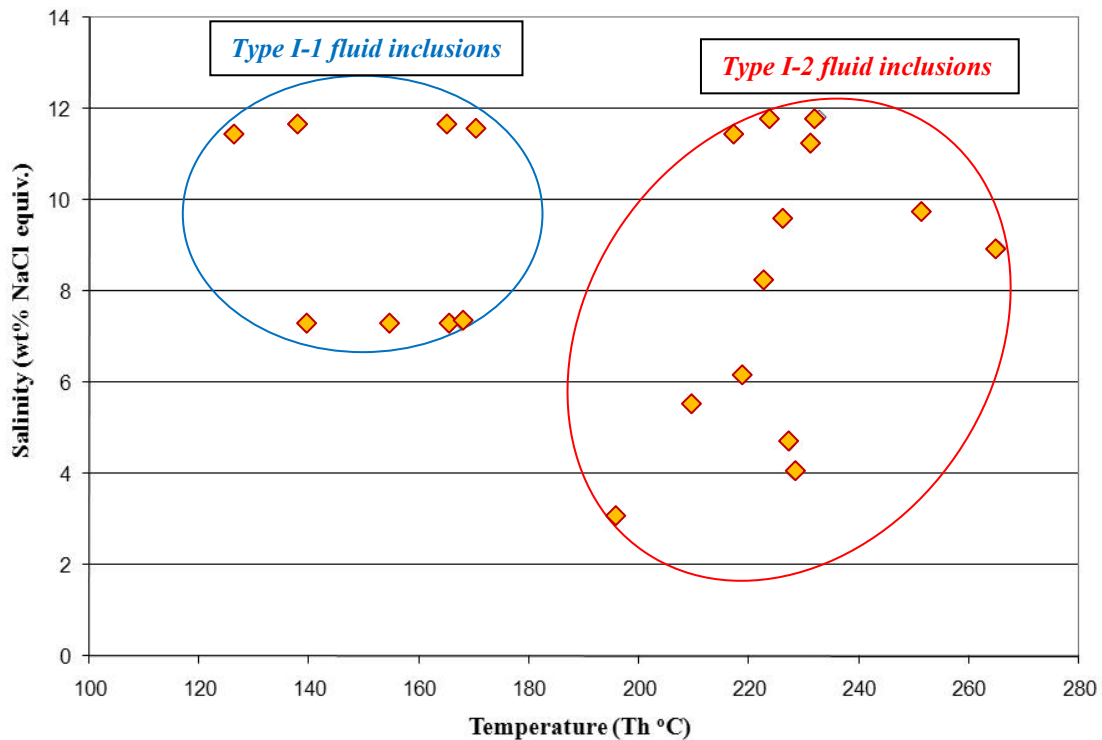


**Figure 2.** a) Large primary type I (V+L) fluid inclusions; b) Large and minute primary type I (V+L) fluid inclusions

For all of the studied fluid inclusions were determined temperatures of first ice melting ( $T_m$ ) within the range from  $-26^{\circ}\text{C}$  up to  $-20^{\circ}\text{C}$ , which points out to a temperatures close the eutectic temperature of the eutectic system  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  ( $-20.8^{\circ}\text{C}$ ), or within the solution are present Na, Cl and  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\pm\text{K}$ ) while Ca and Mg

are absent since their eutectic temperature is significantly lower.

In accordance with data obtained from micro thermometric analyses were plotted a few diagrams that are showing certain relations of certain parameters of the fluid inclusions: salinity (wt% NaCl equiv.) vs. homogenization temperature (Figure 3).



**Figure 3.** Relations of homogenization temperatures and salinities in fluid inclusions from Zletovo deposit

From the plot can be concluded that was a wide temperature range of fluid inclusions capture, which indicates a long process in which there were deliveries of new material that is supported by salinity difference of up to 10 wt% NaCl equiv., units.

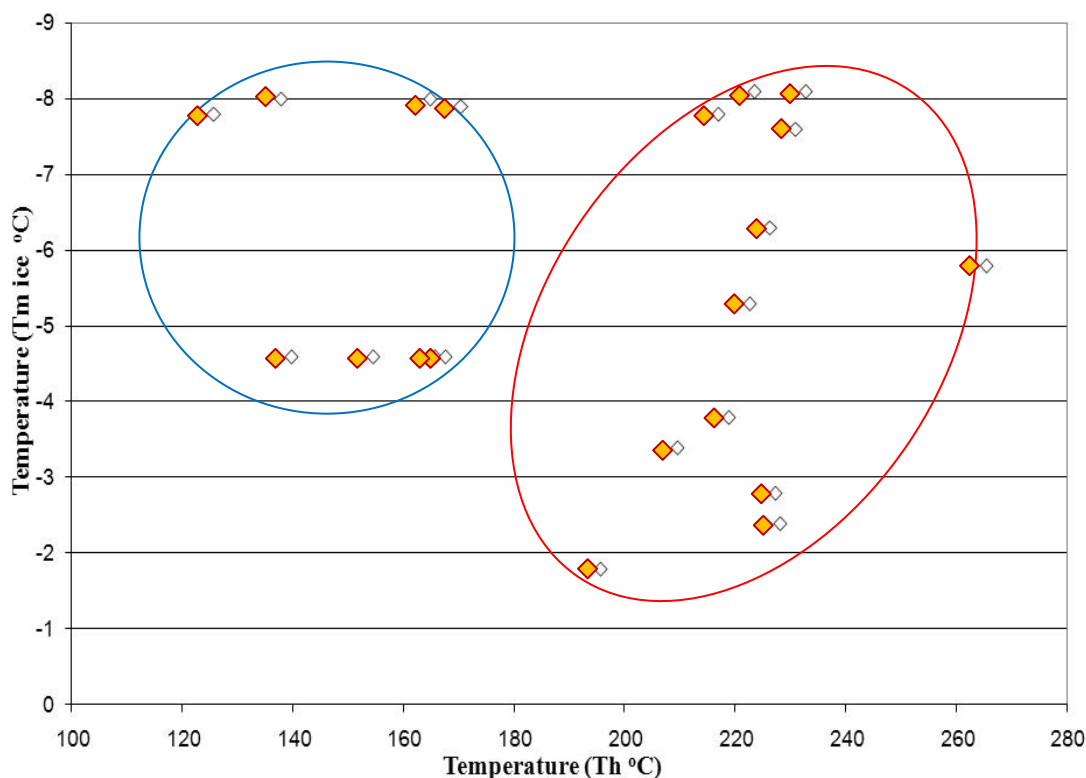
Such an occurrences are very indicative of mineralizations with multiple pulsations and phase deposition of mineralizations.

Fluid inclusion studies of ore-related minerals (in ours case-quartz) constrain the fluid evolution in the later stages of the hydro-thermal system development. Homogenization temperatures plotted against bulk salinity values clearly separate two types of fluid inclusions into two distinct groups which strongly suggest involvement of two distinct fluid types in the Pb-Zn mineralization event: a higher temperature (>200°C), low to medium

saline (>7.5 wt.% NaCl equivalent) brine, represented by type I-2 fluid inclusions, and a lower temperature (<200°C), low salinity (<5.5 wt.% NaCl equivalent) type I-1 fluid inclusions (Figure 3).

Post-entrapment modifications (e.g., leakage and necking-down; Figure 2a) could be invoked to explain the broad and contrasting range of homogenization temperatures and salinities displayed by types I-1 and I-2 fluid inclusions.

Also, we have used data of temperatures of melting of last ice crystal and homogenization temperatures to plot respective diagram (Figure 4).



**Figure 4.** Relations of homogenization temperature vs. last ice crystal melting temperature in fluid inclusions from the Zletovo deposit (Tasev, 2003)

From the diagram above it can be seen that there is not any direct relation between the last ice melting temperature and homogenization temperature.

Ice melting temperatures ranging from  $-5.5^{\circ}\text{C}$  to  $-8.18^{\circ}\text{C}$  yield salinities between 7.2 and 11.8 wt.% NaCl equivalent for type I-1

inclusions in the ore related quartz. As a contrast, ice melting of type I-2 inclusions invariably takes place under temperature values, ranging from  $-1.8^{\circ}\text{C}$  and  $-8.3^{\circ}\text{C}$ , indicating broader range of salinities ( $3.0 \div 11.8$  wt.% NaCl equivalent).

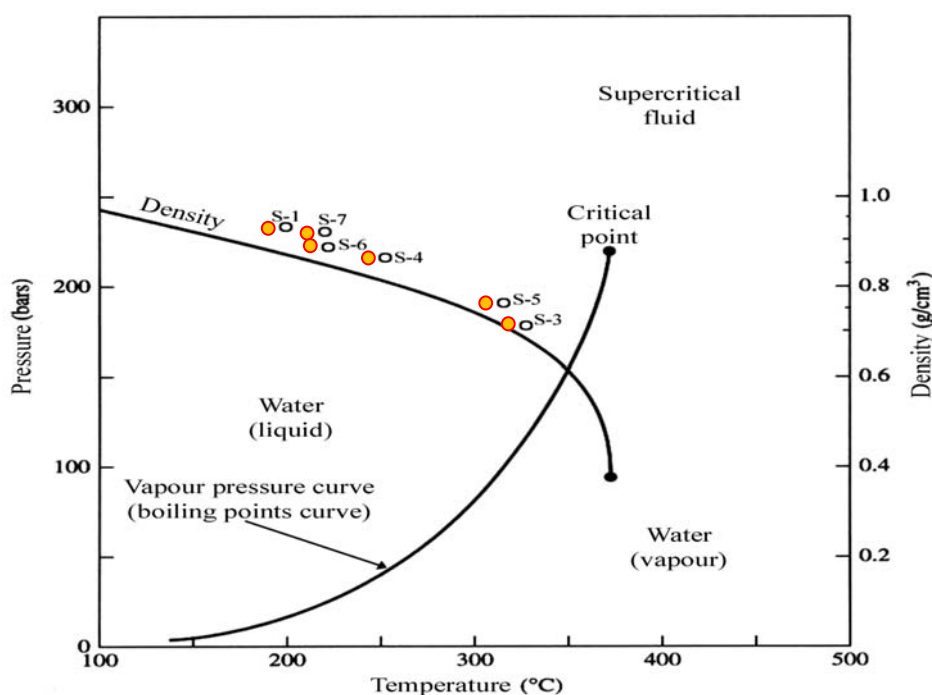
Upon heating, total homogenization type I-1, fluid inclusions invariably occurred via the disappearance of vapor into the liquid phase between 130–180°C. Fluid inclusions of type I-2, on the other hand, show vapor disappearance within the interval of 200–275°C.

For the Zletovo ore deposit, obtained temperatures calculated from sulfur stable isotopes for sulfide-sulfide and sulfide-sulphate mineral pairs (Ohmoto and Rye, 1979; Ohmoto, 1986; Rye et al., 1974; Shelton and Rye, 1982; Brownlow, 1996), were within the range 134 ÷ 307 °C, which closely corresponds to the temperature ranges obtained by the fluid inclusions studies. That fact points out to an isotopic equilibrium during the genesis of

sulfide/sulphate minerals with the hydrothermal solutions, which is by the way the basic requirement for the accuracy of the isotope thermometers. According to the eutectic temperatures, solutions probably were of Na-K-Cl composition.

Data obtained during the fluid inclusions studies were used to plot diagram of relations between temperatures, pressures and densities (Figure 5). Pressures during the formation of analyzed fluid inclusions used to be quite high, ranging from 175 up to 240 bars.

Due to such setting of physical and chemical conditions fluid densities also were in upper part of the scale or within the range 0.7 ÷ 0.95 g/cm<sup>3</sup>.

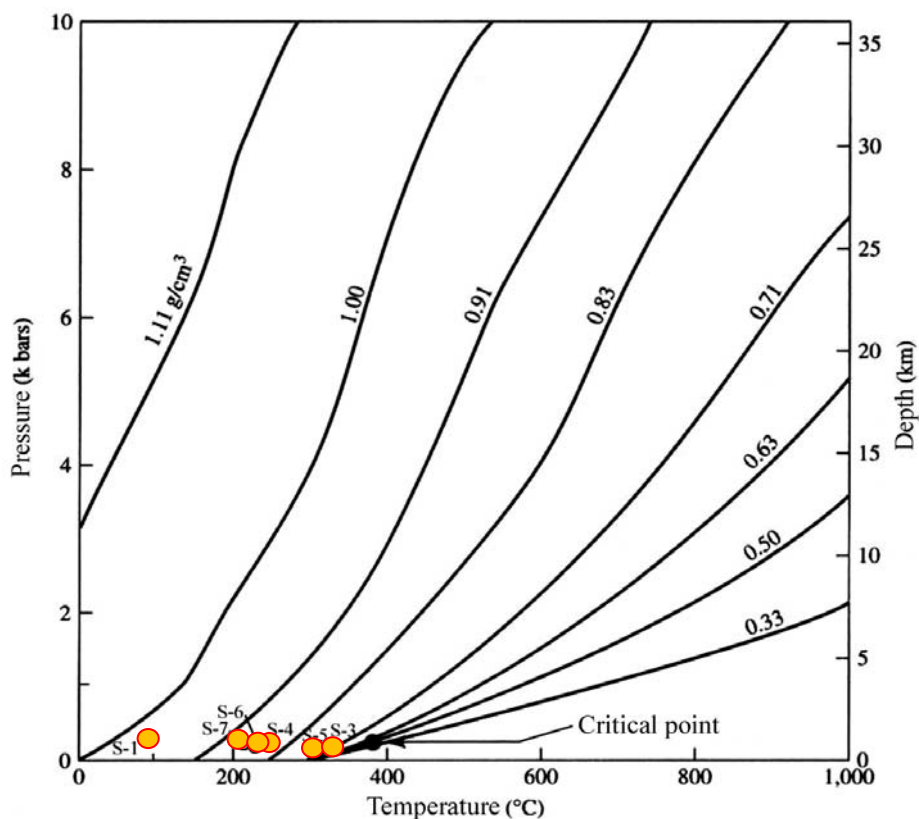


**Figure 5.** Changes in density and gas pressure of the liquid water (Verhoogen et al., 1974; Tasev, 2003)

Also, we would like to stress out that at high pressures the supercritical fluid have density similar to the liquid water at the Earth's surface (1 g/cm<sup>3</sup>) while at low pressures and high temperatures density significantly differs from 1 g/cm<sup>3</sup>.

Low densities resulted in low solubility of ion materials leading to relatively low mineralizing capacity of the ore bearing solution (Roedder, 1984). In direct correlation to the data above was plotted diagram relating temperatures, pressures and depths (Figure 6).

As can be seen from the diagram, below, the paleodepths of mineralization (during the capture of fluid inclusions; Roedder, 1984) ranged between 1.0 and 1.5 km (Figure 6), which is largely consistent with the depths above 1 km in data given by Blečić (1983) and indicating that the deposit was generated at sub-volcanic levels and under strong influence of lithostatic and explosive pressures.



**Figure 6.** Density changes of supercritical fluid as a function of pressure and temperature (Best, 2002; Tasev, 2003).

Additionally, the spatial coexistence of types I-1 and I-2 fluid inclusions within the same assemblage, also suggest that both fluids may have been present during the precipitation of the ore related quartz within the timeframe of the Pb–Zn mineralizing episode.

## CONCLUSION

The lead-zinc deposit Zletovo is a very characteristic representative of the vein type sub-volcanic hydrothermal deposits related to the Tertiary volcanic complex of the famous Kratovo-Zletovo volcanic area.

Selected quartz where has been identified and measured fluid inclusions originate from the main ore parageneses where prevailed galena and sphalerite followed by pyrite, chalcopyrite, calcite, kaolinite etc.

Homogenization temperatures were within the range 335÷145°C and they reflect phases of pulsation of hydrothermal solutions that have been defined into four separate and consecutive groups from the highest temperature down to the lowest temperatures ones.

Also, it was confirmed that the hydrothermal ore-bearing solution were of NaCl-type where

the salinity ranged 4.4÷8.6 %wt NaCl equiv. Density or fulfillment of fluid inclusions with liquid phase was within the range from 0.7 up to 0.95 g/cm<sup>3</sup>. Calculated pressures and palodepths of mineralization probably were within the range 200÷250 bar and 1.0÷1.5 km respectively.

The latest data obtained with study of fluid inclusions within the quartz from ore veins from the Zletovo Mine are quite similar to the data presented in Blečić (1983) with certain differences in concentration of NaCl (10-25 %wt NaCl equiv.), which is probably due to analysis of fluid inclusions from cleophane varieties of sphalerite and barites in former studies.

## REFERENCES

- Best, G. M., 2002. *Igneous and Metamorphic Petrology*. 2<sup>nd</sup> Edition, Wiley-Blackwell, 752 p.
- Блечић, Н., 1983: Извори рудних компоненти хидротермалних лежишта (упоредна анализа генетских модела на примеру рудног лежишта Злетово). Докторска дисертација, Београд.

- Brownlow, H. A., 1996: *Geochemistry*. 2<sup>nd</sup> Edition. Prentice Hall, Inc., U.S.A., 580 p.
- Ефремов, И., 1993: Металогенија на Кратовско-Злетовската вулканска област. Докторска дисертација. Рударско-геолошки факултет, Штип, 286 стр.
- Mudrinic C, Petkovic M (1982) Geohemijska ispitivanja. "Regionalna i detaljna metalogenetska istrazivanja rudnog polja Zletovo". RGF-Beograd, 125-165
- Mudrinic, C, Serafimovski T (1991) Geochemical and geochronological examinations by isotopes in Zletovo ore field. *Geologica Macedonica*, T 5, Nr.1, 105-120.
- Li, Y.-J., Wei, J.-H., Chen, H.-Y., Tan, J., Fu, L.-B. and Wu, G., 2011. Origin of the Maodian Pb–Zn–Mo deposit, eastern Cathaysia Block, China: geological, geochronological, geochemical, and Sr–Nd–Pb–S isotopic constraints. *Mineralium Deposita*, Published Online (Miner Deposita DOI 10.1007/s00126-011-0389-9)
- Ohmoto, H., Rye, R. O., 1979: Isotopes of sulphur and carbon. In: Barnes, H. L. (ed) *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2<sup>nd</sup> edn. John Wiley and Sons, New York, pp. 509-567.
- Ohmoto, H., 1986: Stable isotope geochemistry of ore deposits: In Valley, J. W. Taylor, H.P. Ir., O'Neil, J. R. (eds) *Stable isotope in high temperature geological processes*. *Rev. Mineralogy* 16: 491-559.
- Petković, M., 1982: Regionalna i detalna metalogenetska istrazivanja rudnog polja Zletovo, RGF-Beograd, Beograd.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Reviews in mineralogy*, 12, Mineralogical Society of America, pp. 644.
- Rye, R., Hall, W., Ohmoto, H., 1974: Carbon, Hydrogen, Oxygen and Sulphur isotope Study of the Lead-Silver-Zinc Deposit, Southern California. *Econ. Geol.*, 69, pp. 468-481.
- Serafimovski, T., 1990. Metallogeny of the Lece-Halkidiki zone. Doctoral thesis, Faculty of Mining and Geology, Stip, 390 p (in Macedonian)
- Serafimovski, T., 1993: Structural-metallogenetic features of the Lece-Chalkidiki zone: Types of deposits and zonation. Faculty of Mining and Geology-Stip, Special issue No. 2, 235 p.(in Macedonian)
- Serafimovski, T. and Aleksandrov, M., 1995. Lead-zinc deposits and occurrences in the Republic of Macedonia. Faculty of Mining and Geology, Stip, Special Issue no 4, 387 p (in Macedonian)
- Serafimovski, T., Lazarov, P., and Tasev G., 2005: Sulfosalt mineral compositions from the № 10 vein, Zletovo lead-zinc deposit, Macedonia. *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge, Ed. Jingwen Mao and Frank P. Bierlein*. 8<sup>th</sup> SGA Biennial Meeting, Beijing, China, pp. 461-464.
- Serafimovski, T., Dolenc, T., and Tasev, G. (2006): New data concerning the major ore minerals and sulphosalts from the Pb-Zn Zletovo Mine, Macedonia. *RMZ-mater. geoviron.*, 2005, vol. 52, no. 3, p.535-548.
- Serafimovski T, Tasev G (2003) The Zletovo Subvolcanic Hydrothermal Pb-Zn Mineral Deposit in the Republic of Macedonia. *Geodynamics and Ore Deposit Evolution of the Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride Province*. Final GEODE-ABCD Workshop. Programme and Abstracts. Seggauberg, Austria, 22-24 March, 2003, 50-51.
- Shelton, K.L., and Rye, D.M., 1982: Sulfur isotopic compositions of ores from Mines Gaspé, Quebec: an example of sulfate– sulfide isotopic disequilibria in ore-forming fluids with applications to other porphyry-type deposits. *Econ. Geol.* 77, 1688– 1709.
- Tasev G (2003) Polymetallic mineralizations related to the Tertiary magmatism in the Republic of Macedonia. Faculty of Mining and Geology, Stip. Masters thesis, 176 p. (in Macedonian)
- Torresi, I., Xavier, R. P., Bortholoto, F. A. D. and Monteiro, V. S. L., 2012. Hydrothermal alteration, fluid inclusions and stable isotope systematics of the Alvo 118 iron oxide-copper-gold deposit, Carajás Mineral Province (Brazil): Implications for ore genesis. *Mineralium Deposita*, Vol. 47, No. 3, pp 299–323 (DOI 10.1007/ s00126 -011-0373-4)
- Verhoogen, J., Turner, F.J., Weiss, L.E., Wahrhaftig, K., Fyfe, W.S., 1974. *The Earth. An Introduction to Physical Geology*, vol. 1. Mir, Moscow. 392 pp

# THE POTENTIAL OF THE NONMETALLIC MINERAL RESOURCES IN THE REPUBLIC OF MACEDONIA

Orce Spasovski<sup>1</sup>, Daniel Spasovski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*University Goce Delcev – Stip, Faculty for natural and technical sciences, Institute for geology,  
orce.spasovski@ugd.edu.mk, daniel.131104@student.ugd.edu.mk*

## Abstract

In this paper, an attempt has been made to briefly present the potential of the nonmetallic mineral resources in the Republic of Macedonia. A presentation of the condition of the nonmetallic mineral resources is done with a compilation approach, and the given data are result of the various types of geological research, done continuously during a long period of time. A special attention will be paid to the economical significant locations, and for some of them there will be a suggestion of perspective areas for further research.

The nonmetallic mineral resources are mostly located in the range of the Pelagonian massif (locations and presence of feldspars, micas, marbles, marble onyx, dysten, staurolites, granites, syenites, diatomaceous earth, etc.) but there are also many other locations which are not equally located and other geotectonic units, like bentonite, secondary quartzite, native sulfur, opalites, etc., (Serbian-Macedonian massif), then the talc, marl, travertine, etc., (Vardar area), plaster, marbles, etc., (Western Macedonian area).

**Key words:** nonmetallic mineral resources, Republic of Macedonia, Quantity, Type of resource, potential, perspective areas,

## INTRODUCTION

It is well known that the area, the territory which belongs to the Republic of Macedonia and its immediate surrounding is geologically more complex and interesting. It is an area through which a few large geotectonic units pass (Vardar area, Serbian-Macedonian mass, Pelagonian massif, Serbian-Macedonian mass, etc.) which are characterized with their own lithostratigraphic, structural, geotectonic and metalogenetic regime, which basically contribute to the fact that these large individual units can be defined as separate metalogenetic units (Figure 1). In these areas there are often instances of crossing of numerous linear fault structures of different degrees with different intensities, as well as an evidence of great number of different in time magmatic and mineralizing process. All this leads to the creation of various mineral resources located in various structural, magmatic and lithological environments.

The nonmetallic mineral resources are mostly located within the Pelagonian massif (locations and presence of feldspars, micas,

marbles, marble onyx, dysten, staurolites, granites, syenites, diatomaceous earth, etc.) but there are also other locations which are not equally located and other geotectonic units, like bentonite, secondary quartzite, native sulfur, opalites, etc., (Serbian-Macedonian massif), then the talc, marl, travertine, etc., (Vardar area), plaster, marbels, etc., (Western Macedonian area).

## A REVIEW OF THE MINERAL-RESOURCE POTENTIAL

With all research and observations done so far on the territory of R. of Macedonia, numerous locations, phenomena and potential locations have been determined for further research and observations of the nonmetallic resources, which fundamentally represent the mineral-resource potential of our country (Figure 2).

In order to get a more complete insight of the nonmetallic mineral resources, their potential and location, in the further review we will focus on the more significant locations.



**Figure 1.** Geotectonic regions in R. Macedonia (Arsovski 1997)

I Cukali – Krasta zone; II – Western Macedonian zone; III - Pelagonian massif; IV - Vardar zone; V – Serbian-Macedonian massif VI – Kraistide zone



**Figure 2.** Presented draft review of Macedonia with geotectonic units and ore mineralizations and occurrences non-ferrous mineral resources

*Feldspar resources* (1. Hamzli, 2. Ravna Niva); *Bentonite and plaster for rough ceramics* (3-Ginovci and Rankovci, 4-Elata-Pehcevo, 5-GornaBrca, Rakovec, Para Niva, 6-Progun-Negotino); *Silica resources* (7-CrnVrv, 8-Sinkovica, 9-Lakavica, 10-Markova Reka); *Diatomaceous earth* (11-Manastir – Mariovo); *Dysten* (12-Prilepec); *Magnesium* (13-Pcinja); *Talc*(14-Izvor – Veles); *Pumice* (15-Vitacevo); *Opal breccia* (16-Spacevo), *Basalt* (17-EzevoBrdo, 18-MladoNagoricani); *Cement marl* (19-Ulje); *Native sulfur* (20-Plesencin); *Asbestos* (21-Bogoslovec); *Plaster* (22-Debar); *Barytes* (23-Nezilovo); *Dolomite* (24-Sivec); *Marble* (15-Sivec, 26-Cer, 27-Gostivar, 28-Lojane, 29-Mavrovo, 30-Blace-Tetovo); *Travertine*(31-Lipkovo, 32-Matka, 33-Svilare, 34-Kuckovo, 35-Beciste, 36-Velmej-Ohrid); *Green breccias* (37-Vevcani); *Syenites*(38-DolnoDupeni).

## THE NON-FERROUS MINERAL RESOURCES

There many different types of non-ferrous mineral resources on the territory on the Republic of Macedonia which have great influence on the industrial development of our country. Due to the many intensive geological research, especially done in the second half of the last century, there are more than 50 mining plants operating today in Macedonia, which exploit various types of non-ferrous mineral resources, which find their most different application in the civil engineering, chemical, glass, porcelain and ceramic industry, also in the refractory, in the industry for dyes and lacquers, etc.

Compared to the metallic mineral resources, this type of resources significant advantages which provide fast research and activation of mining capacities, and at the same time these are resources that are in abundance and have significant perspectives. Another great advantage in the process of research and the use of the non-ferrous mineral resources is that they are found on the surface itself or in the immediate surroundings so the exploitation does not cause additional costs which will further influence the price of the final product. All these parameters have naturally contributed the use of the nonmetallic mineral resources to be intensified and their complex valorization to be planned.

The Republic of Macedonia has various types of non-ferrous mineral resources, some of which are very rare on the Balkans and in the region (Na feldspars, pumice, pumicite, crystal plaster, asbestos, etc.) but the fact still remains that this natural potential is not used in proper extent. Furthermore, there are also instances where instead of opening new plants, the existing ones are closed (like the examples in the plants which produce resources for the glass and the ceramics industry). In order to get a more concrete review of the potential in R. Macedonia in the field of non-ferrous mineral resources in the table that follows, (Table 1) the quantity characteristics are presented of some traditional mineral resources within our more significant locations, especially the locations where the reserves of the mineral resources are already determined. In the table the locations are not given and the phenomena of decorative stone because a special review will be done separately.

**Table 1.** *Quantity characteristics of the traditional non-ferrous mineral resources in the Republic of Macedonia.*

Type of resource	Location	Quantity (t)
Na - feldspar	Ograzden	3 500 000
K -feldspar	Ravna Reka	500 000
Illite clays	Pehcevo	8 200 000
Quartz sediments	Markova Reka	1 900 000
Metamorphic quartz	Sinkovica	2 900 000
Dolomite	Sivec	2 500 000
Diatomaceous earth	Manastir Mariovo, Vesje, Negotino	550 000
Dysten	Prilepec	760 000
Magnezite	Peinja	145 000
Bentonite plaster	Rankovci, Ginovci	18 000 000
Talc	Izvor - Veles	1 040 000
Pyrophyllite	Babino – DemirHisar	970 000
Opal breccia	Opalit - Spancevo	3 500 000
Secondary quartzite	Crn Vrv - Kratovo	4 000 000
Quartz	Lakavica	10 000 000
Cement marl	Usje - Skopje	72 000 000
Plaster	Debar	1 700 000
Native sulfur	Plesenci - Probitip	800 000
Parlite	Gradesnica - Bitola	1 180 000
Pumice (m <sup>3</sup> )	Vitacevo	200 000
Asbestos	Bogoslovec	750 000

From the presented table 1 it can be noticed that with the detailed research and with the exploitation (in most parts) more than twenty different types of nonmetallic mineral resources are determined with quite large quantities of mining reserves. But one part of some very significant resources in the line of the alunites, borates, volcanic glass, granites, corundum, micas, zeolites, etc., are slightly treated only because of the low level of research. The received data so far point to the fact that there are perspectives to find greater quantities of these mineral resources.

From this Table 1 it can be stated that in Macedonia there are significant quantities of feldspars (Na and K). The Na-feldspars (even though very rare) can prospectively be researched in the surroundings of the location Hamzali, while the K-Feldspars have wider perspective, not just in the pegmatic locations of the Pelagonian massif but also in other intrusive and volcano rocks which have high quantity of K-feldspars.

Apart from the large quantities of bentonite and illite clays, on the territory of R. of Macedonia there can also be found certain quantities of kaolinite clays, especially in the areas with more intensive volcanic activity, but for now the level of research is very low.

In the domain of plaster resources, it should be noted that apart from the crystal plasters, in the area of debar and its immediate surroundings, significant quantities of alabaster have been determined and there is also a possibility to determine large quantities of anhydrite.

From the nonmetallic resources which are related to the volcanic areas, apart from the opalite, opal breccias, perlite, also the hydrothermally changed volcanic tuffs in Strmos are also worth mentioning, then the secondary quartzite in CrnVrv represent a relatively rare resource in the world. From these secondary quartzite – silex, many silex balls and silex segments are produced for inlaying mills.

Apart from the mentioned nonmetallic mineral resources, the R. of Macedonia has also a great potential for resources of decorative stone. The tradition to use and exploit decorative stone in these areas is from ancient times, which is proved by the archeological remains and cultural sights. Based on this, and also due to the continuing geological researches in Macedonia today there are many large plants for exploitation of decorative stone. We can mention the Mermerenkombinat – Prilep, the travertine in Lipkovo and Tetovo, Granites and gneiss in Prilep, roof shales in Veles, etc.

In the following table (Table 2) the quantity characteristics of some significant locations of decorative stone in our country have been presented.

From the presented table 2 it can be noted that R. Macedonia is in possession of large quantities of, primarily marbles, as we mentioned the large mining capacities, then the travertine, which are also exploited, then the merble onyx, granite, sienite, and lately the focus is on the andesites and the volcanic breccia, which proved good quality.

Apart from the mentioned locations, there are also many other locations on the territory on the R. of Macedonia which can have decorative stone and which can produce commercial blocks, but the level of their research is still very low. But this review can present the fact that Macedonia is rich in decorative stone but it's not yet valorized and commercialized. There are many problems that are concerned with this, especially the bad design should be pointed of the produced objects in our plants.



**Table 2.** *Quantity characteristics of the decorative stone in R.Macedonia*

Type of resource	Location	Quantity (m <sup>3</sup> )
Marble	Sivec - Prilep	280 000
Marble	Debrešte	34 000
Marble	Markov Stap	54 000
Marble	Kozjak	40 000
Marble	Vuksan	376 000
Marble	Lojane	3 800 000
Marble	Gaber	56 000
Marble	Cer - Kicevo	716 000
Marble	Plandiste - Gostivar	302 000
Marble	Radovo - DemirHisar	240 000
Marble	Blace - Tetovo	25 000
Marble	Mavrovo	13 000
Travertine	Svilari	1 000 000
Travertine	Matka	600 000
Travertine	Lipkovo	40 000
Travertine	Kuckovo	13 000
Travertine	Velmej – Ohrid	2 900 000
Onyx	Manastir	18 000
Onyx	Beciste - Mavrovo	1 600 000
Granite	Kukup	170 000
Granite	Teovo	80 000
Gneiss	Drenovci	318 000
Andesite	Ketenovo - Kratovo	8 000
Sienite	DolnoDupeni	300 000
Green breccia	Vevcani - Struga	60 000

From the nonmetallic mineral resources which Macedonia has at its possession, the half-precious stones should also be mentioned, which, at this point, are only in the line of the potential. We can mentioned corundum (Sivec), jasper (Rzanovo), Opal (Stracin, Bajlovci, Spancevo), precious serpentine (Lojane), Amazonite (Mariovo) etc.

## CONCLUSION

From the stated it can be concluded that the areas where Macedonia is as a territory are high in potential of various different nonmetallic mineral resources. This is probably due to the complexity of these areas from stratigraphic, structural and metalogenetic aspect. Namely, there is one group of mineral resources which are related only to the old (paleozoic) complexes, and

another one related to mostly volcanic complexes while the third one is about the resources related to the young sediment fields. According to this, the diversity of the geological and the structural content of the areas produce various types of natural mineral resources.

It should be stated also that in R. of Macedonia as potential resources should primarily be noted the marble, travertine and the onyx, the silica resources, the clay and the feldspars.

## REFERENCES

- Arsovski, M., (1997):** The tectonics of Macedonia. Faculty of Mining and Geology - Stip. Page 300.
- Днековски, Г., Петровски, К., Мицевски, Е., Александров, М., (1990):** Постигнати резултати и актуелни проблеми на геолошките истражувања во Социјалистичка Република Македонија. XII конгрес на геолозите на Југославија. Кн. IV, 14-21, Охрид.
- Иванов, Т., (1983):** Минерално суровинска база на СР Македонија. Округла маса, Леуново.
- Паскелев, В., (1989):** Приоритетни задачи во технолошкиот развој за оптимална валоризација на архитектонско – градежниот камен во СР Македонија. Зборник на трудови, Тркалезна маса, 55 – 56, Скопје.
- Спасовски, О., (2009):** Елаборат за извршени детални геолошки истражувања на мермер на локалитетот Беловодица – Прилеп. Стр. Фонд на Ларин Мрамор Компани АД Скопје. Стр. 65.
- Спасовски, О., и др. (2011):** Елаборат за извршени детални геолошки истражувања на травертин и оникс на локалитетот Гулабова Пештера с. Бечиште – Прилеп. Стр. Фонд на Арини Фешн ДООЕЛ увоз извоз Прилеп. Стр. 67.
- Спасовски, О., (2009):** Елаборат за извршени детални геолошки истражувања на мермер на локалитетот Тумба с. Беловодица – Прилеп. Стр. Фонд на Ларин Мрамор Компани АД Скопје. Стр. 84.
- Ракиќ, С., Петровски, К., (1989):** Неметалични минерални суровини во СР Македонија. Зборник на трудови, Тркалезна маса, 67 – 107, Скопје.
- Чифлиганец, В., Богоевски, К., (1990):** Основни карактеристики и проблеми на минерално – суровинската база во Југославија и правци во понатамошниот развој. XII конгрес на геолозите на Југославија. Кн. IV, 22-31, Охрид.

# ПЕРСПЕКТИВНИ ГЕОЛОШКИ ФОРМАЦИИ КАКО НОСИТЕЛИ НА СИЛИЦИСКИ СУРОВИНИ ВО РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА

Крсто Блажев<sup>1</sup>, Андреј Блажев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Факултет за природни и технички науки, Универзитет "Гоце Делчев"-ШТИП; [krsto.blazev@ugd.edu.mk](mailto:krsto.blazev@ugd.edu.mk)

<sup>2</sup>"Неметали" АД – Чешиново

## Апстракт

Согласно спроведените регионални и детални истражувања и проучувања на силициските суровини на територијата на Република Македонија и нивната компаративност во пошироки рамки со истите во Европа и Светот, во Република Македонија се издвоени вкупно 4 геолошки формации, носители на силициски суровини: Пребајкалски формации, Каледонско-Херцински формации, Алпски формации и Квартерни формации. Како најстара Пребајкалската формација ги вклучува, главно, силициските суровини поврзани за кристалинот на Пелагонскиот масив, односно најголем дел поврзани за пегматитските жици. Каледонско-Херцинската формација е поврзана, главно, за лабилните рифтогени зони во Западно-Македонската зона (базични вулканити, спилити, дијабази и др.), како и сродните литолошки членови во Вардарската Зона. Овде треба да се посочи уште и формацијата на палингените гранити во Источна Македонија која носи интересни локалности со силициски суровини. Во Алпската формација главните концентрации на силициски суровини се поврзани со продуктивната вулканогено-седиментна дацитско-андезитска формација, а во најмладата Квартерна формација доминираат делувилално-алувијалните седименти.

**Клучни зборови:** формации, силициски суровини, потенцијалност, минерагенија

## ВОВЕД

Пронаоѓањето и освојувањето на новите лежишта можно е да се реализира само по пат на усмерени и систематски истражувања врз основа на минерагенетските и прогнозни проучувања на сложената геолошка градба на нашата територија. Основната цел на прогнозните проучувања е издвојувањето на формации и комплекси на карпи или крупни тектонски единици кои би биле перспективни за пронаоѓање на новилежишта на минерални суровини. Прогнозните проучувања денес претставуваат неопходен стадиум во геолошките истражни работи кои се предвидуваат и ја насочуваат проспекцијата.

Прогнозирањето на лежиштата на силициските суровини во денешни современи услови методолошки мора да биде како и кај другите врсти на минерални суровини што поефикасно односно оптимализирано во однос на геолошко – економската информација која во дадените природни услови може да се добие.

Издвојувањето на геолошко перспективните формации претставува прва етапа во која се врши издвојување и оценка на

перспективните површини во поглед на можното пронаоѓање на економски концентрации на силициски суровини.

Од досегашните сознанија при изработката на овој труд за издвојувањето на перспективните геолошки формации на силициски суровини покрај познатите геолошки, литофацијални и структурни карактеристики особено треба да се има во вид генетската припадност на одредена група или подгрупа и законитостите при просторното разместување на лежиштата и појавите на овие суровини (Блажев, 1991).

Генетските типови на лежишта, нивното просторно разместување, како и петрографските вариетети на силициските суровини кои се напред разработени претставуваат основа за издвојување на формациите, односно нивната припадност кон генетските типови на лежиштата врзани за одредени формации за кои на основа на досегашните сознанија и пракса може да се смета дека ќе има економско значење односно позитивна геолошко – економска оценка. Исто така просторното разместување на лежиштата и појавите на

силициските суровини на територијата на Македонија се одликуваат со низа законитости кои во голема мерка се веќе познати од досегашните сознанија и искуства.

Овие законитости придонесоа при издвојувањето на перспективните рудоносни и рудни формации на силициски суровини, нивната формационо-минерагенетска анализа и изработка на прогнозна карта.

Прогнозната карта на одредени рудни реони односно формационо минерагенетски зони би претставувале најсигурна научна основа за усмерување на понатамошните проспекциско-истражни работи.

Базирајќи се на вкупните досегашни сознанија и искуства, а познавајќи ги геолошките predisпозиции на територијата на Македонија може да се констатира дека нашата Република располага со значајни перспективни геолошки формации за пронаоѓање на нови лежишта на силициски суровини. Во добар дел тоа се веќе познатите формации кои се носители на силициски суровини, но не се земени во предвид на целата територија на Републиката или се третирали само во одредени нивоа на тие формации.

Врз основа на сето изнесено можат да се издвојат следните перспективни геолошки формации: (Прилог 1, Прогнозна карта на силициски суровини на Македонија).

## **ПРЕБАЈКАЛСКИ ФОРМАЦИИ**

### *Формација на гнајсеви и амфиболити со лежишта на пегматити*

Оваа формација е изградена од дволискунски гнајсеви, амфиболски гнајсеви, амфиболити и амфиболски шкрилци. Најзастапени се во Пелагонскиот масив, Српско-Македонската маса како и помали изолирани крпи во Вардарската зона. Во овие крпи обично во близината на гранитните пробои се среќаваат голем број на пегматитски и кварцни жици.

Поголемите пегматитски кварцни жици и лежишта во Пелагонскиот масив се веќе опишани (Белуче, Орехово, Орешје) како и многубројните појави, околината на Витолиште, Рамна Нива, Дуње, Кокре, Мукос, Дреновци, Ореов Дол, Мартолци, Капиново, Живово, на Бабуна и др. на кои треба да се обрати посебно внимание за нивно подетално истражување. Кај пегматитските кварцни жици на местата каде што се појавуваат комори и гнезда може да се очекуваат и пиезооптички кварцни кристали иако досега се сосема ретко познати.

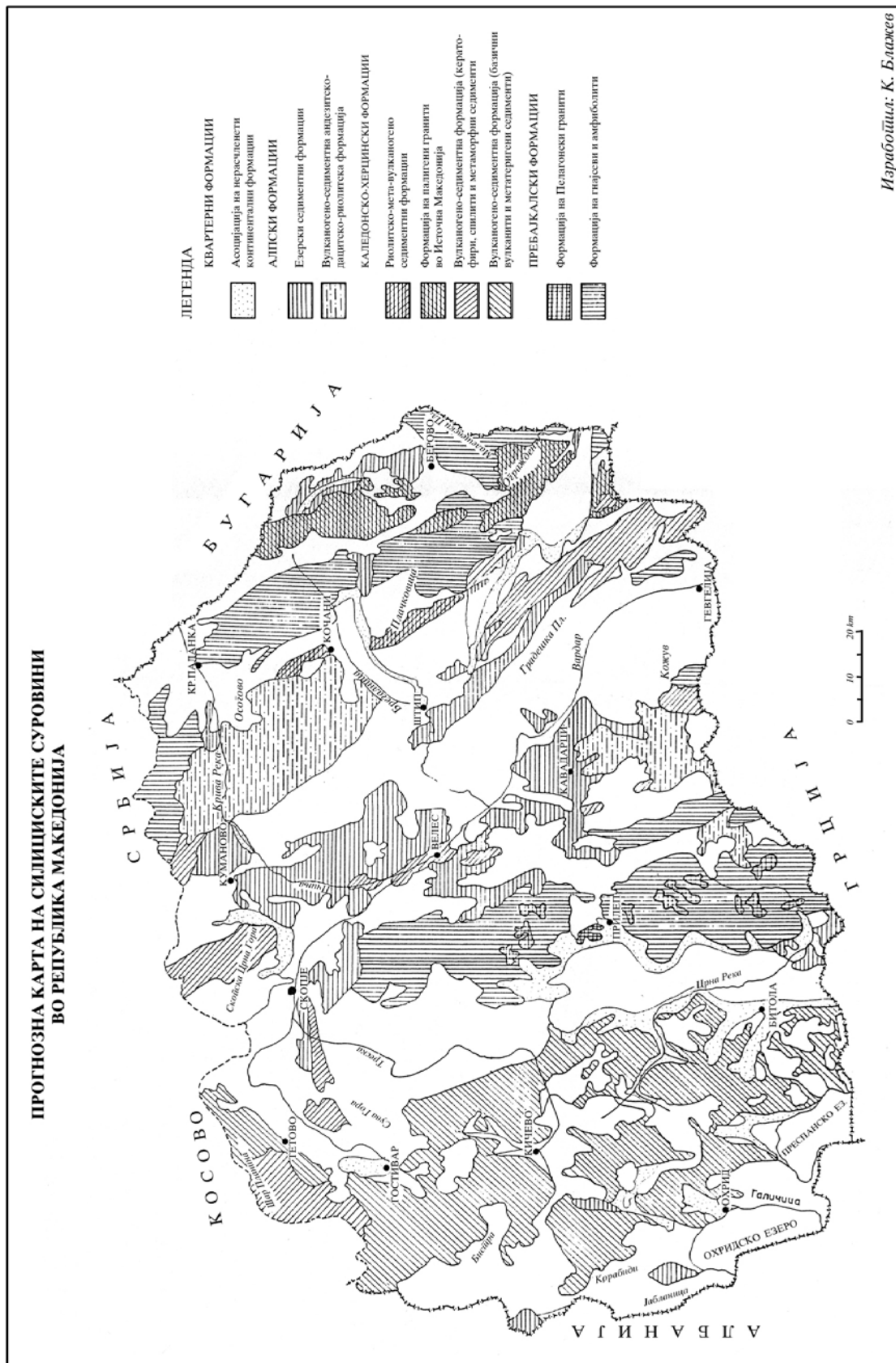
Големината на пегматитските жици може да се пратат по должина од 50-150 m, со варијабилна моќност од 2-10m. Во нивниот состав влегуваат кварц, микроклин, албит и мусковит.

Во однос на перспективноста на овие формации за пронаоѓање на нови кварцни лежишта посебно треба да се потенцираат леукократните гранити во кои се јавуваат во диференцираните пегматитски тела особено во нивните кровински делови. Во овие формации хидротермалните лежишта ги опфаќаат кварцните жици и сочива како и поголемите минерализирани пукотини.

Во таа смисла може да се очекуваат во разните вариетети на гнајсевите каде што се чести појавите на пегматоиди или пак во стените кои се обогатени со слободна силиција каде што покажуваат јасна врска со гранитоидните магматски формации.

Кварцните жици и сочива се со различна големина од 20-200 m по должина, а во широчина од 2-30 m. Вакви лежишта може да се очекуваат во гнајсно-микашистната серија на Пелагонскиот масив на Селечка планина, Бабуна, Рудина, Мукос, Кајмакчалан и др., како и во Српско-Македонскиот масив на Осогово, Плачковица, Козјак, Руен, Малешевијата, Огражден и др.

Кварцитите се среќаваат во метаморфитите како прослојки секогаш по фолијацијата, но економски се сосема безначајни и без перспектива.



Изработила: К. Блажев

Слика 1. Прогнозна карта на силицките сировини во Република Македонија

### *Формација на Пелагониските палигени гранити*

Оваа формација е претставена со голем број на крупни гранитоидни маси и мали тела од гранодиоритски состав, концентрирани во најголем дел вдольоската на Пелагонискиот хорст-антиклинориум кој ги пробиваат Прекамбриските карпи. Тие се распространети по масивите на Бабуна, Кајмакчалан, Ннце, Мукос и Селечка планина.

Во овие гранити се наоѓаат многубројни кварцни жици со моќност од 2-10 m и со должина не повеќе од 100 m. Кварцот во овие жици и жили е од посебен квалитет со млечно бела до слабо розе боја и со ретки луски на мусковит и зрна на фелдспати. За пронаоѓање на нови кварцни лежишта треба да се очекуваат перспективните подрачја во ендоконтатните и егзоконтатните ореоли на погоре наведените гранитоидни масиви од било која старост.

### **КАЛЕДОНСКО-ХЕРЦИНСКИ ФОРМАЦИИ**

*Вулканогено-седиментна формација (базични вулканити, спилити, дијабази, кератофири) и метатеригено-седиментна формација*

Оваа формација има исклучително значење како носител на лежишта на кварцити, а исто така и како мошне перспективна формација за пронаоѓање на нови лежишта. Најголема застапеност има на планинските масиви на Западна Македонија (Шар Планина, Стогово, Бистра, Јабланица, Караорман, Славеј и Дрен Планина).

Во градбата на оваа формација јасно се разликуваат два дела: долен и горен. Долниот дел ја претставува вулканогено седиментната формација претставена со комплекс на зелени карпи, хлоритско-актинолитски и хлоритски шкрилци, базични вулканити поврзани со субмарински излив на базична магма кои се среќаваат во вид на дијабази, спилити и кератофири интерстратификувани во филитоидните стени и претставува типична спилит-кератофирова формација. Во овој

долен дел на оваа формација не се среќаваат значајни концентрации на кварцити, односно, нема перспективно значење.

Горниот дел на ова формација е претставен со метатеригено-седиментен комплекс изграден од филитоидни карпи, филити, кварц-серицитски шкрилци и метапесочници меѓу кои се среќаваат хоризонти од метакварцити и кварцити. На некои места оваа формација е прекриена со раноалпски седименти.

Од особено значење претставува горниот дел од оваа формација и како носител на веќе познати лежишта на кварцити, а и како перспективна зона за пронаоѓање на нови лежишта. Посебно треба да се обрне внимание за истражување на нееродираните и покриени делови на оваа формација со раноалпски седименти бидејќи претставува перспективно подрачје во кои можат да се очекуваат значајни концентрации на кварцитни маси, низ целото распространување на оваа формација на терените на Западна Македонија.

Завршниот дел на оваа формација е претставен со карбонатни стени во кои не се среќава присуство на кварцити и нема перспективно значење.

Кварцитите во оваа формација се јавуваат внатре во филитоидите во вид на големи маси, плочести, банковити, тракасти или сочивасти. По боја се жолтеникави сиви до темносиви ситнозрнести составени од кварц како главен минерал а како споредни се среќаваат циркон, турмалин, магнетит и лимонит. По должина можат да се пратат од 70-4000 m а по ширина од 5-50 m. Односот со околните стени им е постепен. Перспективно треба да се очекуваат на планинските терени на Шар Планина, Бистра, Плакенска Планина, Стогово, Јабланица и др.

*Вулканогено-седиментна формација (кератофирско-спилитски вулканити и метатеригени седименти) во Вардарска зона*

Оваа формација во основа ги содржи карактеристиките на претходно опишаната, но издвоена е како посебна формација поради својата географска припадност. Во најголем дел е развиена во Вардарската зона почнувајќи од Скопска Црна Гора

преку Куманово, Велес, Кавадарци па се до Македонско-Грчката граница. Изградена е главно од метаморфни карпи кои лежат во средишниот дел на Вардарската зона и се издвоени како "Велешка серија".

Всушност преставува вулканогено седиментна Формација во Вардарската зона аналогна на вулканогено седиментната формација на Западна Македонија. Во оваа Формација се разликуваат исто така два дела и тоа долен и горен дел.

Долниот дел од оваа формација е претставен со амфиболити и амфиболски шкрилци. Во овие карпи во вид на интерстратифицирани маси се наоѓаат кератофирско-спилитски вулканити, риолити и кварцпорфири. Овој дел на оваа Формација е без присуство на кварцити.

Горниот дел од оваа Формација како и кај аналогната формација во Западно-Македонската зона е значаен носител на лежишта на кварцити, а исто така исклучително перспективен особено во подрачјата кои досега детално не се истражувани. Изграден е од скоро истите карпи од претходната формација и тоа филитоидни карпи, филити, кварцно-серицитски шкрилци, аргилошисти, метапесочници, мермери и кварцити кои што веќе детално се опишани.

Кварцитите се јавуваат во вид на леќи, големи маси и слоеви во шкрилците од "Велешката серија" кои по должина се пратат од 5, 10 па и повеќе km.

Перспективно треба да се очекуваат на терените на Скопска Црна Гора потоа околината на Качаник, во помали маси помеѓу Катланово и Велес кај село Чичево и јужно преку Црна Река се до Ржаново. Содржината на  $\text{SiO}_2$  од 90-92%. Главен минерал во кварцитите е кварцот, а серицитот и хлоритот се застапени во помали количини. Во периферните приконтактни делови на оваа Формација шкрилците се тенко плочести и со зголемен процент на серицит, а додека кварцитите кои претставуваат главна маса се масивни со мошне слабо изразена фолијација.

#### *ФормацијанапалингенигранитинаИсточна Македонија*

Гранитоидите на оваа формација се распространети на планинските масиви на Огражден, Беласица како и Голак и Влаина кај Делчево. Претставени се со разновидни

типови на гранитоидни карпи и тоа најчесто дволискунски, биотитски, порфиroidни леуократни гранити, диорити и гранодиорити. Во основа сите овие карпи конкордантно се втиснати во околните прекамбриски метаморфни стени. Овие гранитоидни комплекси се познати како носители на хидротермални кварцни жици (веќе опишаните лежишта Умлена, Рибница и Бигла) меѓутоа исто така претставуваат и перспективни формации за пронаоѓање на нови лежишта на кварц особено терените на Огражден потоа Рибничка Река, Бигла и Луковица.

Меѓутоа на одредени подрачја се запазува генетска специфичност во создавањето на жичните кварцни лежишта односно двостадийност при образувањето. Во првиот стадиум се ствараат хомогени кварцни жици, а во вториот со заемно дејство на хидротермалните раствори од околните карпи од кои покрај примарниот жичен кварц се зема потребната силиција за стварање на крупни пиезооптички кристали на местата кои просторно го овозможуваат овој процес. Такви подрачја во оваа формација се констатирани во Делчевско-Пехчевскиот гранитоиден масив за кој сметаме дека е исклучително перспективен за пронаоѓање на нови лежишта како на жичен кварц така и на пиезооптички кристали.

#### *Риолитско-метавулканогено-седиментна формација војугоисточниот дел на Вардарската зона*

Оваа формација ја изградуваат филитоидни карпи, филити, кварцграфитични шкрилци, серицитско-хлоритски шкрилци, метапесочници, кварцни метапесочници и кварцити, како и метакварц-порфири (риолити) кои на различни нивоа ги пробиваат филитоидните карпи.

Овие карпи се развиени на просторот од с.Нивичани, Синковица, Раткова Скала, с.Ратевница до Злетовска река. Носители се на познатите лежишта на кварцити Раткова Скала, Рамен Камен и метапесочниците Пржани. Во оваа формација треба да се очекуваат перспективни лежишта на кварцити особено на локалитетите Нивичанска река, Бел Камен, Плочи, Ратковица, Орлов Камен и др.

Кварцитите и кварцните песочници се изразити литолошки членови во оваа серија. Од околните шкрилци се разликуваат со компактоста и масивниот изглед, со исклучок на песочниците, кои се повеќе слоевити. Бојата им е сива до темно сива. Песочниците се карактеризираат со големо присуство на кварц до 91%. Поретко се јавува лискун и фелдспат. Покрај овие постојат и песочници од типот субгравакн и субаркози, составени од кварц, лискун и фелдспат.

Кварцитите кои најчесто стрчат во рељефот, главно, се ситнозрнести, поретко среднозрнести, каде како главна и единствена состојка се јавува кварцот (95%) во вид на издолжени монокристали. Ретко се среќаваат фелдспати, додека лискуните се присутни во паралелно ориентирани низовн.

Општа карактеристика на серијата е карпите да се послабо или посилено метаморфисани и примарните седиментн се песокливо-глиновити наслаги. Минералната парагенеза укажува, дека се формирани со регионален метаморфизам во услови на субфацијата, односно фацијата на зелени шкрилц.

## **АЛПСКИ ФОРМАЦИИ**

### *Вулканогено-седиментна андезитско-дацитска формација*

Оваа формација ја изградуваат карпите на терциерно-квартерниот вулканоген комплекс особено перспективна во пошироката околина на Кратовско-Злетовската вулканска област. Се среќаваат повеќе литолошки членови од кои најзастапени се андезитите, дацитите, игнимбритите и вулканските туфови и бречи кои се хидротермално изменети.

Особено значајно за перспективноста на оваа Формација претставуваат хидротермално изменетите карпи со кои се врзани лежиштата на секундарни кварцити. Хидротермалната активност е особено изразена во Кратовско-Злетовската вулканска област. Ги зафаќа сите членови на вулканскиот комплекс а се смета дека е поврзана со помладите тектонски пореметувања. Вдолж поголемите руптури доаѓало до депонирање на силициска маса каде што се формирани опалити и силексн од силно изменетите вулкански туфови и бречи кои

подоцна се тектонски раздробени и накнадно цементирани со силициска маса кон најчесто ги среќаваме во оваа област. Од посебно значење за нас се појавите на секундарни кварцити-силекси. Нивна најголема застапеност се јавува на терените на Црни Врв, Плавица-Златица и Плешанци, и нивната непосредна околина каде што треба да се очекуваат перспективни лежишта на овие суровини (Блажев, 1991; Serafimovski, T. and Rakic, S., 1999). Опалските бречи се застапени на просторот од с.Бељаковце преку Шопско Рудари до с.Спанчево (Стојановиќ, М., 2005).

### *Езерско-седиментни формации*

На територијата на Македонија езерско седментните формации се широко распространети и се издвоени скоро во сите депресии и изолирани басени. За нас од посебно значење претставува грубокластичниот материјал во чии седименти можат да се очекуваат значајни, перспективни концентрации на кварцни суровини. Всушност грубокластичниот материјал претставува најгруб материјал формиран во почетокот на плеистоцен, во времето на конечното пополнување на плиоценските езера.

Овие седименти се составени од парчиња на околните карпи, помешани со песоци и глини, слабоцементирани. Во нивниот состав, кварцот се јавува во вид на облупоци чија процентуална застапеност може да се движи од 10-40%. Нивната дебелина е варијабилна и често пати изнесува преку 40 m. Овие седименти се мошне интересни и од особена важност бидејќи претставуваат носители на значајни лежишта на секундарен кварц.

## **КВАРТЕРНИ ФОРМАЦИИ**

Квартерните формации се исклучително значајни од аспект на носители на лежишта на кварц. Речиси целокупното производство на кварц во Републиката потекнува од кварталните наносни лежишта. Овие формации воедно претставуваат најперспективни потенцијали за пронаоѓање на нови лежишта на кварцни суровини.

Квартерните седименти на територијата на Македонија имаат широко распространување и зафаќаат значителни простори со релативно добра моќност.

Како перепективни можат да се издвојат следните фацијални типови:

- Моренски и флувиоглацијални наслаги. Развиени се на највисоките планински делови и нивната непосредна околина каде што можат да се очекуваат перспективни лежишта. Особено застапени се во областа на Шар Планина, Јакупица, Караџица, Кораб, Дешат, Бистра и Пелистер. Моренскиот материјал ги следи остатоците од некогашните циркови. Од нив кон пониските делови на планините се наоѓаат каменни реки и крупни блокови од овој материјал богати со кварцни фрагменти.

Флувиоглацијалните наслаги настанале со транспортирање на моренскиот материјал во пониските делови на планините и котлините. Тие се изградени од делумно обработени блокови, а меѓупросторите се пополнети со глиновито-песоклив материјал. Моќноста на овие наслаги достига и до 100 m. Составот на моренско-Флувиоглацијалниот материјал го носи обележјето на карпите низ кои минува, а особено перспективни се терените богати со кварцни карпи (гнајсно-микашистната серија на Пелагонот каде што се јавуваат кварцни жици и леќи или палеозојските шкрилци на Западна Македонија богати со кварцити).

- Делувијално-пролувијални наслаги. Овие седименти исто така се доста перспективни како носители на кварцни лежишта. Се јавуваат најчесто на падините на ридиштата и во рабните делови на котлините со различна дебелина и состав. Нивниот состав е доста варијабилен и зависи од составот на теренот од каде што се тие формирани, а секако дека се најинтересни во оние терени кои се изградени од карпи носители на силициски суровини.

Делувијалните наслаги се изградени од необработени парчиња на околните карпи помешани со хумусен материјал, а доста често богати со кварцни фрагменти.

Пролувијалните наслаги настанале со транспортирање на делувијалниот материјал со поројни води во пониските делови на терените. Составени се од слабо сортирани и обработени парчиња на околните стени со прослојки на песоци и глини. Во овие наслаги можат да се сретнат

значителни концентрации на кварцни облупоци од кои што се истражени и доста економски значајни лежишта на кварц. Како перспективни терени се терените со значителна дебелина на овие наслаги. На територијата на Македонија како перспективни се издвоени наслугите во рабните делови на Пелагонскиот масив, Полог, Скопско-Кумановскиот басен, Лакавичкиот грабен, Тиквешкиот басен, Кривопаланечкиот басен, Кочанската котлина, Струмичко-Радовишката котлина и Делчевско-Пехчевскиот басен.

- Алувијални наслаги. Алувионите претставуваат најзначајни перспективни подрачја за пронаоѓање на нови лежишта на кварц на територијата на Македонија. Овие наслаги врзани се за речните долини односно подрачјата на водените токови и нивните тераси. Распространети се на целата територија на Македонија. Настануваат со транспортирање и акумулација на материјалот од кој се составени околните карпи низ кои минуваат водените токови. Одовде и нивниот состав е многу хетероген. Главно се претставени со чакали, песоци и песокливи глини во кои се среќаваат облупоци на кварц со различна големина. Од економски интерес како носители на лежишта особено се перспективни старите тераси или алувионите во близината на автохтоните лежишта на силициски суровини. На територијата на Македонија како најперспективни терени во кои може да се очекуваат економски лежишта на кварцни суровини претставуваат терасите и алувијалните наслаги на реките Пчиња, Треска, Крива Река, Крива Лаковица, Брегалница, Бабуна и Црна (прилог прогнозна карта на силициски суровини на територијата на Македонија).

## **ЗАКЛУЧОК**

Со досегашните истражувања и проучувања е констатирано дека лежиштата на кварц и кварцити на територијата на Република Македонија се откриени во:

Прекамбриските гнајсеви, микашисти и гранити од Пребајкалската формација, каде кварцот се јавува во вид на чисти кварцни жици или заедно со пегматитите.



Забележано е и присуство на кварцити, но економски сосема безначајни.

Палеозојските формации каде што како посебна формација се издвоени лежиштата на кварцити кои се широко распространети. Присутни се како леќи, ленти и слоеви во кварц-серицитските, кварц-хлоритските и други шкрилци.

Во разни старосните гранити каде што кварцот се јавува во хидротермални жици и леќи или во пегматитските жици.

Мезозојските седименти каде што имаме појави на кварцни песочници, но досега не се издвоени појави кои би имале поголемо економско значење.

## ЛИТЕРАТУРА

Блажев, К., 1991. Минерагенија на силициските суровини на Македонија и нивно економско значење. Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет-Штип, Универзитет "Св. Кирил и Методиј"-Скопје, 192 стр.

Serafimovski, T. and Rakic, S., 1999: The secondary quartzites hosting gold mineralization in the Crni Vrv-Plavica

Во рамките на Алпската формација, Палеогените наслаги се покажаа како исклучително сиромашни со позначајни кварцни суровини, но Неогените наслаги содржат доста значајни количини на кварц и кварцити како секундарни творби.

Квартерните седименти како најмлади творби, односно, претставници на Квартерната формација, претставуваат најголеми и најзначајни носители на кварцни лежишта. Тие се распространети низ цела Македонија и од нив потекнува скоро целото производство на кварц.

volcanic area. *Geologica Macedonica*, Volume 12, Stip. p. 9-21.

Серафимовски, Т., 2011. Минерални ресурси 2. Основен учебник, Универзитет "Гоце Делчев" - Штип, Факултет за природни и технички науки, 324 стр.

Стојановиќ, М., 2005. Наоѓалишта на неметални минерални суровини во Македонија. Монографско издание, Скопје 2005, 131 стр.

# THE POSSIBILITIES TO USE THE TRAVERTINE AND ONYX – GULABOVA CAVE, BESISTE VILLAGE (WESTERN MACEDONIA) AS AN ARCHITECTURAL STONE

Orce Spasovski<sup>1</sup>, Zoran Kostovski<sup>2</sup>, Daniel Spasovski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of natural and technical sciences University Goce Delcev – Stip, <sup>2</sup>Mjamor Bjanko - Prilep  
orce.spasovski@ugd.edu.mk

## Abstract

The travertine and the onyx from Gulabova cave, Besiste village, in western Macedonia have been examined in order to determine the possibility to use them as architectural stone. The analyses and the laboratory research were performed on samples of travertine and onyx. The samples were taken from the surface parts. The results from their physical mechanical examinations have shown that the rock mass itself satisfies the requirements to be used as an architectural stone according to the state standards of Macedonia. The quality of the stone is higher in the deeper parts of the field where the external influences have a very small effect. This stone has highly decorative features but it also has fine grained structure which is a positive effect for the technical characteristics and the subjection for processing and production.

**Key words:** travertine, onyx, Gulabova cave, architectural stone, mineral-petrographic content, structural-textural characteristics, physical-mechanical characteristics.

## INTRODUCTION

The area of research for travertine and onyx from Gulabova cave, Besiste village which is located in the south-western mountainside of Kozjak mountain in Mariovo. The location itself is around 3km. away from the Besiste village and around 40 km. from Prilep.

The field of research of travertine and onyx is part of the Neogene period surrounded by distinguished hill and mountain forms, with the most significant ones being Sv. Pantelej (1344 m.), Perun (1730 m.), Gurov kamen (1566 m.), Cucul (1220 m.), Baltava Cuka etc. The main water flow of this region is Crna River which is the biggest right confluence of the river Vardar. The Crna River drains the waters from the biggest part of the region, and the greatest confluents are the following rivers: Eleska reka, Graeska reka, Konjarka, Trnovicica, Gradeska, Blasnica, Belica, Besiska reka, Stravinska reka, Satoka, Buturica, etc.

The first geological information of the field is related with the first geological research of the Pelagon area, done in the beginning of the last century. Cvijik (1906) wrote about the crystal-like rocks with granite core of Precambrian age. Kosmat (1924) made the first division of the field in units. Marik (1949) did a research on

the rocks between Bakarno Gumno – Alinci and Vespec. Ilik (1953) did a research on the pegmatite and the useful minerals related to them in the area of Babuna and the northern part of Selecka mountain. Kolman (1951) and Izmajlov (1951) made a geological map of the field between the villages Mrzen and Galiste in the valley of Crna reka river.

Barik (1956) did the most detailed mineral examination of the disten from the Selecka mountain. Stojanov performed a research (1958 и 1974) of the disten from Selecka mountain. Mayer (1960) in the area south from the village Bonce, gave a description of metagabbro. Protik (1963) in the south western part of Selecka mountain selected schist with smaller crystallinity. Teofilovik (1966) made his research in the southern part of the Pelagon. With the process of making the geological map of SFRY, the authors of the leaves Vitoliste and Kajmakcalam in a proportion of 1:100 000 (Dumurdzanov, Hristov, Pavlovski and Ivanova 1976), made a detailed elaboration of the leaf content of the rocks in the leaves Vitoliste and Kajmakcalam, describing the composition of the rocks considered and the presence of the onyx in the upper parts of the travertine rocks.

The latest data concerning the geological composition, the petrographic-mineral and physical-mechanical characteristics of the onyx can be found in the professional documentation of the company ‘Maksoniks’.

#### APPLIED RESEARCH METHODS

The mineral-petrographic examination were done by the Faculty of natural and technical sciences in Stip by the authors of this paper, while the chemical content of the granodiorite is determined by the chemical laboratory in Zelezara in Skopje.

The examination of the physical-mechanical characteristics is made in the laboratory of the Faculty for Civil Engineering in Skopje. All examinations were performed during 2010. Because of the fact that the rock masses are not well disposed, the samples were taken from the surface of the field, and as a consequence of this, there are some cracks which are a result of the increased atmospheric influence. However, the examination of the samples has shown relevant values of the physical-mechanical characteristics. It is beyond any doubt that samples from greater depths would give much better results.

#### GEOLOGICAL CHARACTERISTICS

In the geological constitution of the locality Gulabova cave the presence of the striped muscovite-biotite and striped muscovite gneiss are mostly present, together with massive medium to large grained granodiorite, volcanic sediment products, quartzlatite agglomerate and tufa and carbonate-tufa products.

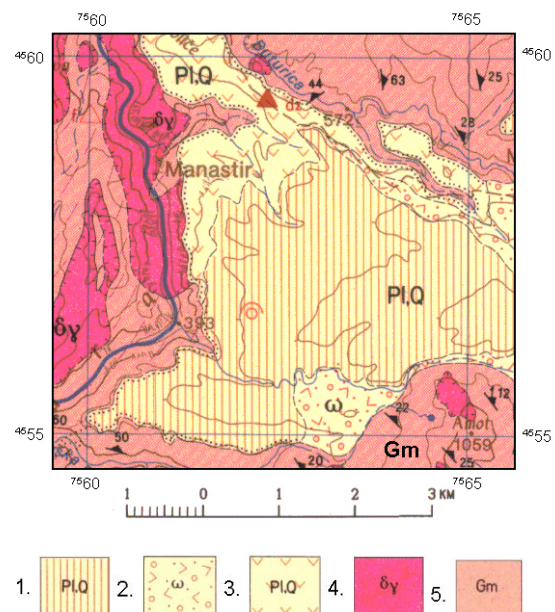
The greatest presence is of volcanic sediment products and carbonate-tufa products (Fig. 1)

##### *Volcanic sediment products*

The volcanic sedimented products in slightly lesser masses are present in Besiste (Figure 1). During the intensive volcanic activity at the Kozuv volcanism, great quantities of volcanic material (volcanic sand, dust, ashes, volcanic lapilli, bombs and blocks of volcanic rocks – quartzlatite, andesite, tufa) have been erupted in this part of the field.

In this volcanic material in the Pliocene-quarter lake reservoir, mostly stratified figures of volcanic agglomerate, breccias, pyroclastics, tuffs, tuffites, etc., have been formed, in which stratified figures with various thickness dusty weakly-tied sands, clay and sandbanks, are embodied. There are

often fragments and blocks of volcanic rocks in these layers.



**Figure 1.** Geological map of the locality Gulabova cave 1. travertine and onyx 2. carbonate-tuffaceous products 3. volcanic sediment products 4. granodiorite 5. gneisses

##### *Carbonate-tuffaceous products*

The carbonate-tuffaceous products have been found in the centre of the researched area (Picture 1). These products are represented by stratified and flat tufa, tufa limestone, travertine and onyx. These creations are mostly layered by interstratified sandbanks, dusty sands and grinded tufa. The tufa, the tufa limestone, the travertine and the marble onyx are mostly brown and grey-yellowish massive and quite compact but in certain intervals they can be porous and with cavities (Figure 2). The travertine is featured with fine-grained composition, compact, massive and fairly porous texture. There can rarely be found cracks with 2mm. length.

The calcium carbonate rock is formed of calcite which is mostly found in cryptocrystal form. The calcite mass often produces irregular oolitic forms, round and oval with zoned structure of calcite mass. The oolitic forms on the parts of the edges are framed with stronger limonization. The cracks are not frequent and are fairly small. In the cracks as well as in the irregular forms, the rock is filled with recrystallized calcite – micro crystalized and pure (Figure 3).



**Figure 2.** Stratified, porous and cracked light grey travertine



**Figure 3.** Cavity in massive travertine filled with recrystallized calcite



**Figure 4.** Thin layers of brownish-yellow onyx (1) and massive brownish-grey travertine

The onyx is brownish-yellow color in various nuances (Figure 4) and it can be found in the more shallow levels (up to 30 meters), while the limestone tufa is very compact and firm and it can be found in the deeper levels of these series. It has compact, massive and slightly distinguished striped texture. The calcite crystals that constitute the onyx are thin, long and straw-like forms, crystallized diagonally on stratification. It is possible that the calcite is presented by aragonite, as a

polymorphic modification of calcite. In most of the examined holes, presence of vulcanite in the tufa series have been found, which points to the fact that there has been sedimentation of both carbonate and volcano agglomeration.

### PETROGRAPHIC – MINERAL CHARACTERISTICS

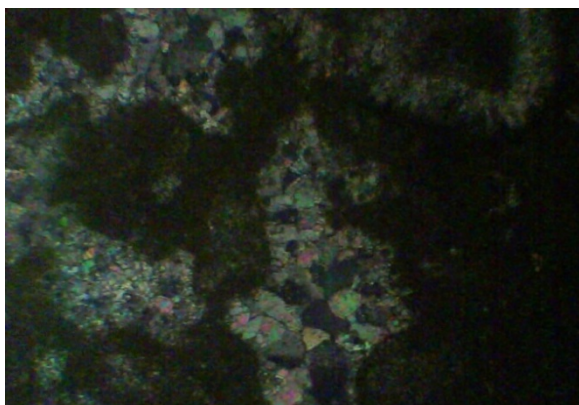
Represented samples from Gulabova cave have been selected for the petrographic – mineral examinations. The petrographic slides were made, viewed microscopically with a polarized microscope with transmitting light brand Leitz, Wetzlar Germani. The petrographic – mineral examinations were done at the Faculty of natural and technical sciences at the Institute for geology by the author of the paper.

The travertine has light beige color with rare irregular forms colored light grey. They are characterized with fine grained composition, compact, massive and fairly hollow texture. Cracks are rarely found, small with length of 2mm.

The rock is made of calcite, which is basically in cryptocrystal form and structure. The calcite structure often makes irregular oolitic forms, round and oval around the edging frame of the calcite structure. (Figure 5a, 5b). The rock is filled with recrystallized calcite – microcrystal and pure. The granulation of the calcite in these forms is around 50 $\mu$ . The irregular forms are more rarely found, gloomy brownish i.e. strongly colored with limonized oxide. As additional minerals there are some quartz grains and rarely lamina of mica that can be seen, and it can also be said that there are only residues.

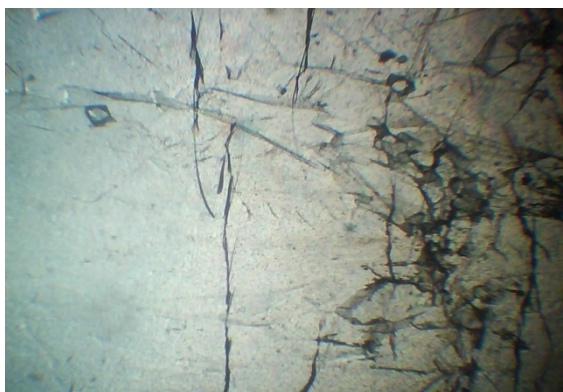


**Figure 5a.** Microphoto of the sample GP-110x (N-)



**Figure 5b.** Microphoto of the sample GP-110x(N+)

The marble onyx is characterized with large crystalized structure, compact, massive and with slightly distinguished striped texture. The calcite crystals are thin, long and straw-like forms, crystalized diagonally on stratification. It has light brownish and brown-yellowish color, with nuances of lighter and darker spots which gives the rock a better appearance. It is constituted of calcite, which has large crystal structure. Those are long straw-like crystals of calcite with radiant rayed darkening (Figure 6a, 6b). Separate parts of the calcite are strongly colored with limonized oxide, which point the striped structure of the rock. This is a result of the genetic background of the onyx, i.e. the inflow of tinctures of limonized oxide.



**Figure 6a.** Micro photo of the sample GP-4 10x (N-)

Not so often, visible diagonal transections of calcite can be seen in partly rhomboid crystals. It is possible that the calcite is presented by aragonite, as a polymorphic modification of calcite. Very rarely there can be crystals which resemble the dolomite – ancerite.



**Figure 6b.** Micro photo of the sample GP-4 10x(N+)

## CHEMICAL EXAMINATIONS

The chemical characteristics of the travertine and the onyx from the locality Gulabova cave, represent an addition in the process of expanding the findings of this type of rocks in the territory of the Republic of Macedonia. Considering the composition, the structural-tectonic features, the color and the manner of their appearing, these rocks are clearly different from the surrounding ones.

The samples GP-1 and GP-2 are travertine, with quite pure calcite composition. According to the chemical analysis of the samples, the participation of MgO is between 1,64 - 2,70 % (Table 1). The analyzed sample of onyx is also characterized with quite clear calcite composition where the content of the analyzed elements are quite low with the exception of CaO.

**Table 1.** Chemical content of the travertine (GP-1 and GP-2) and the onyx (GP-3) in %

Element	GP-1	GP-2	GP-3
SiO <sub>2</sub>	0.10	0,09	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11	0,15	0,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.17	0,50	0,11
MnO	0.096	0,064	0,33
MgO	1.64	2,05	2,70
CaO	51.10	51,50	49,83
Na <sub>2</sub> O	0.04	0,037	0,04
K <sub>2</sub> O	0.02	0,06	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.062	0,051	0,071
Moisture (110°)	0.035	0,038	0.033
Loss on ignition	45.89	45,02	45,05
Total	<b>99.283</b>	99,56	99,60

**Note:** The analyses GP-1 and GP-2 are travertine, while the analysis GP-3 is onyx.

## PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS

An appropriate methodology of laboratory examination has been applied in the process of research in accordance with the existing standards of this type. The present state standards (MKS) are mostly used, but the recommendations of examination by the

### MARBLE ONYX

- mean value for the strength to pressure in dry condition is  $\sigma_p=55,23$  MPa
- mean value for the strength to pressure after 25 cycles of freezing and melting is  $\sigma_{pm}=48,66$  MPa
- mean value of the index of strength parallel of the levelness of the onyx in dry condition  $J_s(50) = 1,55$  MPa
- quotient of proportionality  $K=\sigma_p/J_s=55,23/1,55=35,63$

### TRAVERTINE

- mean value for the strength to pressure in dry condition is  $\sigma_p=69,60$  MPa
- mean value for the strength to pressure after 25 cycles of freezing and melting is  $\sigma_{pm}=50,50$  MPa
- mean value of the index of strength parallel of the levelness of the travertine in dry condition  $J_s(50) = 3,97$  MPa
- quotient of proportionality  $K=\sigma_p/J_s=69,60/3,97=17,53$

## CONCLUSION

The travertine is compact and quite firm with not clearly distinguished striped texture, changing the not equal stripes of light brownish coloring and the thinner layers with lighter i.e. light greyish color. The color is light brownish – beige to lighter greyish glassy occasions which change irregularly. In separate parts of the travertine there are cracks filled with recrystallized calcite.

The marble onyx is characterized with large crystallized composition – structure and with compact, massive and slightly striped texture. The calcite crystals are thin, long and straw-like forms, crystallized diagonally on stratification. The onyx has light brownish and brown-yellowish color, with nuances of lighter

international society for mechanics of rocks (ISRM-International Society for Rock Mechanics) were also considered.

Based on the performed evaluations, analyses and statistic elaboration the following description of the received values from the examined samples is presented:

- according to the value of absorption (U) the rock belongs to the class of rocks with low absorption of water (less than 0,5) ( $U=0,083\%$ )
  - mean value of weight capacity is  $\gamma=26,78$  kN/m<sup>3</sup> (hard stone)
  - quotient of resistance to ice is ( $K_m=48,66/55,23=0,84$ )
  - according to the strength to pressure it is considered medium strong rock (50-100 MPa)
- 
- according to the value of absorption (U) the rock belongs to the class of rocks with great absorption of water (2.5-5.0%) ( $U=3,06\%$ )
  - mean value of weight capacity  $\gamma=23,77$  kN/m<sup>3</sup> (medium hard stone)
  - quotient of resistance to ice is ( $K_m=50,50/69,60=0,72$ )
  - according to the strength to pressure it is considered medium strong rock (50-100 MPa)

and darker spots which gives the rock a better appearance.

Due to the petrographic-mineral characteristics, as well as the chemical content of the travertine and the onyx they can have great application. Primarily, the travertine can be used as architectural stone, i.e. for cutting tiles for surfaces. These are especially applicable for internal and external tiling on vertical surfaces. For the external surfaces the selection of the less cracked ones is a better choice. The remains of the cutting process may be used as macadam in concrete mixtures, as fillers for concrete pavement tiling, etc.

It was determined that the marble onyx is a relatively hard rock with low absorption of

water and with weight capacity which categorizes the rock in the group of hard decorative stones, with a quotient of resistance to ice within the normal limitation.

The travertine was determined to be a medium hard rock with high absorption values which categorizes the rock in the group of medium

hard decorative stones, with a quotient of resistance to ice within the normal limitation.

According to the physical-mechanical characteristics it is considered a **high quality decorative stone** for internal and external decoration in the civil engineering.

## REFERENCES

- Бариќ Љ. (1956): Дистен, андалузит и силиманит на подрачјето на Југославија. Трудови на геолошки завод на СРМ, 8, Скопје.
- Dumurdzanov, N., Hristov, S., Pavlovski, B., Ivanov, V., 1976: Explanation for the page Vitoliste - Kajmakalan, BGM SFRY 1 : 100 000, Geological Institute, Skopje.
- Dumurdzanov, N., Hristov, S., 1976, Basic geological map 1 : 100 000 for the page Prilep, Geological Institute, Skopje.
- Колман К. (1951): Предходни извештај за резултатите од геолошкото картирање на областа на долниот дел на Црна Река во просторот помеѓу Мрзен и Галиште. Трудови на геолошки завод на СРМ, 2, Скопје.
- Kassmat F. (1924): Geologie der zentralen balkanhalbinsel. Mit einer ubersicht des dinarischen gebirgsbaues. Berlin.
- Мајер В. (1960): Метагабро из Селечке планине. Трудови на геолошки завод на СРМ, 7, Скопје.
- Мариќ Л. (1949): Метаморфне камнине бакарног гумна ин Веслеца Ј ин ЈЗ од Прилепа. Расправе Акад. Знаности ин уметности IV. Љубљана.
- Протиќ М. (1963): О метаморфизму и алкалној метасоматози у области Селечке планине у Македонији. Гео. анали Балк. полуострва. XXX, Београд.
- Rakicevic, T., Stojanov, R., Arsovski, M., 1965: Explanation for the page Prilep, BGM SFRY 1 : 100 000, Geological Institute, Skopje.
- Rakicevic, T., Stojanov, R., Arsovski, M., 1965: Explanation for the page Vitoliste, BGM SFRY 1 : 100 000, Geological Institute, Skopje.
- Spasovski, O., i dr 2011: Elaborat za detalni geoloski istrazivanja na mineralna surovina travertin i oniks na lokalitetot Gulabova Pestera Opstina Prilep. Strucen fond na "Maksoniks", pp. 60.
- Стојанов Р. (1968): Фенгити на палеогонскиот масив. Трудови на геолошки завод на СРМ, 13, Скопје.
- Стојанов Р. (1974): Петролошки карактеристики на магматските и метаморфните стени од пошироката околина на Прилеп. Докторска дисертација, РГФ, Београд.
- Теофиловиќ М. (1966): Геолошки састав и тектонски склоп планинског комплекса Козјак – Нице и Селечке планине. Посебно издање И.Г.Р.Н.М.С., књ. I, Београд.
- Цвијиќ Ј. (1906): Основи за геологију и географију Македоније и старе Србије. СКАН, књ. I, Београд

# STRUCTURAL RESEARCH ON DOLOMITE MARBLES IN BELOVODICA MINE FROM THE ASPECT OF MARBLE EXPLOITATION

Vasja Dameski, Blazo Boev

*Goce Delčev University, Štip, Republic of Macedonia Faculty of Natural and Technical Sciences, "Goce Delčev" University, Goce Delčev 89, MK - 2000, Štip, Republic of Macedonia  
vdameski@yahoo.com*

## Abstract

This paper presents the results and the conclusions of the research on the white dolomitic marbles deposit "Belovodica", which is near the village of Belovodica, at a distance of 21 km to Prilep. The investigative field is an integral part of the Pelagonian tectonic unit. Studies have been made in order to get the real picture of the possibilities and the potential of this terrain for profitable work in the aspect of white dolomite marble exploitation. By analysis and interpretation of the research results, it is confirmed that there is a belt of compact white dolomitic marble that has remained immune to tectonic disruption. By changing the method and the course of mining activities in the direction of exploitation of this layer, the total utilization and cost-effectiveness of "Belovodica" mine can be greatly increased.

**Key words:** white dolomitic marble; tectonics; fissures systems, blocks, tombolons

## INTRODUCTION

White dolomitic marble mine - "Belovodica" is located 15 km east of the town of Prilep, near the village of Belovodica.

Geographically, it belongs to the Dren mountain as a striking orographic unit in this part of the Republic of Macedonia.

The place is located at an altitude of about 1000 meters, one of which can be defined as a slightly flattened slope inclined towards the west-southwest, and it turns in a relatively steep department eastwards. The mine can be placed on the northern slopes of Dren mountain of about 1,5 km away from the village of Belovodica.

In the close vicinity of the marble exploitation mine of "Belovodica", White River passes, which has water throughout the year. And right above the village of

Belovodica, because of the series of marbles, there is an appearance of numerous periodic flows and lower aquifers that build the occasional flow of the river Drenska. The results of detailed geological investigations on this field can be found in the works of Boev (2005) and Patchanagis (2010).

The colour, and the results of the physical-chemical and the mineralogical research show, that this is white dolomitic marble with a good quality. But the tectonic damage in the marble mass appears as the biggest problem in the process of exploitation. For particular definition of potentiality of this mine, in terms of profitability, summarizing the results of experimental exploitation with the results of geological investigations, is required.



Figure 1. Geographical position of the investigated area



## GEOLOGICAL COMPOSITION OF THE WIDER REGION

Marbles of the deposit of "Belovodica" belong to the marble mass of the southern part of Pelagon. This marble mass is located in the edge part of Pelagonian metamorphic complex to the west and Vardar Zone to the east.

It is a relatively narrow zone that is presented as two types of marbles, such as: calcite in eastern contact part with Vardar Zone and white dolomitic in the western part, in direct contact with series of gneisses from Pelagonian metamorphic complex.

The basic structural features of the metamorphic phase of Pelagon are a result of syngenetic processes at high regional metamorphism and crimping by a mechanism on plastic-flow with simultaneous granitoid intrusion of the first phase, which formed major fold structures. (M. Arsovski 1997)

It should be noted that second granite stage played the significant role during Grenville orogeny which manifests itself as a major magmatic activity whose products, besides metasomatic processes and homogenization of metamorphic rocks in certain parts of Pelagon, effectuated recent crimping and forming new large folds, whereupon a completed destruction of older fold structures is made. It is important for marble mass of Belovodica that homogenization, whitening and dolomitization of marbles is performed in its lower parts. These processes are associated with the intrusion of granite rocks in Dren anticline. At lower levels this marble mass is represented by massive, saccharose white dolomitic marbles, in which traces of foliation, micro-folds, can be seen but only locally, as well as some low occurrence of calcite veins.

Eastwards, dolomitic marbles gradually convert into foliated calcite – dolomitic marbles.

The geological terrain includes geological units that are an integral part of southern metamorphic complex of Pelagon including: granite, gneiss, granite -gneisses and marbles. The first geological studies of the ground are connected with the first geological surveys of the areas of Pelagon performed in the early XX century.

(Detailed geological data obtained from the basic map of Yugoslavia in the M = 1:100000, sheet Vitliste 1980 edition of the Federal Geological Institute, Belgrade ).

The investigated terrain has different types of rocks of different geological age. The oldest

rocks in this terrain are Precambrian metamorphic rocks, and then the rocks of Cretaceous age, rocks of Pliocene and the youngest ones are the rocks of Quarter.

- **Precambrian:** The oldest rocks of this terrain are represented by muscovitic gneisses, white dolomitic marbles and calcite marbles. Series of marbles are represented in two super-positioning horizons. White dolomitic marbles and dolomites dominate in the lower part and calcite marbles dominate in the upper part.

**Foliated muscovitic gneisses (Gm):** These gneisses have the largest spread in the gneiss series. The parties, in which a striped texture is quite expressed, are noted among them, but also there are parties in which the texture is very vague, in this way they could represent normal coarse-grained gneiss. The colored compounds are differentiated from the uncolored ones in a form of thin strips. The color of the gneiss is yellowish grey to light green. The size of the grains varies from 0.5 to 6mm, it is usually 2 mm. They are built from feldspad, quartz, and coloured minerals that are represented by muskovit, fengit, rare shells of biotit and tiny grains of epidot. Accessorily, sfen, garnet, apatite, zircon, pyrite, magnetite occur and secondary minerals are kaolinite, sericite and limonite.

**Grey to grey-white white dolomitic marbles (Md):** Dolomite marbles are developed in the lower part of the marble series. Starting with plate cipoline, they mainly occur as bank form marbles and they rarely convert into massive ones. The whole mass is relatively homogeneous and it is mainly built of white dolomitic marbles. They are fine-grained white saccharose dolomitic marble, quite cracked, with granoblastic structure. The grain size is from 0,05 to 0,5 mm.

**Calcite marbles (M):** In the upper part of the marble series, plate to bank form calcite marbles appears gradually from dolomite marbles. They represent the final part of these series and they are discovered in the area of the villages of Belovodica, Veprchani and Labnica, while the rest is covered with young formations. Calcite marbles are fine to medium- grained, white to grey – white color.

**Massive, medium to coarse-grained granodiorite ( $\delta$ ):** It occurs in rocks of several meters to large masses of several square kilometers. During the intrusion, the magma mainly used the course of foliation and of the

older anticlinal and vertical structures; it conducted intensive magmatism in surrounding rocks. Massive granodiorite are grey to dark grey, medium to large grains. They have a hypidiomorphic-grain structure and a massive texture. They contain important

minerals such as: plagioklas, K-feldspar, quartz and biotite, and they also contain secondary minerals such as: apatite, titanite, amphibole, zircon, garnet, magnetite and ortite.

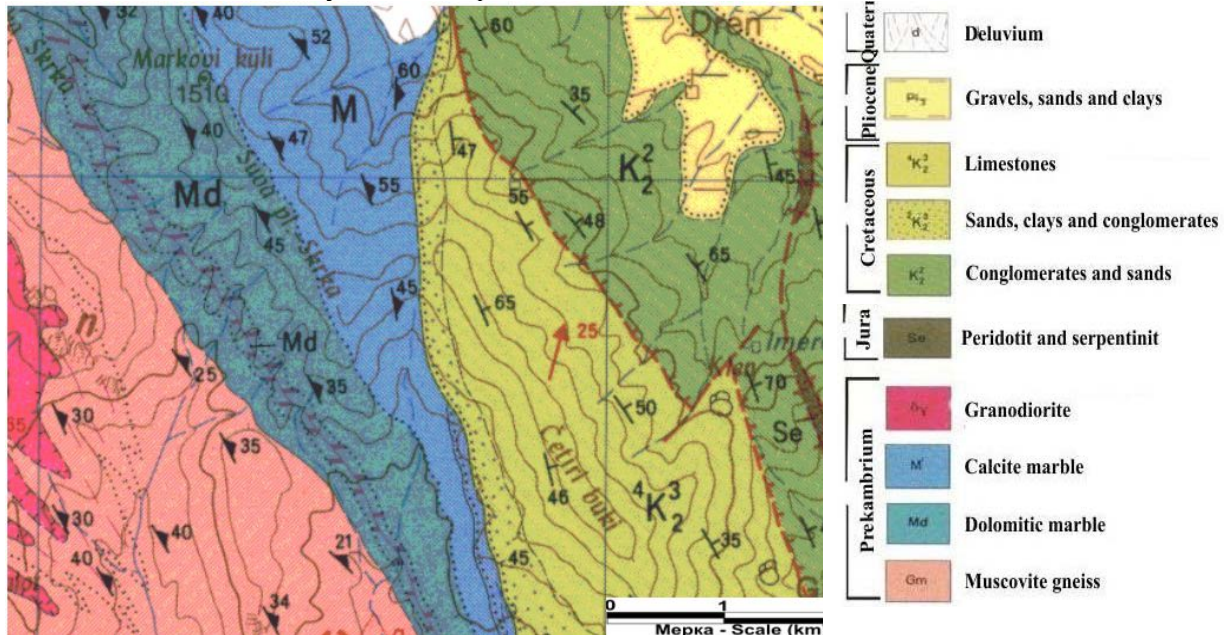


Figure 2. Geological map of the investigated area

- **Jurassic:** Rocks of Jurassic age in this terrain are: serpentinites and peridotites. They extend in the zone of Dren village, south through Gudjakovo, Vitolište, Polchishte villages to Crna Tumba and they continue along Greek territory.

**Peridotites and serpentinites (Se):** Serpentinites strongly dominate over other ophiolitic rocks. They have light to dark green color, they are made of serpentine with relics of pyroxene and olivine. Secondary they contain talc, chlorite, magnetite and chromite.

- **Cretaceous:** The rocks that appear in the Lower Cretaceous are conglomerates and sandstones of Turonian age; tile clays, conglomerates and tile and bank – type limestone of Senon age.

**Conglomerates and sandstone (K<sup>2</sup> 2):** Conglomerates participate in more than 60% and they are developed in layers that are up to 3 m. thick. They are highly compositionally heterogeneous and built of well rounded pieces, maximum 20 cm in diameter, of quartz, quartzite, gneiss, rarely sandstone, shale and clay.

**Sandstones, clays and conglomerates (2K<sup>3</sup> 2):** Sandstones, can be fine-grained, medium-grained and coarse-grained. They are composed of arkoze and quartz and the cement is clay- carbonate. Conglomerate occurs in thicker bank form, mostly with sand, while clays occur as rare constituents.

**Plate and bank form limestone (4K<sup>3</sup> 2):** These rocks make up the uppermost level of Senon sediments. They appear grey and white, rarely pink, usually flat and in some case bank form.

- **Pliocene.** Rocks of Pliocene age in this terrain are gravels, sands and clays.

**Gravel, sands, clays (Pl<sub>3</sub>):** Sediments are represented by yellow gravel, gravel sands, sands and clays.

- **Quarter:** The youngest rocks of the examined terrain are rocks of Quarter and it is deluvium (d).

**Deluvium (d) :** Deluvium deposits are grouse material from granodiorites and metamorphic rocks.

## **TECTONICS OF THE WIDER AREA**

Rupture tectonics occupies a significant place in the structural construction of this marble mass and it is represented by faults, cracked zones and fault zones. General occurrence of the marble mass is karstification, predominantly expressed in the main rupture directions (NW – SE and NE - SW) and large prominent surface damage of marbles under the influence of atmospheric impacts.

This neotectonic damage of the marbles in the western part, reaches a depth of ten meters, and eastwards, where the terrain morphologically rises, the impairments grow up to several ten meters. It is primarily about the abrasive activity of the former Pleistocene – Pliocene Pelagonian lake.

But the major damage to the blocks of marble mass is associated with rupture tectonics of convergent movements, represented by faults and crack that belong to multiple systems. Rupture structures are of diverse age, but the main rupture tectonics is mainly young and it is formed by a process of formation of the neotectonic graben of Pelagonia valley in Pliocene, as well as the processes of young and crimping faults during Alpine orogeny (Boev 2005).

Regionally, this terrain is under the influence of the convergent movements between two

major geotectonic units: the Vardar zone and Pelagonian Horst antiklinorium.

The predisposition stems from the upper Eocene marine transgression, conditioned by the development of large elongated graben under the direction of faults, inherited from Laramian orogen stage. With the process of block tectonics, i.e. the dominant vertical movements of rising and sinking, between Helvet and Thornton (Styrian orogeny phase), the valley area with faults is broken and lowered again. The present primary (main) tectonic form is obtained with this (A. Killias, 2010).

Also in "Belovodica" mine, cracks of smaller intensity and different orientation are developed.

Some of them are probably before Neotectonic, they are difficult to be deciphered from Neotectonic and some of them are secondary ruptures, obtained as reflexive impulse, or manifestation of stabilization of the mountain massif, after the tectonic movements.

Mainly, in "Belovodica" mine cracks systems into direction (NW – SE and NE - SW) dominate and the impact of these cracks networks, manifests as extremely inconvenient for the blocks of dolomitic marbles.

## **EVALUATION OF THE OBTAINED RESULTS AND A COMMENT**

In the entire process of geological examinations, it is necessary to summarize the results of exploration with geological drilling and tectonic elements of the wider area. Because, the biggest problem in the exploitation and cost effective operation of the

mine, is the tectonic damage of the marble; special attention is given to the proper marking of the larger ruptures, their correlation with productive horizons and finding some new reserves of compact marble mass in the mine - Belovodica.

### ***Petrographic and mineralogical features***

In order to research petrographic – mineralogical features of marble, in mine "Belovodica", several samples with different types of marble are selected. Massive white dolomitic marbles build up the southwestern part of the marble mass and in the north-eastern parts marbles with increased amounts of calcite, appear. With the microscopic studies of samples of white marble grain, it is posited, that they have fine grained - granoblastic structure, shifting to a mosaic, and in some places there is an appearance of porphyroblastic structure.

In the crushed zone, the existence of cataclastic structures and on some places up to mylonitic, is posited. The size of dolomite grains ranges from 0,07 up to 1 mm.

Dolomite grains are partially rounded and they have an expressed cleavage. On some parts, they have elliptical cross sections and they are poorly elongated in the direction of the foliation. Dolomite grains are rarely irregular and they are often polygonal in shape. Besides dolomite, calcite occurs as well as some smaller amounts of muscovite. Rarely there is some appearance of quartz, fluorite, rutile and phlogopite.

**Physical – mechanical characteristics**

Strength of pressure in dry condition:

P max = 125 N/mm<sup>2</sup>

P min = 85 N/mm<sup>2</sup>

P av = 100 N/mm<sup>2</sup>

Strength of pressure in water-saturated condition:

P max = 110 N/mm<sup>2</sup>

P min = 65 N/mm<sup>2</sup>

P av = 78 N/mm<sup>2</sup>

Strength of pressure after 25 freeze-thaw cycles:

P max = 85 N/mm<sup>2</sup>

P min = 68 N/mm<sup>2</sup>

P av = 82 N/mm<sup>2</sup>

Water absorption:  $\sigma = 0.15 \%$

Volume weight:  $\gamma = 2800 \text{ kg/m}^3$

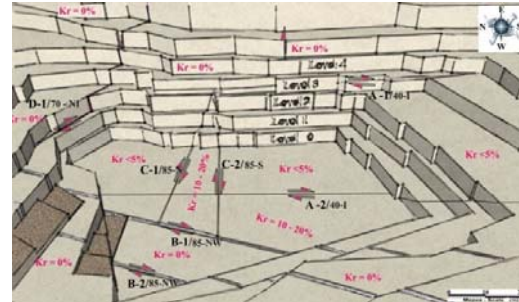
Abrasion resistance:

A = 46.6 sm<sup>3</sup> / 50 sm<sup>3</sup>

**Structural – tectonic elements**

The structural - tectonic elements in the mine of “Belovodica” are represented by faults and fissures. A1 and A2 are primary faults (fig. 3) created as products of a genetic discontinuity in the process of formation. B -1 and B – 2 are the oldest faults from secondary faults, which are reverse (thrust) faults, filled with brecha sediments. Convergent movement is observed on these faults but not longer than one meter. Other faults are Neotetonic, equivalent with the main tectonic activity. Characteristically, in Belovodica mine, there is a rapid change of compactness of the marble mass before and after the rupture structures.

Other faults are Neotetonic, equivalent with the main tectonic activity. Characteristically, in Belovodica mine, there is a rapid change of compactness of the marble mass before and after the rupture structures.



**Figure 3.** 3D image of mine Belovodica with delimitation of larger ruptures and utilization of individual parts

**Fissures and fissures systems**

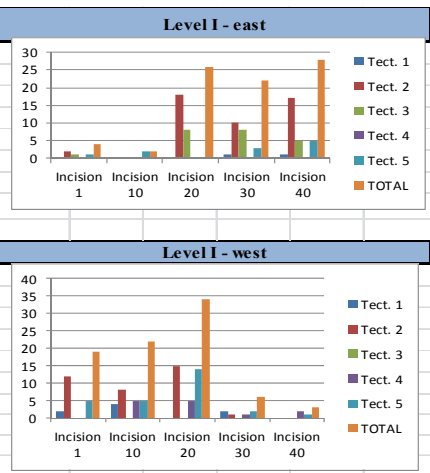
The measurement of fissures was performed in the open parts of the mine, from its eastern and western side in the Level - 1 and level - 0. In order to connect the results of the exploration, measurement points are placed on sectors, cellos of incisions that are obtained in the process of exploitation. In Belovodica- mine for white dolomitic marbles, five fissures systems have been observed, three of which are more intensive. Those are fissures systems

with (1. NW - SE, 2. NE – SW and 3. I - W) direction. In the inter-relationship of these fissures systems, it can be seen that the older system is a system with NW – SE direction, which occurs in the western part and the younger one is the NE-SW system, which occurs in the eastern part of the mine. Besides these, another damage on stratification is observed in some places, that was obtained as a product of genetic discontinuity in the origin.

**Table 1.**

MEASUREMENT OF CRACKS AND CRACKS SYSTEMS								
Level I - east								
No.	Location	Tect. 1	Tect. 2	Tect. 3	Tect. 4	Tect. 5	TOTAL	Category
1	Incision 1	0	2	1	0	1	4	II
2	Incision 10	0	0	0	0	2	2	I
3	Incision 20	0	18	8	0	0	26	IV
4	Incision 30	1	10	8	0	3	22	IV
5	Incision 40	1	17	5	0	5	28	IV
Level I - west								
No.	Location	Tect. 1	Tect. 2	Tect. 3	Tect. 4	Tect. 5	TOTAL	Category
1	Incision 1	2	12	0	0	5	19	IV
2	Incision 10	4	8	0	5	5	22	IV
3	Incision 20	0	15	0	5	14	34	IV
4	Incision 30	2	1	0	1	2	6	II
5	Incision 40	0	0	0	2	1	3	I

Cracks that can not be attributed to any of the previous systems, are the fifth system. These cracks are often the result of the damage to the



marble, caused by blasting, that is an integral part of the process of exploitation. The results of measurements of the damage to the marble mass in certain sectors of the mine, are given in table 1 and table 2.

**Table 2.**

MEASUREMENT OF CRACKS AND CRACKS SYSTEMS								
Level 0 - east								
No.	Location	Tect. 1	Tect. 2	Tect. 3	Tect. 4	Tect. 5	TOTAL	Category
1	Incision 1	0	2	2	2	1	7	II
2	Incision 10	0	0	1	0	0	1	I
3	Incision 20	0	12	5	0	0	17	IV
4	Incision 30	0	8	6	6	3	23	IV
5	Incision 40	0	15	5	5	2	27	IV
Level 0 - west								
No.	Location	Tect. 1	Tect. 2	Tect. 3	Tect. 4	Tect. 5	TOTAL	Category
1	Incision 1	0	0	5	8	3	16	IV
2	Incision 10	0	0	5	10	2	17	IV
3	Incision 20	0	5	3	10	5	23	IV
4	Incision 30	2	0	10	20	4	36	IV
5	Incision 40	1	0	0	1	0	2	I

<b>Legend</b>	Tect. 1 = vein crack	$\alpha = 40^\circ / \text{I} - \text{Dip angle}$
	Tect. 2 = Crack system SI - NW	$\alpha = 80^\circ / \text{SW} - \text{Dip angle}$
	Tect. 3 = Crack system I - W	$\alpha = 85^\circ / \text{N} - \text{Dip angle}$
	Tect. 4 = Crack system SW-NI	$\alpha = 70^\circ / \text{NW} - \text{Dip angle}$
	Tect. 5 = Cracks that are different from the familiar cracks systems	

**Level I - east**

**Level I - west**

**Investigative drilling**

In the first phase of geological drilling, investigative boreholes were placed in 12-meters square grid, which most of mining field is covered with. By summarizing the results of these investigations, it was concluded that the section of marble mass of Belovodica mine which does not fit in the contours of previously located positive horizon, is decomposed and sterile, in terms of getting the marble blocks.

In the second phase of the investigative drilling, the placement of the boreholes is in a

linear direction, that follows the previously located productive horizon. This drilling is done in order to obtain more specific information about the depth of the productive horizon and to confirm the previously obtained findings. In this part, the marble mass shows greater compactness. Rarely, in some places, fissure from systems (NW - SE and NE - SW) characteristic of the other part of mine, do not generally appear.



**Figure 4.** Positive borehole B 1/11

At certain parts, a minimum occurrence of sub – vertical fissures of fissure system (I - W) and some open fissures that follow the stratification, are noted. In the upper parts, near the exploitation field, we have the appearance of damage that is not consistent with the known fissure systems and probably it is

damage to the marble due to blasting operations, which are often used in the process of exploitation. With this drilling, it is concluded that in this part of the mine, a compact part of the marble mass is located, which is marked and limited as a positive horizon. (fig.5).

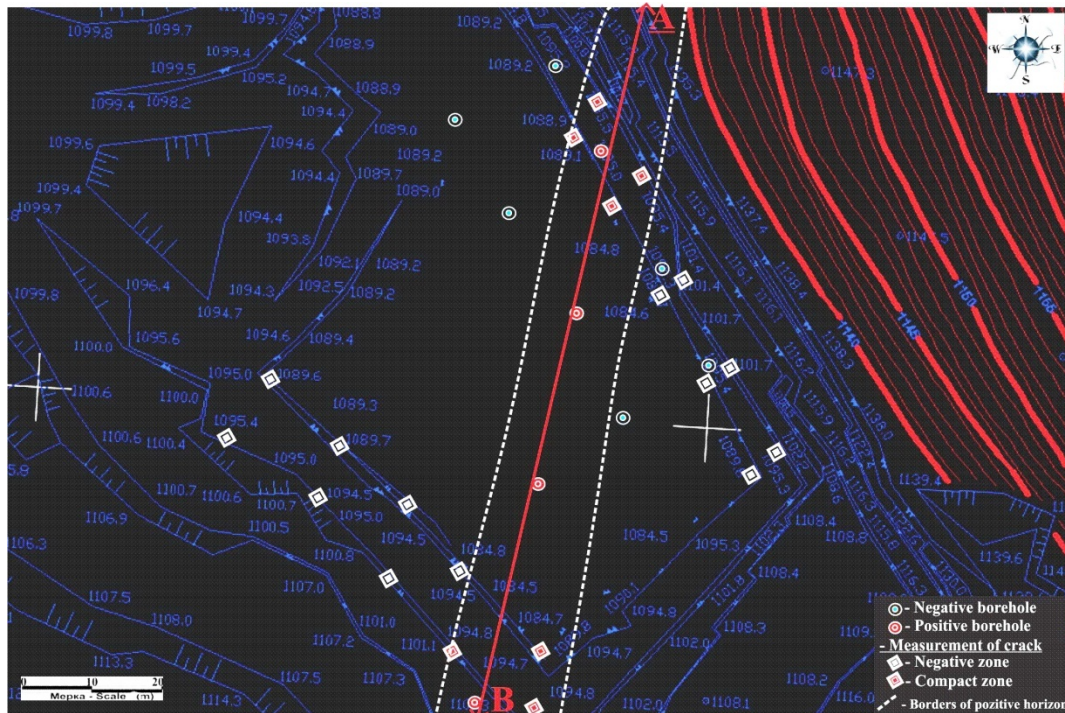


Figure 5. Spatial position of points of investigations in mine – Belovodica

With summarizing the results of exploitation and geological investigations, geological

profile (AB) is produced, which is placed in the center of the compact horizon (Fig. 6).

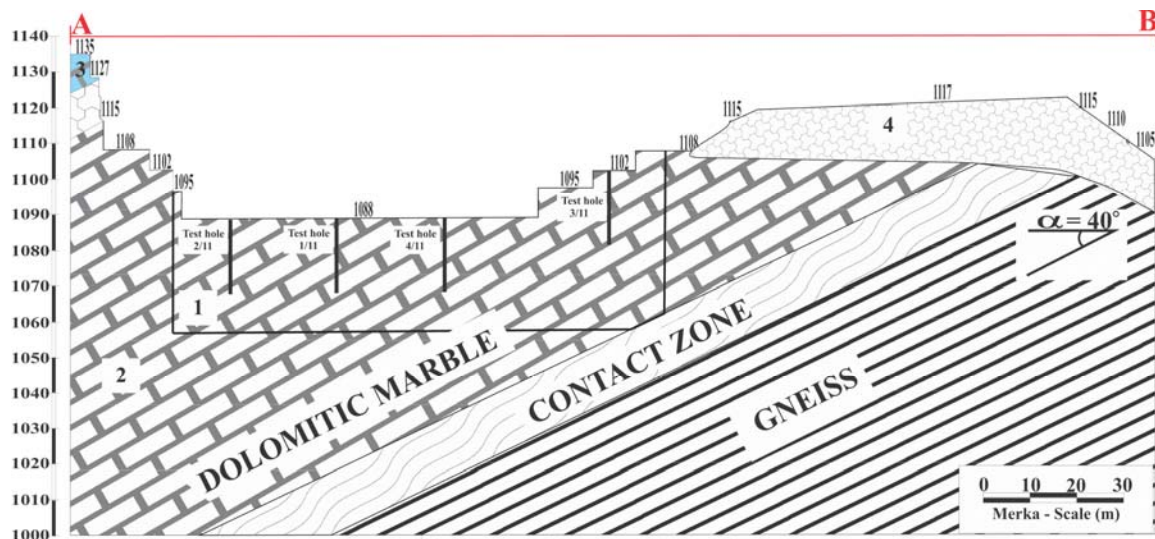


Figure 6. Longitudinal profile (A-B) of the positive horizon. 1 - Confirmed reserves, 2 - Potential reserves, 3 - Calcite marble, 4- Surface, waste material.

### Reserves of white dolomitic marble

Calculation of the reserves is made using 3 – D software and CAD software package. The total amount of material in place,  $Q_t = (L2 \times P)$  is designed, in correlation with the current method of exploitation and the needs for sufficient space for effective and safe operation.

The coefficient of utilization (R1) in the productive horizon is obtained as a product of the results from exploitation and geological investigations.

Because of the rapid change in the compactness of marble mass, the reserves of compact white dolomitic marble are classified into two groups: confirmed and potential.

Table 3.

RESERVE CALCULATION										
Levels	P (m <sup>2</sup> )	L1(m)	R1 (%)	Q1 (m <sup>3</sup> )	Comercial material (m <sup>3</sup> )	Block (m <sup>3</sup> )	Tombolons (m <sup>3</sup> )	L2 (m)	Qt (m <sup>3</sup> )	Rt (%)
1108	1000	0	0	0	0	0	0	110	110000	0,0
1102	720	5	10	3600	360	216	144	100	72000	0,5
1095	600	15	20	9000	1800	1080	720	90	54000	3,3
1088	1100	15	20	16500	3300	1980	1320	80	88000	3,8
1082	1400	15	20	21000	4200	2520	1680	70	98000	4,3
1076	1200	15	20	18000	3600	2160	1440	60	72000	5,0
1070	1100	15	20	16500	3300	1980	1320	50	55000	6,0
1062	1000	15	20	15000	3000	1800	1200	45	45000	6,7
1056	900	15	20	13500	2700	1620	1080	40	36000	7,5
1050	800	15	20	12000	2400	1440	960	40	32000	7,5
1044	700	15	20	10500	2100	1260	840	40	28000	7,5
1038	600	15	20	9000	1800	1080	720	40	24000	7,5
1032	500	15	20	7500	1500	900	600	40	20000	7,5
<b>TOTAL</b>			<b>19,8</b>	<b>152100</b>	<b>30060</b>	<b>18036</b>	<b>12024</b>		<b>734000</b>	<b>4,1</b>
<b>Confirmed reserves (m<sup>3</sup>)</b>					<b>13000</b>	7800	4680			
<b>Potential reserves (m<sup>3</sup>)</b>					<b>17060</b>	10236	7344			

\* P – the surface area of the productive layer, L1 - the width of the productive layer , Q1 – the volume of the productive layer, L2 – the width of the work surface, Qt - the amount of the demolished volume on-site , R – coefficient of usage.

Reserves in "Belovodica" mine are estimated at 30 000 m<sup>3</sup> compact white dolomitic marble, 13 000 m<sup>3</sup> of them are confirmed by the results of exploitation and geological research and 17 000 m<sup>3</sup> are assumed.

## CONCLUSION

In the process of geological research, the obtained results indicate that in "Belovodica" mine, is exploited quality white dolomitic marble with excellent physical – mechanical characteristics. The main problem is the tectonic damage to the marble, mainly caused by a network of the cracks from the systems (NW - SE and NE - SW).

With analysis and interpretation of the research results, it is found that there is a belt of

The coefficient of utilization, R (t) in the total process of work, is obtained from the ratio of commercial material and overall mass on site (Qt), would move about 4%.

compact white dolomitic marble that remained immune to tectonic disruption. In this section reserves of 30000 m<sup>3</sup> compact white dolomitic marble are located, 13 000 m<sup>3</sup> of them are confirmed by geological research and 17 000 m<sup>3</sup> are assumed.

The rest of the mine is tectonically damaged, sterile and unproductive in terms of getting marble blocks.

## REFERENCES

- Adamantios KILIAS, Wolfgang FRISCH, Asterios AVGERINAS, Istvan DUNKL – 2010 god. *Alpine architecture and kinematics of deformation of the northern Pelagonian nappe pile in the Hellenides*, Austrian Journal of Earth Sciences Volume 103/1, Vienna 2010 p. 4 – 18
- Милан Арсовски 1997 год. *Тектоника на Македонија*. Рударско – геолошки факултет Штип 1997, p. 79 - 126
- М. Арсовски, Н. Думурџанов 1984 год. Recent findings of the structure of the Pelagonian anticlinorium and its relation with the Rhodopean and Serbian Macedonian Massif. *Geologica Macedonica*, 2, p. 15 - 22.

- Н. Думурџанов, С. Христов, Б. Павлоски и В. Иванова. - 1976 год. *Толкувач за Основна геолошка карта на СФРЈ, (1 : 100 000) – лист Витолиците*. Геолошки завод – Скопје
- Н. Думурџанов – 2005 год. *Cenozoik tectonics of Macedonia and its relation to the South Balkan extensional regime. Soesphere*, Geological Society of America, p. 4 - 34
- З. Панов, Б. Боев – *Главен рударски проект за експлоатација на архитектонско – градежен камен, мермер на локацијата „Беловодица“ – Прилеп*, Рударско – геолошки факултет – Штип 2004, p. 5 - 14
- Ристо Стојанов – 1974 год. *Петролошки карактеристики на маматските и метаморфните стени од пошироката околина на Прилеп*, Трудови на Геолошкиот завод на НРМ, св. 4, Скопје, p. 81 - 99

# QUALITATIVE COAL FEATURES FROM DEPOSIT NEGOTINO, R. MACEDONIA

Milica Nikolova<sup>1</sup>, Orce Spasovski<sup>1</sup>

*Faculty of Natural and Technical Sciences University "Goce Delchev" – Stip  
orce.spasovski@ugd.edu.mk*

## Abstract

The study will show quantitative features of the latest researches performed on samples of coal from the site Negotino. In the area of the coal deposit Negotino coal quality was assessed by making more types of chemical analysis like: basic analysis, analysis of chemical composition and melting of the ash, performing petrographic analysis, grinding level of coal etc.. In order to show the results of technical analyzes of coals in more picturesque way, in the section that follows are given medium calculated values for each category of stocks, groups of categories of reserves in the entire site, using certain methods which involves the cumulative amounts of coal as well. Quality is homogeneous, petrographical determined as kutikulin - duren. Macerals are presented with xylene and poluxylene with presence of resin parts in it. Based on the values of qualitative parameters of coal it could be concluded that this is soft brown coal (lignite)

**Key words:** qualitative features, brownish coal, chemical composition, macerals, site Negotino, top heat value, bottom heat value, petrographic composition.

## INTRODUCTION

The coal deposit Negotino is situated in the Central part of the Tikvesh valley, 2-3 kilometers south from city Negotino. Altitude of the site is 200-340 meters with 25 km<sup>2</sup> of surface situated among the following villages: north-west from Timjanik, south-west from Tremnik, south form Dolni Disan and west form villages Marena and Glisic.

The first scientific treatment of geological problems in this area are analyzed in the work of Cvijic (1906), a fundamental tectonic geological study, especially in the eastern section are given by Kosmat (1924). Researches till World War are focused on certain areas, so Bonchev (1920), Maric (1938, 1940), Baric (1936) with great accuracy speak about petrographic composition of granites, gneisses, mica and other rocks. After the Second World War researches are conducted by Jenko (1946), Antonovikj (1951), Ivanov and Stojanovic (1960), Izmajlov (1958, 1960) Pavlovic (1958), Ciric (1952) and Temkova (1958) and others. With the making of basic geological map of Yugoslavia, the authors of the paperwork „Prilep” (Rakichevikj, Stoyanov and Arsovski, 1965) and “Kavadarci” (Hristov Karajovanovikj, Strachkov, 1973) in the Interpreters they give detailed info of the processed lithological composition of rocks from the paperwork “Prilep” and Kavadarci.

In the second half of last century, knowledge of the existence of coal in Negotino area were obtained by performing the first researching digs in 1951. But first research boreholes were performed in 1954/56.

During the 1954's is started performing of research drilling.

In 1979 more additional geological researches were conducted to define the hydrogeological, geomechanical and tectonic features of the site and to re-categorize the mineral reserves of coal and place it in a higher category. In 1982 another additional researches were performed with same goal, to explore a particular area of the site with starting with opencast PC 1 and PC - 2 and run a re-categorization of mineral reserves in the limited area of the site.

In the period 2008 - 2009, additional geological researches were made by the Construction Institute of Macedonia in order to thoroughly reviewing the hidrogeological engineeric geological features of the site.

## GEOLOGICAL FEATURES

In geological composition of the deposit Negotino are participating sediments from top-Eocene flish serie, Pliocene lake sediments, Pliocene - Pleistocene limestone and travertine, deluvial and alluvial sediments and river terraces (Figure 1).

Of all the sediments of top-Eocene flish series in this part of Tikvesh basin, the upper zone of



flish is most prevalent, have the most of space and greatest thickness (more than 2500 meters). The area around the river Vardar is composed with the same sediments, whereas in Rosoman, Trstenik and Manastirec are covered by sediments of the Pliocene (Fig 1). According to lithological composition two subunits are allocated: down unit represented by sand areas, conglomerates and rarely lime, and upper unit represented mainly by clay, marls and rarely sand areas. In the lower sand area according to colour of sand we can find gray and yellow sand, which are in specified boundaries.

The upper unit has the most expressed flish characteristics. The lowest article of sequences is with large grained, and the highest with low grained. In different sequences appear detritical or sandy, sometime even bumpy lime. Most frequent participants of the sequence are sand and marl parts.

Pliocene lake sediments are creating most of the site. They are presented with a series of clay in different colours (1 pl) which was detected in the stream in village Tremnik near hill Svrchka and in the stream near village Prždevo. According to all available data, especially to the earlier mentioned sites and drilling holes, it can be concluded that the Pliocene sediments lie on the transgressive marls and claystones in paleogene.

Pliocene is also presented with a series of marls and clays with layers of coal (2Pl). Almost along the whole series is covered with young sediments and it can be found only on two localities: Crveni Bregovi and Timjanichka Cucka represented by yellow - red baked clays. South-west of the village Tremnik on the hill Svrchka there are thin sheets of gray marl with a total thickness of 3 meters which are on top of colorful clays under the yellow sands. Within pliocentic sediments a sandy series are derived (3Pl) which has the largest regional distribution. This series are homogeneous, consisting of yellow sands with and sandy gravel clay and grainy gray sand areas.

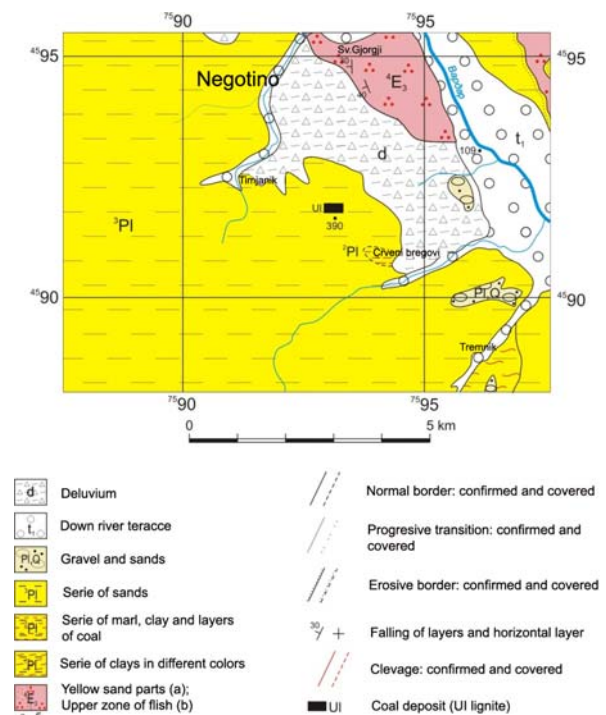
Upper Pliocene of the wider area is presented by limestone.

Limestones occur in two striking panels that are separated by yellow sands and agglomerating andezite tuffs. Just over pliocentic yellow-gray sand, and sand areas on height of 420 meters, lie desalinated limestone (thickness 40 m), then yellow sand areas and

sands (30 meters) andezite agglomerating tuffs (10 m) and finally ending with the second limestone panel with thickness around 15 meters.

As oldest quartile sediments are considered lake conglomerates and breccia then andezite agglomerating tuffs, latites, proluvijal and glacial deposits, limestone breccia and river terraces.

The largest distribution of these sediments have edge parts of the lake depressions, where we have a significant amount of Pliocene freshwater lake sediments. They are presented by low rounded conglomerates and breccia.



**Figure 1.** Geological map of coal deposit Negotino

According to the way of appearance, shape of boulder and position in space these sediments can be treated in two ways. First, that they are regressive terraced forms, lake islands of the youngest finished lake stadium and second as a cause of major volcanic activity at that time. Meaning, by ejecting volcanic pyroclastic material in water, the process of abrasion was strengthened, which caused formation of such coarse sediments. The thickness of conglomerates and breccia is approximately 100 meters.

In the valleys of the Vardar and Crna Reka we see lower (t1) and higher (t2) river terraces, deluvial (d) and modern alluvial (al) deposits.

### Qualitative features

For qualitative parameters of coal, arithmetic average value was calculated per boreholes without calculating their weighted values, but it is given a range of qualitative parameters.

Qualitative parameters of coal are shown in Table 1 according to data obtained from research.

**Table 1.** Qualitative parameters of coal

total moisture content	7,77 - 30,24 %
content of rough moisture	2,20 - 20,50%
content of higrated moisture	7,62 - 15,07%
content of ash	34,09 - 61,09 %
content of coke	52,27 - 71,59 %
content of C-fix	9,31 - 25,99 %
content of volatile substances	14,00 - 30,50 %
total amount sulfur	1,17 - 2,11 %
Combustible sulfur	0,50 - 1,00 %
Sulfur in the ash	0,32 - 1,92 %
DHV	1332 - 2985 kcal/kg

Along the processing of data for quality by samples from boreholes certain parameters were used in of the protocols of the column with a total moisture, while others were used from the column with moisture in analytical sample.

A calculation was made of the weighted values of qualitative parameters of coal boreholes for the whole site. When calculating the weighted average GHV and DHV ksal / kg have been converted in kJ / kg.

While analyzing the individual results for the qualitative parameters of the values by boreholes it can be concluded that certain values appear in a wide diapason including:

The content of total moisture borehole D-214 is 10.26%, while in borehole D-331 is 35.61%.

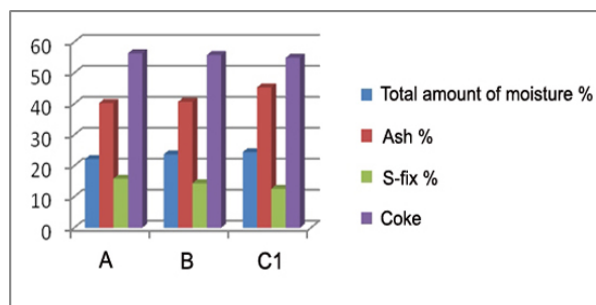
The content of ash in borehole D-251 was 18:38%, while in borehole D-317 is 59.14%.

DHV in the coal ranges from 4231 kJ / kg in borehole D-320 to 11,382 kJ / kg in borehole D-220.

Table 2 gives a cumulative preview of the weighted average quality of coal for certain categories of reserves and for the whole site.

**Table 2.** Cumulative summary of the weighted average quality of coal for certain categories of reserves and for the whole site.

Category of reserves	Geological reserves [t]	Qualitative parameters of coal									
		Total amount of moisture [%]	Ash [%]	Total amount of sulfur [%]	Sulfur in ash [%]	Combustible sulfur [%]	Coke [%]	S-fix [%]	volatile substances [%]	Combustible substances [%]	DHV [kJ/kg]
A	25.493.349	22,17	40,32	1.51	0.65	0.86	56.35	15.88	21.21	37.51	8166
B	36.933.339	23,73	40,7	1.46	0.48	0.98	55.78	14.34	21.09	35.57	7810
C <sub>1</sub>	20.058.420	24,44	45.35	1.07	0.45	0.62	54.91	12.59	19.48	30.21	6430
<b>Total</b>	<b>82.485.108</b>	<b>23,42</b>	<b>41,71</b>	<b>1.38</b>	<b>0.53</b>	<b>0.85</b>	<b>55.74</b>	<b>14.39</b>	<b>20.73</b>	<b>34.87</b>	<b>7584</b>



**Figure 2.** Histogram display of qualitative parameters of coal for A, B and C1 category

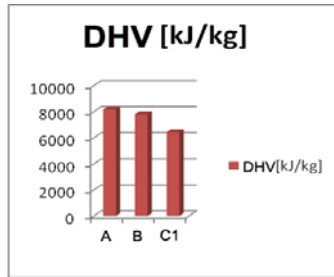


Figure 3. Histogram display of DHV

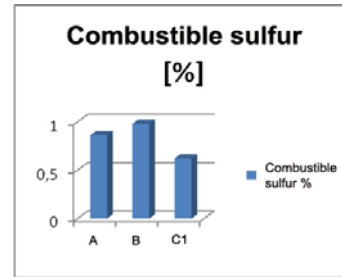


Figure 4. Histogram display of combustible sulfur in A, B and C<sub>1</sub> category

**Elemental composition of coal** - To determine the content of carbon, hydrogen and the sum of nitrogen and oxygen (C, H and N+O<sub>2</sub>) in coal expressed in %, 32 composite tests of coal were produced along with technical analysis of the composite.

Table 3. Elemental composition of coal - Analyses are made of composite samples of coal from drillholes with total moisture in the sample of 2009

No	Research drillhole	Percentage content of individual elements			Nitrogen + oxygen N + O <sub>2</sub> [%]
		C [%]	H [%]	Combustible [S]	
		3	4	5	6
1	4/13	16,08	1,67	0,83	7,50
2	6/13	16,42	1,59	0,66	8,90
3	8/15	19,69	2,05	0,56	10,25
4	8/21	21,98	2,05	0,53	10,94
5	10/11	16,69	1,73	0,86	7,84
6	10/15	19,39	2,13	1,18	9,43
7	10/27	25,05	2,06	0,67	13,20
8	10/29	12,06	1,34	0,36	7,04
9	10/31	19,59	2,01	0,76	9,09
10	12/9	14,01	1,57	0,83	7,80
11	12/31	20,04	2,09	1,02	11,14
12	14/15	20,23	2,04	1,19	9,18
13	14/21	22,76	2,21	0,71	10,93
14	14/27	22,93	1,97	0,94	12,08
15	14/29	22,08	2,07	0,68	11,77
16	16/17	21,61	2,23	1,25	10,93
17	16/19	20,66	1,91	0,69	9,72
18	16/33	15,94	1,50	0,94	8,71
19	16/35	24,38	1,93	1,55	9,83
20	16/37	18,01	1,84	0,94	9,84
21	18/7	21,24	1,98	0,80	9,44
22	18/9	20,07	2,02	0,94	9,29
23	18/13	16,42	1,75	0,73	10,00
24	18/15	21,00	1,85	1,47	8,33
25	18/17	21,95	1,79	1,05	9,79
26	18/21	23,00	2,10	1,10	9,67
27	18/25	23,67	1,95	1,43	10,40
28	18/27	21,19	1,89	1,29	9,79
29	18/29	20,07	1,92	0,65	10,29
30	18/31	19,94	1,91	0,92	9,54
31	18/37	13,50	1,51	0,45	7,93
32	20/25	17,58	1,77	1,30	9,08

**Chemical composition of ash from coal.** With chemical analysis of ash from coal the content of SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO,

CO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O are determined and expressed in %. Ash contains products of thermal and chemical changes of mineral substances as parts of solid fuel during its combustion. 20 composite tests were made during 2009 and the results of tests are shown in Table 4.

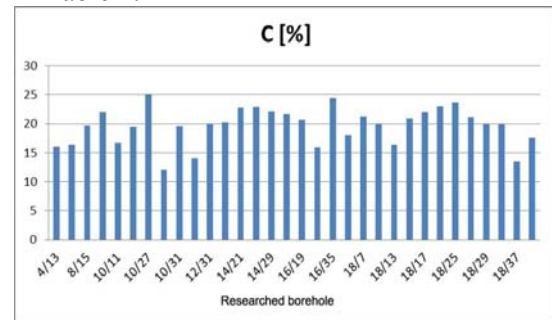


Figure 5. Histogram display of the percentage content of C in the coal deposit Negotino

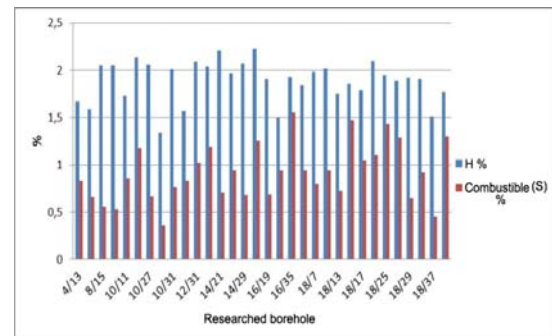


Figure 6. Histogram display of the percentage content of N and S in combustible coal from the coal deposit Negotino

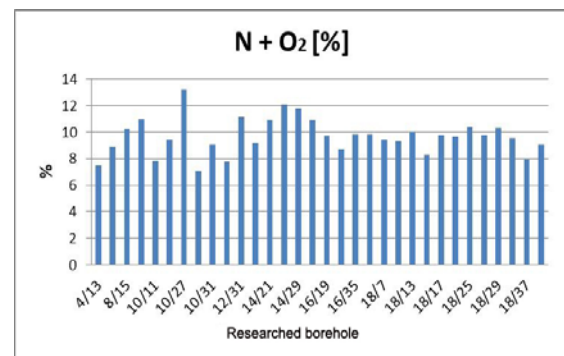
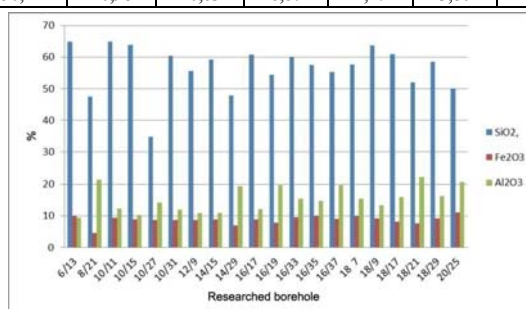


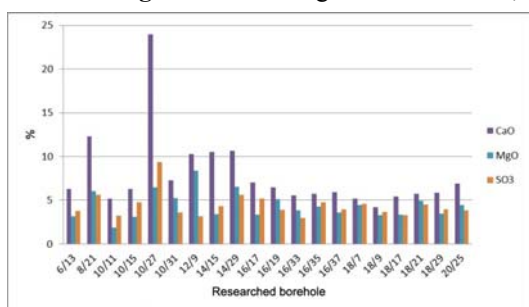
Figure 7. Histogram display of the percentage content of N + O<sub>2</sub> in the coal deposit Negotino

**Table 4.** Percentage content of individual chemical compounds obtained in analysis of ash from coal in 2009

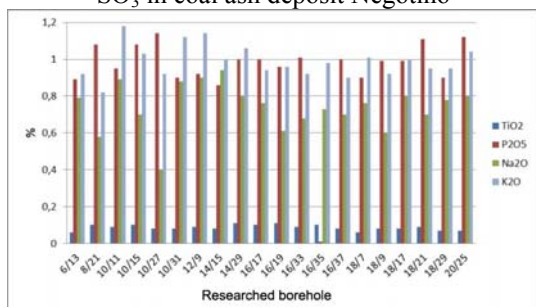
Number	Researched drilling hole	Percentage content of individual components									
		SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6/13	64,80	9,98	9,32	6,27	3,17	3,79	0,06	0,89	0,79	0,92
2	8/21	47,50	4,59	21,33	12,33	6,03	5,62	0,10	1,08	0,58	0,82
3	10/11	64,94	9,38	12,33	5,18	1,86	3,22	0,09	0,95	0,89	1,18
4	10/15	63,82	8,78	10,24	6,31	3,11	4,73	0,1	1,08	0,7	1,03
5	10/27	34,86	8,58	14,1	23,95	6,48	9,38	0,08	1,14	0,4	0,92
6	10/31	60,40	8,58	11,84	7,29	5,25	3,59	0,08	0,90	0,88	1,12
7	12/9	55,60	8,58	10,86	10,29	8,39	3,18	0,09	0,92	0,90	1,14
8	14/15	59,24	8,78	10,83	10,49	3,42	4,30	0,08	0,86	0,94	1,00
9	14/29	47,82	6,99	19,31	10,65	6,52	5,64	0,11	1,00	0,80	1,06
10	16/17	60,74	8,78	12,12	7,00	3,35	5,15	0,10	1,00	0,76	0,94
11	16/19	54,34	7,78	19,7	6,45	5,12	3,92	0,11	0,96	0,61	0,96
12	16/33	60,06	9,58	15,3	5,56	3,85	2,94	0,09	1,01	0,68	0,92
13	16/35	57,52	9,98	14,72	5,75	4,23	4,77	0,10	0,01	0,73	0,98
14	16/37	55,18	8,98	19,69	5,89	3,61	3,95	0,08	1,00	0,70	0,90
15	18/7	57,64	9,98	15,43	5,18	4,45	4,57	0,06	0,9	0,76	1,01
16	18/9	63,68	9,18	13,35	4,20	3,27	3,63	0,08	0,99	0,60	0,92
17	18/17	60,88	8,18	15,95	5,43	3,33	3,28	0,08	0,99	0,80	1,00
18	18/21	52,00	7,58	22,27	5,75	4,96	4,49	0,09	1,11	0,70	0,95
19	18/29	58,52	9,18	16,3	5,85	3,46	3,94	0,07	0,9	0,78	0,95
20	20/25	50,14	10,98	20,63	6,87	4,47	3,80	0,07	1,12	0,80	1,04



**Figure 8.** Percentage content of SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in ash from coal deposit Negotino



**Figure 9.** Percentage content of CaO, MgO and SO<sub>3</sub> in coal ash deposit Negotino



**Figure 10.** Percentage contents of TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O and Na<sub>2</sub>O in ash from coal deposit Negotino

According to the presented values for the content of individual compounds it may be noted that in the coal ash dominant is SiO<sub>2</sub>, than Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Due to the high content of SiO<sub>2</sub>, the ash is characterized as a strong acid.

#### PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS

The coal is of humus origin and is with distinctive line-form where as the main ingredient appears to be duren. Petrographically coal is determined as kutikulin duren composed mostly of fine cuticles. Lastly included are resin bodies which are part of xylene or are scattered across duren. Rest mass of duren constitute of line-form opakoides and mineral material. More over the ingredient duren contains layers of macerals of xylene and xylene klaren that are far less prevalent and almost anywhere without resin bodies. More often this sites appear roundish without structural material (opakoides) that indicates of vegetable origin of coal or from

the same mineralogical nature. Macerale xylene is semixylene originating from poorly plants with form of tree. Quantitative petrographic analysis indicates that the coal is poor in macerale rezinite and resin bodies kutikulen duren is relatively poorly present. The low percentage of xylene which often passes klaren and who is often without resin bodies can compensate the lack of rezinite. The petrografic examination is without doubt proven the genesis of autochthonous origin of coal, which indicates the peaceful and proper stratification of individual petrographic micro-ingredients, macerals. Coal is originating from humus substances in which except lignin cellulose participates too (cellulose lignin-coal).

### CONCLUSION

The area that occupies the site is a central part of Tikves basin and it is exceptionally with low hills. Tikves basin where the Negotino site belongs is in the Vardar zone. Basically paleoterrain the basin has the form of graben, created by radial tectonics during herzin orogenesis. Analyzing the individual results for the qualitative parameters of the given values by boreholes can be concluded that certain values appear in a wide range including: The content of total moisture in borehole D-214 is 10.26%, while in borehole D-331 is 35.61%. The content of ash in borehole D-251 was 18:38%, while in borehole D-317 is 59.14%. DTV in the coal ranges from 4231 kJ / kg in borehole D-320 to 11,382 kJ / kg in borehole D-220. According to the reported values for the content of individual compounds it may be noted that coal ash is dominant and then SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Because of the high content of SiO<sub>2</sub>, the ash is characterized as a strong acidulous. Coal deposit Negotino mikrolitotip was created by the lowest degree of carbonation with xylitene composition and rare presence of kutinite, sporinite and skleotinite. Detrit gelo is present in small amounts, and formed of detritus texts with sporadic structure gelinite with great presence of resin bodies. In a number of samples Detrit gelo was built by detrinite with resin bodies and colonial bacteriological pyrite. The goof in coal has silicate – carbonate composition with coal detritus of nature or more political terige quartz with alevrolitichal size of the grains. Generally, coal from Negotino site has lowest level carbonation and converting tissue in form

of tree to gelificated state of detritus-tex with transforming the detri-gel and makrolitotipe in the highest degree of carbonation which is a tekstit-gel.

### REFERENCES

- Арсовски М., Петковски Р. (1975): Неотектоника на Социјалистичка Република Македонија;
- Арсовски М. (1997): Тектоника на Македонија. Рударско-геолошки факултет – Штип.
- Аџигогов, Л., (1966): Извештај за геолошко – истражни работи и пресметка на рудните резерви на лежиштето Неготино. Стручен фонд на Геолошки завод – Скопје.
- Думуриџанов Н., Христов С., Павловски Б., Иванова В., (1976): Толкувач за Основна Геолошка Карта на СФРЈ, 1:100 0000, лист Витолиште и Кајмакчалан;
- Kassmat F. (1924): Geologie der zentralen balkanhalbinsel. Mit einer ubersicht des dinarischen gebirgsbaues. Berlin.
- Иванов Т. (1960): Никлоносно – железни руди на планината Кожуф кај с. Ражаново. Трудови на геолошки завод на СРМ, 7, Скопје.
- Измајлов, Н., (1955): Картко претходно сопштение о главним резултатима геологог картирања лигнитног басена Тиквеш. Стручен фонд на Геолошки завод – Скопје.
- Кполман, К., (1952): Извештај за геолошкото картирање на терциерната споредна котлина Маркова река. Трудови на Геолошки завод Скопје, Св. 3.
- Манасиев, Ј., Вельоски, С., Јовановски, М., (2001): Истраженост и постојни геолошки резерви на јаглен на територијата на Р. Македонија. Зборник на трудови од работна маса на тема Јаглените во Р. Македонија.
- Мариќ Л. (1949): Метаморфне камнине бакарног гумна ин Веслеца Ј ин ЈЗ од Прилепа. Расправе Акад. Знаности ин уметности IV. Љубљана.
- Поповиќ, Б., подгајни, О., (1955): Извештај о испитивању угља на истражног шахта у Неготино на Вардару. Институт за угља НРС Београд.
- Стојанов, Р., (1955): Извештај за геолошкото картирање на јагленосниот терциер помеѓу Ваташа и реката Вардар. Стручен фонд на Геолошки завод – Скопје.
- Христов С., Карајовановиќ М., Страчков М., (1973): Толкувач за ОГК на СФРЈ, лист Кавадарци, 1:100 000, Геолошки завод на СРМ, Скопје
- Цвијиќ Ј. (1906): Основи за геологију и географију Македоније и старе Србије. СКАН, књ. I, Београд.
- Чипан, А., (1956): Претходен геолошки извештај за јагленовиот тиквешки терциерен басен. Стручен фонд на Геолошки завод – Скопје.
- Чипан, А., (1957): Тиквешки јагленов басен (Неготино Вардар). Зборник на “II конгрес геолога ФНРЈ” – Сараево.
- Чипан, А., (1976): Темен јаглен (лигнит) – Неготино Вардар. Прво советување за енергетска проблематики во СР.Македонија, Скопје, стр.108-124.
- Џоцо, Р., (1955 и 1957): Извештај о микрорепалеонтолошкој анализи на језера бушотине из јагленосног басена Тиквеш. Стручен фонд на Геолошки завод – Скопје.

# ПРИМЕНЕТА МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊАТА НА НАОЃАЛИШТЕТО НА ЈАГЛЕН МАРИОВО, ЛОКАЛИТЕТ С. БЕШИШТЕ

Зоран Донев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>“Геохидроинженеринг”, ул. Теодосие Гологанов бр. 132,  
Скопје, Р. Македонија, ghi-vs1j@unet.com.mk

## Апстракт

Како што е наведено и во самиот наслов на трудот презентирана е применетата методологија на истражувањата, кои имаа за цел дефинирање на сите потребни параметри на лежиштето за изработка на потребната инженерскогеолошка, хидрогеолошка и геомеханичка документација која би послужила како основа за изработка на Инвестициона програма и натамошна припрема на Рударски проекти, со што би се согледале инвестиционите вложувања, неопходни за реализација на сите потребни фази на работа за отварање, односно експлоатација на наоѓалиштето. Истражувањата на наоѓалиштето се вршени во неколку наврати во изминатиот период за што постои изработена документација од секоја фаза која послужи како појдовна основа за програмирање на оптималниот фонд на нови истражувања за доистражување на наоѓалиштето и прекатегоризирање на неговите расположиви резерви од помала во поголема категорија, благодарение на погустување на истрагите.

**Клучни зборови:** хидрогеолошка, геомеханичка, експлоатација, наоѓалиште, прекатегоризирање, фонд

## ВОВЕД

Истражувањата кои се спроведоа во текот на 2009-2010 година имаа за цел да створат предуслови за изработка на Главните рударски проекти и целокупната потребна документација, со што децидно би се потврдила можноста за отварање на рудник и други објекти, а врз основа на техно-економски и други проектни анализи за исплатливоста за експлоатација на ова лежиште.

Овие истражувања се спроведени врз база на претходно изработен Проект во кој беа дефинирани истражните работи по вид, обем, локација, начин на изведување и др., од геолошки и геотехнички аспект, што е битен предуслов за добивање на содржајни и опстојни податоци за сознанија за геолошката градба, тектониката, инженерскогеолошките, хидрогеолошките и геомеханичките одлики на теренот, а со самото тоа би се добиле релевантни параметри за проектирање и разработка на технологијата на ископот на јагленот.

Со досегашните истражувања во лежиштето Мариово докажани се резерви на јаглен од А+В+С1 категорија од 111.269.840 тони. Податоците се дадени според Елаборат изработен од ГИ “Македонија” од 1985 година, кој може да се смета и како последна фаза од истрагите,

каде се вклучени сите други претходните сознанија. Резервите од А категорија се само 1.487.599 тона, В-категија од 10.199.000, а останатиот најголем дел се во С1 категорија.

Имајќи го во предвид овој постигнат степен на осознаеност на лежиштето и геолошката докажаност за соодветните категории на резерви, очигледно е дека е потребно соодветно доистражување со повеќеенаменски истражни и испитателни работи, а со степен кој е условен од припадноста на резервите кон одреден тип на категорија.

За таа цел оваа година се спроведени дополнителни истражувања на наоѓалиштето Мариово согласно споменатиот Проект, а се со цел да се дефинираат резерви на јаглен од А и В категорија, кои треба да бидат процентуално застапени приближно околу 70% од вкупните експлоатациони резерви. Со примена на предвидените истражни постапки, треба да се добијат и меродавни параметри за проектирање и разработка на соодветна технологија на ископ на јагленот. Така, треба да се обезбеди дефинираност на следните аспекти:

- реални и меродавни инженерскогеолошки и геомеханички параметри за секој литолошки член и комплекс како целина;
- дефинираност на хидрогеолошките параметри за секој литолошки член и комплекс како целина,
- дефинирање на бројот и видот на изданските зони (ако постојат) со сите потребни параметри (зони на прихранување, правци на движење на подземните води, хемискиот состав, субартески притисоци, прогноза на динамичките и статичките резерви на изданскиот тек и др).
- дефинирање на специфичните експлоатациони услови на лежиштето (гасоносност и samozапаливост на јагленот, експлозивност и агресивност на јагленовата прашина, склоност на лежиштето за избивање на гасови, склоност кон горски удари и др.).

Во крајната фаза од истражувањата треба да бидат анализирани условите за стабилност на теренот во фаза на експлоатација, можноста од појава на разни нестабилности, прогноза на механизмите, динамиката и манифестацијата на ваквите појави, условите за ископ, заштита на ископот, животната и работна средина и др.

## ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА

Геолошките истражувања во рамките на Мариовскиот плиоценски басен се вршени во неколку фази, од различен аспект и намена. Покрај регионалните геолошки истражувања кои се извршени за потребите на изработка на ОГК на лист Витолиште во мерка 1:100 000 ќе ги споменеме наменските геолошки истражувања кои се изведени со цел дефинирање на наоѓалиштето и утврдување на рудни резерви. Покрај геолошките, изведени се и одредени рударски работи. Истражувањата се вршени од повеќе геолози и тоа воглавно во рамките на проучувањето на поширокиот регион.

Со изработката на геолошката карта 1:10.000 детално е расчленет плиоценскиот седиментен комплекс, а издвоен е и продуктивниот хоризонт, кој понатаму е истражуван со комплексни геолошки и рударски работи. Во првата фаза од 1974 година се извршени следните истражувања:

### - Геолошко картирање во М 1:10 000

Со овој вид на картирање продуктивниот слој е пресечен со неколку профили во Витолишка река, Задна река и еден поток кој се наоѓа јужно од село Витолиште. Геолошкото картирање е извршено на површина од 30 km<sup>2</sup> и тоа воглавно во централниот и североисточниот дел на Витолишкиот плиоценски басен. Слојот на јаглен во зона на селото Витолиште, на одредени делови се забележува и на површина на теренот (слика 1),



Слика 1. Фото-снимка на изданок на јаглен-лигнит во селото Витолиште ( пред мостот на река Краваштинска)

- Геолошка проспекција во 1: 25 000 е извршена на должина од 20 km и по овој вид на истражување во долниот тек на Полчишка река е констатиран јагленосен хоризонт со дебелина преку 10 m.

- **Структурно дупчење** во оваа фаза е извршено преку две структурни дупнатини, при што беше утврдено дека во Мариовскиот басен постои само еден јагленов слој.

- Површинските манифестации на јаглен беа раскопани, за добивање податоци за длабина на простирање на слојот.

Со испитувањата се добиени следните резултати:

- Утврдено е површинско постоење на јагленов слој и тоа на површина од околу 8 km<sup>2</sup>.

- Раскопани се и опробани појавите на јаглен.

- Со структурно дупчење утврдено е постоење на еден јагленов хоризонт.

Врз база на добиените позитивни резултати, **втората фаза** од истражувањето беше ориентирана кон тоа да се утврди простирањето на јагленовиот хоризонт. За

таа цел во 1975 година извршени се вкупно 15 истражни дупнатини на развиена мрежа за истражно дупчење 500 x 600 метри.

**Третата фаза** на истражувањето 1976 година, беше ориентирана кон проширување на истражното поле кон западниот и југоисточниот дел на басенот. За таа цел беше изработена наменска геолошка карта  $M=1:10\,000$  на  $90\text{ km}^2$ . Како составен дел на картата изработена во таа фаза, беше развиена мрежа за истражно дупчење, при што беа издупчени 25 дупнатини. Со нив беше заокружано рудното тело кон западниот и источниот дел на басенот.

**Четвртата фаза** на истражувањето е извршена во 1977 година, со цел дефинитивно да се оконтуре рудното тело. За таа цел беа издупчени вкупно 13 дупнатини, така што целиот јагленосен Мариовски басен е истражен во најголем дел до С1 резерви, а делумно и од В резерви.

**Петата фаза** е во периодот од 2009 -2010 година. Методолошките испитувања се поставени со цел да се добијат релативни параметри за рационално и сигурно проектирање на технологијата на ископување и одводнување. Согласно на овие принципи, ќе се даде видот и обемот на истражните работи со кои ќе се опфатат сите потребни геолошки и геотехнички аспекти. Дел од испитувањата се изведуват на терен, додека испитувањата на физичко-механичките својства на материјалите се вршат во лабораториски услови.

#### **- Геолошки карактеристики на поширокото подрачје**

Со пообемните регионални геолошки истражувања во овој регион, издвоени се карпи од прекамбрискиот метаморфен комплекс, камбриски комплекс, карпи од јурска старост, горно кредни седименти и неоген квартерни наслаги.

Прекамбриски метаморфен комплекс на истражуваниот терен е претставен со тракасти мусковитски гнајсеви на места со пробои од гранодиоритски интрузивни тела и мермерна серија.

Камбриски комплекс е развиен во близина на с.Мелница претставен со филомикашисти и мермери кои се јавуваат како тракасти и леќести тела претставени со повеќе вариетети на шкрилци, а како најчести се: кварц-мусковит-серицитски филомикашисти, кварц-хлорит-

серицитски шкрилци, хлорит-амфибол-епидотски шкрилци, карбонатни шкрилци, циполини и др.

Јурски јурски творби на овој простор застапени се офиолитски карпи поврзани за тектонската зона почнувајќи од с.Гуѓаково преку с.Витолиште, с.Полчиште до Црна тумба. Во оваа група како доминантни се јавуваат темно зелените серпентинити во кои се забележуваат реликти од оливин и пироксен.

Горнокредни седименти имаат широко распространение на овој простор. Се јавуваат помалку од туронска, а повеќе од сенонска старост. На база на литолошко-фацијалните карактеристики расчленети се неколку фации, а како позастапени се среќаваат:

- Песочници, глинци и конгломерати ( $^2K^2_3$ )
- Плочести и банковити варовници ( $^4K^2_3$ )

#### **Комплекс на неогени и квартерни седименти и вулкани**

Во досегашната литература овие седименти се сметаат од горно плиоценска и плиоцен-квартерна старост. Меѓутоа со најновите расчленувања на неогените седименти како и според мислењата на Н. Думурџанов комплексот на продуктивната јагленова серија и формацијата на чакали песоци и глини треба да бидат воврстени во горномиоценската старост. Застапени се уште: сиви и сивокафеасти песоци суглини и поретко чакали ( $P_3$ ), вулканогени и бигровити седименти. Можат да се издвојат следните формации на овој комплекс:

- Формација на чакали песоци и глини ( $M_3$ )
- Формација-јагленов слој, трепели и алевролити ( $M_3$ )
- Чакали, песоци и суглини ( $P_3$ ) Делувиум (d)
- Вулканогено-седиментни творевини ( $P_1, Q$ )
- Кварцлатитски агломерати и туфови ( $\omega$ )
- Кварцлатитски бречи ( $\omega'$ )
- Бигрови, травертини и мермерен оникс ( $P_1, Q$ )
- Пролувиум (pr)
- Алувиум (al)



## КОНЦЕПЦИЈА И МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊАТА

Постоечката проблематика во наоѓалиштето заслужува сеопфатен третман од сите аспекти. Во овој смисол, испитувањата се методолошки поставени со цел да се добијат релевантни параметри за рационално и сигурно проектирање на технологијата на ископ и одводнување. Концепцијата која е претставена овде е заснована на следните основни принципи при истражување:

- принцип на постапност
- принцип на целосност
- принцип на рамномерност
- принцип на рационалност(економичност)

Согласно на овие принципи, даден е видот и обемот на истражни работи кои сеопфатно ги третира сите потребни геолошки и геотехнички аспекти. Истражувањата се изведени во теренски и лабораториски услови. Во теренски услови се изведени дупчачките работи и хидрогеолошките испитувања, а додека во лабораториски услови се изведени испитувањата на физичко-механичките својства на материјалите (како на непродуктивните јагленови слоеви така и на продуктивниот јагленов слој од квалитативно-квантитативен аспект и хемиски анализи на подземни води. За разрешување на споменатата проблематика проектирани се и изведени поголем број на истражни дупнатини на локалитетот Бешиште дадени во табела бр.1. Истражните дупнатини се изведени по квадратна профилска мрежа 250 x 250м и 500x500м. Во северо-западниот дел на реонот Бешиште, изведени се истражни дупнатини на погуста мрежа. Растојанието на истражните дупнатини е одредено од критериумите за класификација и категоризација на рудните резерви за одредени категории на резерви. Се врши геолошко картирање, фотографирање, и опробување на изваденото јадро, од дупнатините. Изваденото јагленово јадро се опробува секциски во зависност од дебелината на јагленовите слоеви со формирање на проби со дебелина од 1-5м.

Во поглед на местата за земање на примероци, постапката е следна:

-за кровинските слоеви на секои 20м по 1 проба.

-од зоната на кровинските слоеви кои се до 10 м над јагленовиот слој се земаат по 3 проби, со оглед на тоа дека оваа зона би била главна зона на ископ.

Од самиот јаглен се земаат минимум 3 проби за геотехнички анализи.

Под јагленовиот слој се земаат минимум 2 проби. Истражното дупчење главно се изведува како повеќенаменско и тоа: геолошко, инженерскогеолошко, хидрогеолошко и геомеханичко. Со истото се дефинира геолошката градба и инженерскогеолошките, хидрогеолошките и геомеханичките карактеристики на просторот во функција на длабина. Во овој случај како чисто структурно-геолошки се изведуваат истражни дупнатини каде не се предвидени хидрогеолошки и геомеханички испитувања. Иако кај овие дупнатини ќе се користи бентонитска исплака, секогаш кога е можно треба да се констатираат сите податоци за појава на подземна вода, ниво после 2 часа, искачување на пиезометарските нивоа од евентуални издани под притисок и др.

### Основни геомеханички карактеристики

Со цел испитување на физичко-механичките особини на јагленот и пратечките наслаги на јагленовиот слој во наоѓалиштето, извршено е соодветно истражно испитување. Во споменатите материјали презентирани се податоци за следните физичко-механички особини на јагленот: волуменска ( $\gamma_s$ ) и специфична тежина ( $\gamma$ ), влажност ( $W$ ), јакост на притисок ( $\sigma_c$ ) и затегнување ( $\sigma_t$ ), агол на внатрешно триење ( $\phi^\circ$ ), кохезија ( $C$ ) и модул на еластичност ( $E$ ).

Од земените проби со истражното дупчење, во лабораториски услови се врши испитување на физичко - механичките својства на застапените литолошки членови и на продуктивниот јагленов слој. Како дупнатини за геомеханички третман се планираат истите дупнатини кои ќе имаат и хидрогеолошки карактер.

Табела 1. Преглед на истражни дупнатини на локалитет „Бешиште“

Р.бр.	Број на дупнат.	Проект.	Извед.	Координати на проектирани дупнатини		Координати на изведени дупнатини			дебелина на јаглен (m)
		длабина (m)	длабина (m)	Y	X	Y	X	Z	
1	18/XV	90	70	7566250	4558000	7566248	4557999	762	0,9
2	19/XV	80	53	7566500	4559000	7566497	4558997	762	4,8
3	20/XV	60	51	7566750	4558000	7566752	4558003	755	11,5
4	19/XIV	75	70	7566500	4558250	7566498	4558234	724	-
5	20/XVI	100	75,2	7566750	4557750	7566750	4557751	782	11,8
6	21/XVI	115	84,5	7567000	4557750	7567000	4557743	793	7,7
7	22/XVI	115	94	7567250	4557750	7567251	4557750	807	9,6
8	20/XVII	135	110	7566750	4557500	7566747	4557508	826	10,75
9	24/XVII	160	102	7567750	4557500	7567760	4557492	823	10,35
10	19/XVI	120	80	7566500	4557750	7566504	4557757	814	9,2
11	23/XVII	120	124,3	7567500	4557500	7567505	4557505	817	10,45
12	22/XIV	110	58	7567250	4558250	7567250	4558246	800	-
13	16/XVII	130	151	7565750	4557500	7565750	4557500	860	-
14	22/XV	115	87	7567250	4558000	7567250	4558000	832	8,35
15	18/XVI	120	82,7	7566250	4557750	7566246	4557749	805	4,5
16	16/XV	110	78	7565750	4558000	7565751	4557999	798	-
17	16/XVIII	120	124,8	7565750	4557250	7565750	4557240	832	9,8
18	17/XIX	200	177,5	7566000	4557000	7566003	4557001	882	10,18
19	17/XVIII	90	145	7566000	4557250	7566011	4557248	856	6
20	23/XVI	120	72	7567500	4557750	7567502	4557750	791	9,1
21	21/XV	60	55	7567000	4558000	7567003	4558000	773	12,7
22	16/XVI	120	132	7565750	4557750	7565751	4557757	844	-
23	26/XV	200	129	7568250	4558000	7568250	4558003	887	4,4
24	21/XIV	60	48	7567000	4558125	7566998	4558117	782	11,65
25	17/XVI	120	110	7566000	4557750	7565984	4557751	826	0,85
26	18/XVII	140	128,8	7566250	4557500	7566252	4557500	846	11,5
27	17/XXII	200	180	7566000	4556250	7566001	4556245	942	4
28	25/XVII	150	125	7568000	4557500	7568001	4557505	858	9,3
29	24/XVI	135	130,5	7567750	4557750	7567744	4557745	861	9,95
30	19/XVII	140	151,2	7566500	4557500	7566499	4557497	859	4
31	21/XVII	135	134,5	7567000	4557500	7566998	4557498	855	9,7
32	21/XIX	200	190	7567000	4557000	7566997	4556988	898	9,3
33	25/XIX	200	216,7	7568000	4557000	7568000	4556998	949	10,35
34	24/XV	190	191	7567750	4558000	7567753	4557999	920	7,7
35	22/XVII	130	141,5	7567250	4557500	7567254	4557503	838	11,1
36	17/XVII	140	177,5	7566000	4557500	7566006	4557502	879	2
37	17/XXI	230	202,2	7560000	4556500	7560000	4556530	930	10,4
38	21/XXI	200	159	7567000	4556500	7567001	4556507	908	-
вкупно:		5035	4491,9						

Табела 2. Основни податоци за физичко-механичките карактеристики на јагленот

Физичко-механички карактеристики	Дупнатина S-1G		Дупнатина S-2G	
	100,7-102,0	102,7-105,6	87,5-90,5	90,5-93,9
$\gamma_s$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,52	1,51	1,38	1,53
$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	1,31	1,29	1,27	1,32
W (%)	80,30	60,80	66,50	79,71
$\sigma_c$ (KPa/cm <sup>2</sup> )	83,90	74,70	89,74	114,76
$\sigma_i$ (KPa/cm <sup>2</sup> )	7,30	10,50	10,60	12,05
$\phi$ (°)	55,00	47,00	50,67	52,57
C (KPa/cm <sup>2</sup> )	14,19	15,50	17,27	21,02
E (KPa/cm <sup>2</sup> )	5.560	5.210	5.730	6.215

### **Класификациони испитувања**

- влажност и збиеност во природна состојба;
- гранулометриски состав;
- специфична тежина;
- граници на конзистенција;
- содржина на согорливи материи.

Јакостните параметри се определуваат на непореметени проби со опити на триаксијална компресија од консолидирано недрениран тип, мерење на порниот притисок и опити на директно смолкнување од консолидирано дрениран тип. Исто така, се предвидува изведба на опити за определување на резидуалната јакост на материјалите. Стисливите карактеристики ќе се определуваат преку едометарски испитувања. Коефициентот на водопрпусност ќе се определува на непореметени примероци во пермеаметри со константен притисок. Одредување на условите на збивање на материјалите ќе се изведуваат пред се за одредување на оптималната збиеност на материјалите кои ќе се одлагаат. Ќе се примени стандарден или модифициран PROCTOR-ов опит.

### **РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА**

#### **Испитувања на јагленот**

Овие испитувања опфаќаат комплетна техничка, елементарна анализа на јагленот, комплетна силикатна (хемиска) анализа, топливост и меливост на пепелта. Со изработката на комплетната техничка анализа се одредуваат вредностите на параметрите кои го определуваат квалитетот на јагленот и тоа: влага, пепел, сулфур (вк.сулфур во пепелта и согорлив сулфур) кокс, Ц-фикс, испарливи и согорливи материи, горна и долна топлотна вредност.

Последните испитувања од 2009/10 год. се анализираа во современата лабораторија во Рударски Институт Белград. Како критериум за позитивна проба земена е калорична вредност од 10000cal/kg, односно 4170kJ/kg.

Содржината на пондерисана вредност на вкупна влага изнесува 36.77%, односно max во дупнатината 8/XVII изнесува 48.69%, додека min во дупнатината 215 изнесува 12.47%.

#### **Испитувања на подземни води**

Направени се хемиски анализи на подземните води, кои се вршат пред се од аспект на нивното евентуално корозивно дејство врз металите и абразивност на бетонот.

Треба да се спомене дека најголем дел од наведените лабораториски испитувања на материјалите и добивањето на параметрите се потребни за дефинирање на условите за случување на горски удари. Имено, врз основа на литолошкиот состав на наоѓалиштето, физичко механичките карактеристики на непосредната и високата кровина, како и теоријата на механизмите за случувањата на горски удари, и резултатите од геомеханичките испитувања треба да се направи согледување за можност од настанување на горски удари. Со овие согледувања исто така треба да се констатира начинот на зарушување на кровината. Кон овие анализи, исто така, треба да се има предвид можноста за бабрење на подината и изблик на вода и течен песок во рударските простории.

Содржината на пондерисана вредност на пепел изнесува 23.35%, односно max во дупнатината 202 изнесува 45.3%, додека min во дупнатината 105 изнесува 12.11%.

Вкупниот пондерисан просек на ДТВ кај проби со ДТВ >4170 kJ/kg изнесува 7664 kJ/kg, а кај проби со ДТВ >6500 kJ/kg изнесува 8553 kJ/kg.

ДТВ во јагленот се движи до max 16058 kJ/kg во дупнатината 215.

Пробите од новите дупнатини 2009/10 година имаат воедначена вредност за влагата која во просек се движи од 30-40%.

Исто така забележителни се пониски вредности на ДТВ кај пробите од 2009/10 година за 10-15%. Со цел на потврда на податоците направени се пет контролни технички анализи паралелно во три лаборатории и тоа во РИ Белград, РЕК Битола и лабораторијата на железара Скопје. Добиените резултати од лабораториите во РЕК Битола и Во РИ Белград се со грешка до 3%, а резултатите од железара Скопје отстапуваат до 10%, но оваа лабораторија не е акредитирана.

Можно е при опробувањата од истражувањата во поранешните фази јаловинскиот материјал да е целосно отстрануван од пробите. Во 2009/10 во пробите е влезен и јаловински материјал со дебелина до 20 cm.

### **Гасоносност и самозапалливост**

Што се однесува до гасоносноста на наоѓалиштето “Мариово”, досега се вршени поголем број на истражувања и испитувања. Секако дека овде најважно е прашањето за метаносноста. Во овој момент се смета дека лежиштето не би требало да биде метаносно имајќи ги во предвид карактеристиките на кровинските наслаги и доста плиткото залегање на јагленовиот слој на северниот дел. Но, во секој случај, ова не може да биде и конечна оцена, бидејќи истата може да се донесе само врз основа на соодветни испитувања.

Со дополнителното истражување со длабинско дупчење треба да се одреди:

1. Гасоносноста во наоѓалиштето
2. Гасната зоналност во наоѓалиштето и
3. Склоност на наоѓалиштето кон изблик на гас под притисок

Гасните карактеристики на наоѓалиштето подразбира одредување на истите на:

јагленовиот слој, повлатата, подината и останатите литолошки влијателни фактори.

Со одредување на гасоносноста треба да го одреди метанскиот режим на идната јама, односно потенцијалната загрозеност на идните рударски работи и експлоатацијата на јаглен, и овозможи преку соодветни мерки на заштита, проектирање на сигурна изработка на подземни рударски работи и експлоатацијата на јагленот. Прашањето за самозапалливоста на наоѓалиштето во овој случај е нешто повеќе одредено. Имено, постојат случаеви на самозапалливост на јагленот на споменатите изданоци во близина на село Витолиште.

Самозапалливоста на јагленот се одредува лабораториски на мостри од јадро добиено од длабинско дупчење како и мостри добиени од истражување со рударски работи. (Олпински, МКС или ЈУС) Според природниот индекс на самозапалливост  $S_{sz}$  (oC/min) одреден лабораториски, наоѓалиштето треба да се категоризира во четири категории.

### **Анализа на склоност на наоѓалиштето кон изблик на гасови под притисок**

Овие појави во подземната експлоатација покрај тоа што се утврдуваат во фазата истражувањето, дефинитивно се утврдуваат и во фазата на изведувањето на рударските работи. Како карактеристика на наоѓалиштето и работната средина избликтот на гасови под притисок се манифестираат во експлоатационата фаза кога се создаваат иницијални услови, но не ретко се појавува и во фазата на истражување, кога оваа појава треба да се детектира. Со истражувањето треба да се утврди дали наоѓалиштето Мариово содржи гас под притисок во јагленот и кровинските наслаги. Со истражувањето мора да се утврди дали постојат или не колектори на гас под притисок. Во колку постојат мора да се утврдат:

- локациите на колекторите
- вредност на притисокот на гасовите и
- состав на мешавината на гасот.

### **Самозапалливост на јагленот**

Самозапалливоста на јагленот се одредува лабораториски на мостри од јадро добиено од длабинско дупчење како и мостри добиени од истражување со рударски работи. (Олпински, МКС или ЈУС) Според природниот индекс на самозапалливост  $S_{sz}$  (oC/min) одреден лабораториски, наоѓалиштето треба да се категоризира во четири категории.

### **ЗАКЛУЧОК**

После деталната разработка на протоколите од сите фази на испитување на наоѓалиштето и земајќи ги во предвид сите погоре споменати параметри за квалитативните карактеристики на јагленот во јагленовото наоѓалиште Мариово, може да се каже дека за проби со ДТВ >4170 kJ/kg добиени се следните пондерисани вредности:

- долна топлотна вредност 7664 kJ/kg.
- вкупна влага 36,77%;
- пепел 23.35%;
- вкупен сулфур 1.18%;
- согорливи материи 40.71%

од пробите со ДТВ >6500 kJ/kg резултатите се следните:

- долна топлотна вредност 8553 kJ/kg

- вкупна влага 36,63%;
- пепел 21.13%;
- вкупен сулфур 1.3%;
- согорливи материи 42.33%

Просторно јагленот со највисок квалитет (>10000 kJ/kg) е сконцентриран во ревер Бешиште-Манастир и мал дел во ревер Витолиште.

Јагленот со најниска вредност на квалитетот главно е по ободите на наоѓалиштето, како и во јужниот обод на наоѓалиштето и северниот дел на преодот од ревер Полчиште кон ревер Витолиште.

### БЛАГОДАРНОСТ

До колегите од “Геохидроинженеринг”, со кои ги изведовме надзорните истражни работи, дадени согледувања, и неколку фирми кои ги изведоа деталните геолошки истражувања од кои: Градежен Институт Македонија, ГЕИНГ-Скопје и др.

### ЛИТЕРАТУРА

- Андреевски.Б.: Јаглени во Македонија;
- Думурџанов Н., Христов С., Павловски Б., Иванова В., 1976: Толкувач за Основна Геолошка Карта на СФРЈ, 1:100 0000, лист Витолиште и Кајмакчалан;

- Думурџанов Н., Серафимовски Т., Burchfiel C.B., 2008: Генеза и литостратиграфија на неогенските и плеистоценските басени во Македонија. Прв Конгрес на геолозите на Р. Македонија. Ст. 29-52. Охрид;
- Елаборат за класификација и категоризација на резервите на јаглен на лигнитското лежиште “Мариово”, 1985 год. – Градежен институт Македонија-Завод за геотехника ;
- Елаборат за хидрогеолошките карактеристики на лигнитското наоѓалиште “Манастир”, Мариово, 1985 год. – Градежен институт Македонија-Завод за геотехника
- Извештај од извршените истражувања за наоѓалиштето за јаглен “Мариово”-Витолиште, 1978 год. – Геолошки завод Скопје, ООЗТ Институт за геотехника и хидрогеологија;
- Извештај за резултатите постигнати при истражувањето на лежиштето “ Мариово”, со преглед за понатамошните активности, 1984 год. - Рудници и фабрика “Партизан” ;
- Програма за дополнителни испитувања и истражувања на лигнитското наоѓалиште “Мариово”, 1982 год - Рудни-и и фабрика “Партизан”;
- Проект за геолошки и геомеханички истражувања доистражувања и испитувања на јагленовото наоѓалиште “Мариово” – Градежен факултет Скопје-катедра за геотехника, мај 2009;

# ЈАГЛЕНОВО НАОЃАЛИШТЕ “МАРИОВО” ПРЕСМЕТКА НА КВАЛИТЕТ И РЕЗЕРВИ

Елизабета Ралева<sup>1</sup>, Златко Илијовски<sup>2</sup>, Данче Тодорова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ГИМ-Геотехника, ул Дрезденска 52 1000 Скопје Р.Македонија  
elizabetha.raleva@gim.com.mk, geozlatko@gim.com.mk, dance.nikolovska@gim.com.mk

## Апстракт

Истражувањата на јагленовите наоѓалишта и нивната подготовка за експлоатација претставува исклучително комплексна задача, која бара мултидисциплинарен пристап. Во фазата на истражување од особено значење се дупчачките, геолошките, хидрогеолошките и геомеханичките истражни работи. Концепцијата на која се темелат овие истражувања, се заснова пред се на следните принципи: постапност, целосност, рамномерност и рационалност.

Во овој труд се прикажани добиените резултати од извршените пресметки за квалитат и резерви на јагленовото наоѓалиште Мариово. Видот и обемот на истражни работи во ова наоѓалиште сеопфатно ги третира сите потребни геолошки и геотехнички аспекти.

Наоѓалиштето претставува потенцијален јагленокон, кој во иднина би можел да се експлоатира со подземна експлоатација.

**Клучни зборови**- јаглен, наоѓалиште, квалитет, резерви

## ОПШТИ КАРАКТЕРИСТИКИ

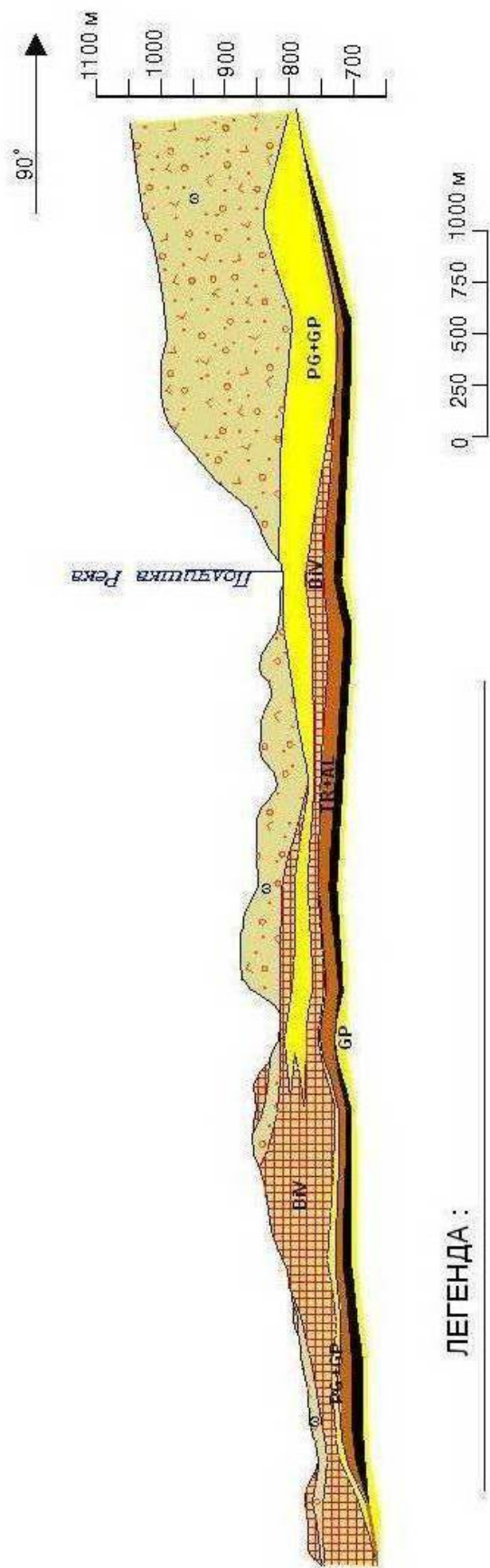
Наоѓалиштето на јаглени-лигнити се простира на околу 30 км воздушна линија југоисточно од градот Прилеп во регионот Мариово, помеѓу селата Витолиште, Полчиште, Бешиште и Манастир во рамките на кои се извршени обемните геолошки, инженерскогеолошки, хидрогеолошки, и геомеханички истражувања и испитувања. Теренот кој беше опфатен со досегашните истражувања и испитувања

зафаќа простор од околу 15 км<sup>2</sup>. Овој истражуван терен всушност претставува дел од Мариовскиот неоген базен. Од досегашните истражувања констатирано е дека се работи за лигнитски јагленосен слој кој е развиен во источниот и централниот дел на неогениот Мариовски басен. Од морфолошки аспект теренот претставува едно ридесто плато опкружено со планини.







## ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА НАОЃАЛИШТЕТО

Во поглед на геолошката градба на наоѓалиштето, се издвојуваат следните литолошки формации.

- Подинска формација на чакали, песоци и глини (GP-M<sub>3</sub>)
- Јагленосна формација-јагленов слој (J-M<sub>3</sub>)
- Формација на алевролити, алевролитски лапори, глинци (TR-M<sub>3</sub>)
- Формација на песоци, алеврити, суглини и чакали (AL-P - PI)
- Вулканогено-седиментни творевини ( $\omega$ -PI, Q)
- Кварцлатитски агломерати и туфови ( $\omega$ )
- Кварцлатитски бречи ( $\omega'$ )
- Бигорливи варовници, бигори, травертини и оникси (Bi- PI, Q)
- Пролувиум (pr)
- Делувиум (d)
- Алувиум(al)



**ЛЕГЕНДА :**

- |  |                            |  |                             |
|--|----------------------------|--|-----------------------------|
|   | Вулканогени творби         |   | Трепели и алевролити        |
|   | Бигровити варовници        |   | Продуктивна серија          |
|  | Песокливо глинорита серија |  | Глинорита песоковита серија |

Слика 1. Карактеристичен надолжен профил во наоѓалиштето

## ПОРАНЕШНИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА

Во минатото Мариовскиот неоген басен бил предмет на различни геолошки истражувања, а биле изведени и одредени рударски работи.

Почетокот на првите наменски истражувања за јаглен во подрачјето на Мариово датира од 1974 година. Истражувањата се вршени од страна на Геолошки завод - Скопје во четири фази. Вкупно биле направени 55 истражни дупнатини, од кои позитивни 36, а негативни 19, со вкупна должина од 6730 метри. Како резултат на истражувањата е добиено следното:

- еден јагленов слој, сместен во источниот и централниот дел на плиоценскиот басен
- слојот генерално благо тоне кон запад
- јагленовиот слој има протегање ССИ-ЈЈЗ
- дебелината на јагленовиот слој се движи од 1,3 - 14,9 метри или просечно 8,1 метар
- средна долна калорична вредност изнесува 1,824 килокалории.
- утврдена старост - средно плиоценска
- утврдени резерви -  $V + C_1 = 111.264.840$  тони јаглен на површина од  $13,86 \text{ км}^2$
- просечна јагленосност - 8.025.300 тони јаглен на површина од  $1 \text{ км}^2$

Табела 1. Резерви од истражни работи вршени во минатото

<b>Вкупни геолошки резерви пресметани во 1974/77 (пресметките се извршени на целото наоѓалиште)</b>		
категорија резерви	количина на јаглен	
	( $\text{м}^3$ )	(т)
А категорија	–	–
Б категорија	17 562 500	22 831 250
Ц <sub>1</sub> категорија	68 029 690	88 438 590
<b>Вкупно Б+Ц<sub>1</sub></b>	<b>85 592 190</b>	<b>111 269 840</b>
<b>Вкупни геолошки резерви пресметани во 1983/84 (пресметките се извршени на ревер “Манастир”)</b>		
категорија резерви	количина на јаглен	
	( $\text{м}^3$ )	(т)
А категорија	1 221 229	1 487 599
Б категорија	7 845 084	10 198 613
<b>Вкупно А+Б</b>	<b>9 066 313</b>	<b>11 686 212</b>
Ц <sub>1</sub> категорија	2 433 072	3 162 998
<b>Вкупно А+Б+Ц<sub>1</sub></b>	<b>11 499 385</b>	<b>14 949 200</b>
<b>Вкупни геолошки резерви пресметани во 1983/84 год. (за целото наоѓалиште, Елаборат 1985г.)</b>		
категорија резерви	количина на јаглен	
	( $\text{м}^3$ )	(т)
А категорија	–	1 487 600
Б категорија	–	33 029 860
Ц <sub>1</sub> категорија	–	76 752 378
<b>Вкупно А+Б+Ц<sub>1</sub></b>	–	<b>111 269 840</b>



Во 1984 година од страна на Рудници и фабрика “Партизан” Прилеп, повторно е направено истражување, но овојпат на дел од наоѓалиштето Мариово, односно во Ревир Манастир и околу село Витолиште. Истражуван е простор од 340 хектари, број на изведени структурни дупнатини во Ревир Манастир 56, од кои позитивни 39, негативни 7, (се однесува на 46 дупнатини за кои постои документација), со вкупна длабочина од 4780,4 м (се однесува на вкупно 56). Како резултат на овие истражувања се добиени следните резултати:

- просечна дебелина на јагленов слој се движи 8-12 метри
- утврдени резерви  $A+B+C1= 21.695.472$  тони јаглен, од кои на Ревир Манастир припаѓаат 20.635.160 тони јаглен, а Витолиште ПК1 и ПК2 не се економски исплатливи.

Во поглед на хидрогеолошката истраженост, наоѓалиштето е третирано многу малку, и добиените резултати даваат само општи показатели за хидрогеолошките услови во наоѓалиштето.

## **ВИДОВИ, ОБЕМ И МЕТОДОЛОГИЈА НА ДОПОЛНИТЕЛНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА ФАЗА 2009-2010 год.**

### **Концепција и методологија на истражувањата**

Постоечката проблематика во наоѓалиштето заслужува сеопфатен третман од сите аспекти. Во тој смисол дополнителните истражувања и испитувањата од оваа фаза се методолошки поставени со цел да се добијат релевантни параметри за рационално и сигурно проектирање на технологијата на подземен коп. Концепцијата која е применета во овие истражувања се заснова пред се на

следните принципи: постапност, целосност, рамномерност и рационалност односно економичност. Во согласност на овие принципи, видот и обемот на истражни работи во ова наоѓалиште сеопфатно ги третира сите геолошки, хидрогеолошки и геотехнички аспекти. Се реализираат комплексни теренски лабораториски и кабинетски истражни работи.

## **КВАЛИТАТИВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЈАГЛЕНОТ**

### **Техничка анализа на јагленот**

Кај Техничката анализа на јагленот извршена е детална преработка на сите протоколи од сите досега реализирани истраги, односно анализи. Со цел, што Како критериум за позитивна проба земена е калорична вредност од 1000сcal/kg, односно 4170KJ/kg

Направени се следниве обработки, анализи и презентации;

-анализи по дупнатини посебно за проби со ДТВ >4170KJ/kg и посебно за проби со ДТВ> 6500kj/kg

напречни профили, на категорија на резерви, и вкупно на целото наоѓалиште.

За подобро согледување на корелативните зависимости се изработени корелативни дијаграми (вкупна влага-ДТВ; вкупна влага-пепел; пепел- ДТВ; согорливи материји-ДТВ) и хистограми за вредностите на

подетално да се прикажат сите досегашни резултати од техничките анализи на јаглените обработени за вкупно 132 позитивни дупнатина, со вкупно 288 проби.

-анализа по блокови

-анализа по профилски линии

-анализа по категории на резерви

При тоа, се дава можност за согледување не само на резултатите на поединечните дупнатини и нивните средни пондерисани вредности, туку и на пондерисаните вредности на секој блок, на вкупна влага, пепел, согорливи материји и ДТВ.

Во анализата се вкалкулирани вредностите кои се однесуваат на техничка анализа со вкупна влага. Пооделно се разгледувани вредностите на влага, пепел, сулфур, кокс, Ц-фикс, согорливи материји, испарливи материји, горна и долна топлотна вредност.

**Табела 2. Вид и обем на геолошки истражувања и испитувања**

Позиција	Опис на извршените работи	Единечна мера	Количини по мера
<b>А</b>	<b>ДУПЧАЧКИ РАБОТИ</b>		
1	Геолошко, хидрогеолошко и геомеханичко истражно дупчење на 90 истражни дупчотини со длабочина од 50-260м	m'	10 620
<b>Б</b>	<b>ГЕОЛОШКИ РАБОТИ</b>		
1	Картирање (реамбулација) на поширокиот терен во размер 1 : 10 000 од геолошки аспект	km <sup>2</sup>	20
2	Геолошко картирање на јадрото, опробување и скратување	m'	10 500
<b>В</b>	<b>ГЕОЛОШКИ ЛАБОРАТОРИСКИ РАБОТИ</b>		
1	Технички анализи на јагленот	анализа	170
7	Елементарни анализи	анализа	55
2	Состав и топливост	анализа	30
3	Меливост	анализа	20
4	Петрографски испитувања	анализа	15
5	Петрографски анализи на околните карпи	анализа	20
6	Проби за дефинирање на радиоактивност	анализа	10
<b>Г</b>	<b>ХИДРОГЕОЛОШКИ И ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ РАБОТИ</b>		
1	Хидрогеолошко и инженерско геолошко картирање на теренот	km <sup>2</sup>	20
2	Вградување на пиезомертри во 64 структурните дупнатини и во 11 јаловите дупнатини, вкупно 75, кровински, подински и меѓуслојни.	m'	7 800
3	Испитување на водопропусност во теренски услови по метода на Le Franc во кровина, подина и меѓуслојни.	опит	35
<b>Д</b>	<b>ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ЛАБОРАТОРИСКИ РАБОТИ</b>		
1	Јакост на притисок на јаглен, бигор, туф и др;	опит	70
2	Јакост на затегање по бразилска метода;	опит	70
3	Индекс на јакост врз јаглен, бигор, туф и др;	опит	150
4	Јакост на смолкнување на контакти или вдолж пукнатини;	опит	12
5	Сила на режење на јаглен;	опит	10
6	Трајност на јаглен.	опит	10
<b>Ѓ</b>	<b>ГЕОМЕХАНИЧКИ ЛАБОРАТОРИСКИ АНАЛИЗИ</b>		
<b>Е</b>	<b>ГАСОНОСНОСТ И САМОЗАПАЛИВОСТ</b>		
1	Одредување на самозапаливост на јагленот;;	проби	22
2	Запаливи и експлозивни карактеристики на јагленовиот прав;	проби	22
3	Агресивни карактеристики на јагленовиот прав;	проби	22
4	Дефинирање на гасоносност врз проби од јаглен.	проби	22

Резерви	Вкупна маса (t)	Техничка анализа со вкупна влага							
		Вкупна влага (%)	Пепел (%)	Вкупен сулфур (%)	С-фикс (%)	Испарл. материји (%)	Согорл. материји (%)	Кокс (%)	ДТВ (kJ/kg)
пондер А	41,150,787	36.14	23.45	1.26	16.94	23.47	40.41	38.23	7761.11
пондер Б	45,797,125	36.70	23.04	1.14	16.82	23.44	40.26	40.60	7571.68
А+В	86,947,911	36.44	23.23	1.20	16.87	23.46	40.33	39.48	7661.08
пондер Ц1	9,779,965	37.69	22.68	1.17	16.67	22.96	39.63	39.06	7593.88
Вк.пондер	96,727,876	36.56	23.18	1.20	16.85	23.41	40.26	39.44	7654.27

Вредност на ДТВ >4170kJ/kg

	Број на поз. дупнатини	Бр. проба	Дебелина (м)	Влага %	Пепел %	Сулфур Вкупно %	Кокс %	С-фикс %	Исп.мат. %	Сог.мат. %	Топлотна вредност	
											Горна(kJ/kg)	Долна(kJ/kg)
вкупен пондерисан просек 74/77	31	56	174.00	39.53	20.34	0.97	42.88	21.89	18.10	40.12	9306.35	7838.61
вкупен пондерисан просек 84/85	29	85	219.70	28.47	26.22	1.54	40.83	16.38	36.06	45.12	10766.38	9451.98
вкупен пондерисан просек 2009/10	72	147	536.28	39.27	23.15	1.11	35.84	12.82	24.68	37.57	8313.87	6874.88
вкупен пондерисан просек од трите фази	132	288	929.98	36.77	23.35	1.18	38.34	15.36	26.14	40.71	9078.95	7664.01

8738.93

Вредност на ДТВ >6500kJ/kg

	Дебелина (м)	Влага %	Пепел %	Сулфур Вкупно %	Кокс %	С-фикс %	Исп.мат. %	Сог.мат. %	Топлотна вредност	
									Горна(kJ/kg)	Долна(kJ/kg)
вкупен пондерисан просек 74/77	129	39.49	18.28	1.06	42.20	23.17	18.93	42.31	10166.23	8667.45
вкупен пондерисан просек 84/85	194	27.85	24.91	1.57	39.97	17.06	38.25	47.05	11156.35	9982.09
вкупен пондерисан просек 2009/10	350	40.45	20.09	1.24	34.40	14.32	25.03	39.72	9158.14	7718.76
вкупен пондерисан просек од трите фази	674	36.63	21.13	1.30	37.51	16.81	27.67	42.33	9927.52	8553.14

9456.56

## РЕЗЕРВИ НА ЈАГЛЕН

Конечната цел на секое истражување е покрај останатото да се изврши и пресметка на количината на корисната супстанца која претставува основен параметар при утврдување на вредност на наоѓалиштето, одредување на инвестиционите средства за отварање рудник како и утврдување на годишен капацитет на производство. Притоа е извршена пресметка на вкупните рудни резерви со кои располага наоѓалиштето без да се земе во предвид нивната можност за искористување. Тие

всушност претставуваат геолошки рудни резерви. Ако резервите се набљудуваат од техничко економски аспект јасно е дека еден дел од геолошките резерви од разноразни причини (метод на откопување, техничко-технолошки услови, ниска калорична вредност, начин на преработка и сл.) ќе бидат неискористени, тоа се вонбилансни резерви, додека резервите што можат да се искористат се билансни рудни резерви.

Табела за пресметка на прекатегоризирани геолошки рудни резерви (ДТВ > 4 170 kJ/kg) по метода на блокови - Наоѓалиште јаглени Мариово 2009/10				
	А резерви (t)	Б резерви (t)	А+Б резерви (t)	Ц1 резерви (t)
Ревир Манастир-Бешиште	14,692,740.73	9,076,404.91	23,769,145.64	9,779,964.84
Ревир Полчиште	11,138,631.78	24,414,566.46	35,553,198.24	
Ревир Витолиште	15,319,414.01	12,306,153.48	27,625,567.49	
Вкупно за -ело наоѓалиште	41,150,786.52	45,797,124.85	86,947,911.37	
Вкупно резерви А+Б+Ц1 (t)			96,727,876.20	
Табела за пресметка на прекатегоризирани билансни рудни резерви (ДТВ > 6 500 kJ/kg) по метода на блокови - Наоѓалиште јаглени Мариово 2009/10				
	А резерви (t)	Б резерви (t)	А+Б резерви (t)	Ц1 резерви (t)
Ревир Манастир-Бешиште	12,353,660.17	6,762,007.02	19,115,667.19	6,994,525.22
Ревир Полчиште	9,668,875.84	16,730,857.07	26,399,732.91	
Ревир Витолиште	8,654,960.91	9,104,152.66	17,759,113.57	
Вкупно за -ело наоѓалиште	30,677,496.92	32,597,016.76	63,274,513.67	
Вкупно резерви А+Б+Ц1 (t)			70,269,038.90	

При пресметка на геолошките рудни резерви на јагленот од наоѓалиштето Мариово освен резултатите од сегашните истражувања, земени се во предвид и резултатите од сите досегашни истражувања и испитувања. Кај поделбата на рудните резерви во овој елаборат, пресуден параметар е ДТВ на јагленот. Јагленот со калорична вредност поголема од 4170 kJ/kg е земен во предвид при пресметка на т.н. **геолошки рудни резерви**, додека јагленот со калорична вредност поголема од 6500 kJ/kg ги прави

#### ТЕХНИЧКО-ЕКОНОМСКА ОЦЕНА

При анализа на техничко-економската оценка се земени во предвод сите позначајни фактори и показатели карактеристични за наоѓалиштето Мариово. Пресметките на економската (вредносна) оценка се извршени врз основа на следните показатели:

т.н. **билансни рудни резерви**. Рудните резерви беа пресметувани по метода на блокови и по контролна метода на паралелни профили.

Со метода на паралелни блок профили, каде се користени напречните геолошки профили од 6-6' до 36-36'. добиени се следниве вредности:

Вкупни геолошки резерви А+Б+Ц1= **99,100,843 т.** разлика во однос на метод по блокови е 2.39%,

Вкупни билансни резерви (ДТВ>6500кј/кг) А+Б+Ц1= **73,324,068 т.** разлика по однос на метод на блокови е 4.16%.

- Билансните резерви од 70.269.039 се намалени за 10%, тоа се всушност експлоатационите губитоци;
- Времето (рокот) на експлоатација е пресметан на 38,7 години добиен врз основа на геолошките рудни резерви од 96.727.876т. и годишен капацитет од 2.500.000тони.

- При пресметката на економската оцена земено е во предвид времето на експлоатација од 25,3 години добиено од експлоатационите рудни резерви (билансните резерви намалени за 10%) од 63.242.135 тони, и годишен капацитет од 2.500.000 т.
- Профитот пресметуван на 3,16 евро/тон, добиен од продажна

цена намален за експлоатбилни и др. трошкови;

- Пресметките на вредносната (економска) оцена е извршена по Хосколд-овата формула и изнесува 73.831.776 евра, која претставува сегашна вредносна (економска) оцена која ја отсликува големината на идниот профит на наоѓалиштето Мариово.

## ЗАКЛУЧОЦИ

Изведените дополнителни истражни работи во фазата 2009-2010 година представуваат комплексни истражувања. Во фазата на реализација на овие истражувања беа вклучени и изработувачите на главниот рударски проект кои имаа увид на самиот процес на истражувања, а во поедини фази даваа свои предлози и сугестии. Имено реализираните теренски, лабораториски и

кабинетски геолошки, хидрогеолошки, инженерско геолошки и геомеханички истражувања и испитувања на солидно ниво направија анализи и обработка на предметната проблематика. Добиените резултати се квалитетна подлога за изработка на главен рударски проект за отварање на подземен коп за експлоатација на јагленосното наоѓалиште Мариово.

## БЛАГОДАРНОСТ

Изразуваме целосна благодарност на ЕЛЕМ АД-Скопје кој што во својата инвестициона програма продолжува со инвестирање во

делот на геолошките, хидрогеолошките и геомеханички истражувања на јагленовите наоѓалишта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проект за геолошки и геомеханички истражувања, доистражувања и испитувања на јагленовото наоѓалиште “Мариово”-Универзитет “Свети Кирил и Методиј”-Градежен Факултет Скопје, мај 2009;
2. Завршен извештај за истражувањата на јаглен во Мариово 1974-77 Книга 1-Геолошки завод- Скопје, 1977;
3. Извештај за постигнатите резултати при истражувањето на лежиштето “Мариово” со преглед за понатамошните активности-Рудници и ф-ка “Партизан” Прилеп, септември 1984;
4. Документација од тековна анализа и обработка на податоците во рамките на реализацијата на дополнителните истражувања и испитувања фаза 2009-2010 год.

# ГЕОЛОШКИ И СТРУКТУРНО -ТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЈАГЛЕНОВОТО НАОЃАЛИШТЕ „ЖИВОЈНО“

Ласте Ивановски<sup>1</sup>, Петре Пасков<sup>2</sup>, Елизабета Ралева<sup>3</sup>, Владимир Костовски<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>ГИМ-Геотехника, ул Дрезденска 52 1000 Скопје Р.Македонија

*laste.ivanovski@gim.com.mk; elizabeta.raleva@gim.com.mk; vladimir.kostovski@gim.com.mk*

<sup>2</sup>”Геоинженеринг”, ул. Теодосие Гологанов бр. 132, Скопје, Р. Македонија, *ghi-vslj@unet.com.mk*

## Апстракт

Во својата развојна политика за навремено обезбедување на експлоатациони рудни резерви на јаглен, АД „ЕЛЕМ“-Скопје во последните неколку години превзема интензивни активности во доистражување и на останатите позначајни наоѓалишта на јаглен во Р.Македонија. Во текот на 2011-2012 год. на наоѓалиштето „Живојно-Гермијан“ се извршени пообемни доистражувања со цел заедно со поранешните истражувања и испитувања да дадат задоволителна истраженост на наоѓалиштето. Овие истражувања би биле појдовна основа за изработка на рударскиот проект и отпочнување со експлоатација на ова стратешка минерална суровина за производство на електрична енергија. Една од позначајните фактори кои ќе влијаат на начинот и методологијата на експлоатација на јагленот од ова наоѓалиште е интензивната тектоника, затоа во овој труд ќе направиме обид малку подетално да ја опишеме структурно-тектонската градба на истражуваниот простор.

**Клучни зборови-** јаглен, наоѓалиште, тектоника, истражување, неоген

## ВОВЕД

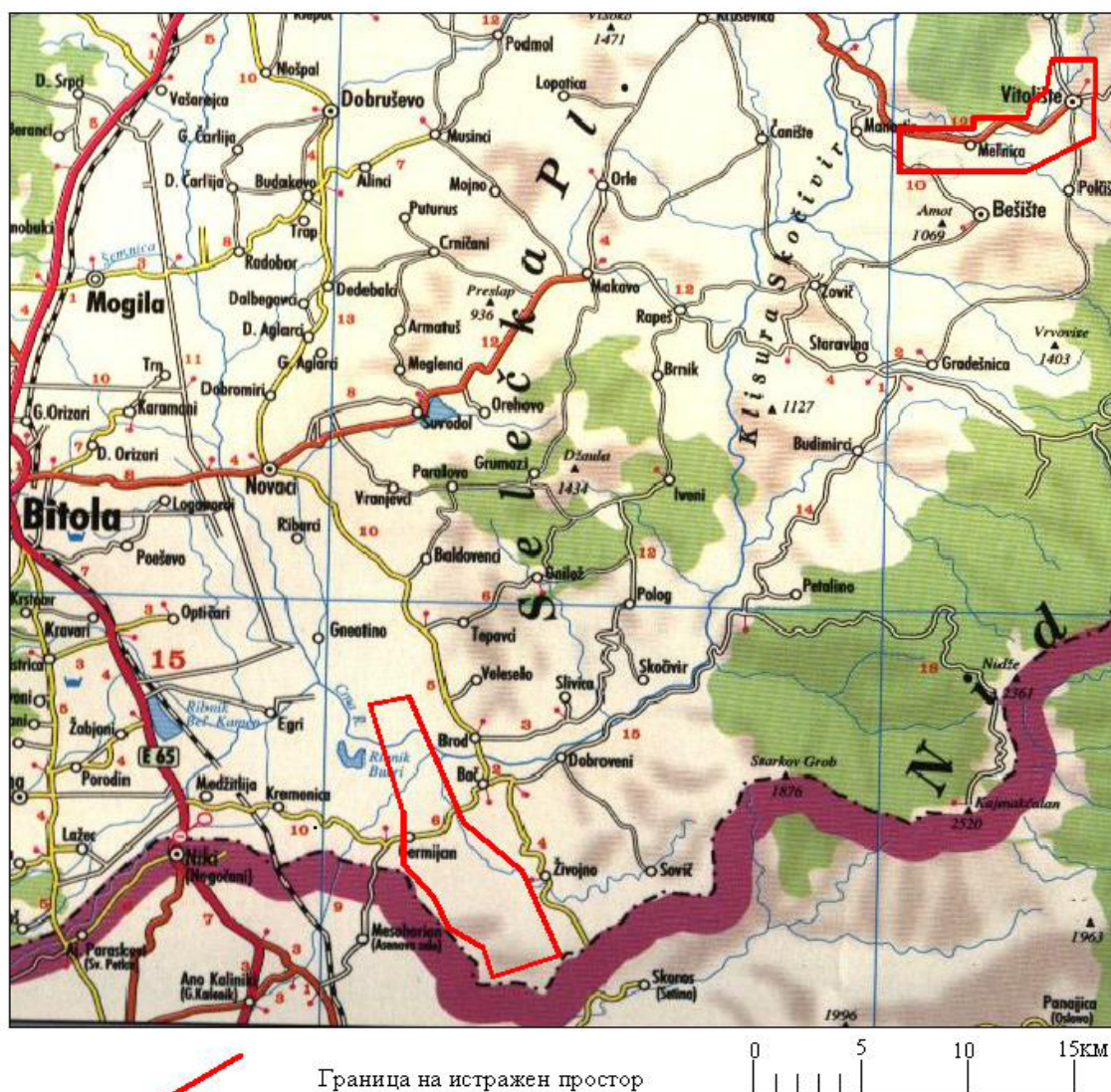
Во геолошката литература наоѓалиштето за јаглен „Живојно“ е познато многу поодамна. Природни изданоци на јагленот се откриени со еродивните процеси во потокот северно од с.Живојно и во потокот Здравница ЈИ од селото. Првпат со експлоатација на јагленот е отпочнато во далечната 1917 год. за потребите на првата светска војна. Експлоатацијата продолжила и по војната, се до 1924 год. Рудникот „Живојно“ работел и за време и по II светска војна, периодот од 1942 до 1951 год, кога се вршени и одредени. Поорганизирани и поинтензивни истражувања и испитувања се вршени со прекиди во 1967, 1973, 1981-1986 и најновите 2011-2012 година. Вкупно досега

на простор од околу 20 км<sup>2</sup> помеѓу селата Живојно Бач и Гермијан се издупчени преку 300 истражни дупнатини со преку 30 000 метри за дефинирање на квалитативно-квантитативните параметри на јагленот, геолошките, структурно-тектонските, хидрогеолошките и геомеханичките карактеристики на јагленот и на околурудните карпести маси. Со сите досегашни и сегашни истражувања и испитувања се утврдени преку 100 000 000 тони геолошки рудни резерви од кои околу 70% можат да бидат експлоатабилни, со што би се продолжила работата на термоелектраните од РЕК Битола за уште неколку децении.

## ОПШТИ ПОДАТОЦИ ЗА ТЕРЕНОТ

Истражното подрачје се наоѓа во југозападниот дел на Македонија, во најјужниот дел на Пелагонската котлина. Како главни водни артерии се Црна река која претставува северна граница на јагленовото наоѓалиште, и Јелешка река

како нејзина главна десна притока. Теренот речиси по целата површина е испресечен со поголеми или помали долини кои ги собираат површинските води а со тоа вршат и ерозија на теренот. Сите долини претставуваат повремени водни текови.



Слика 1. Ориентациона карта

## ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ТЕРЕНОТ СО ПОСЕБЕН ОСВРТ НА НЕОГЕНИТЕ СЕДИМЕНТИ

Врз основа на досегашните геолошки сознанија добиени од споменатите повеќефазни истражувања извршени на овој простор, може да се заклучи дека наоѓалиштето Живојно како и останатите наоѓалишта од Пелагонскиот терциерен басен ги има сите карактеристики што се однесуваат на седиментационата средина на басенот.

Периферниот дел и палеорелјефот на наоѓалиштето „Живојно“ се изградени од прекамбриски карпи со висок кристалинитет-гнајсеви и микашисти, палеозојски кварц-графитични шкрилци, филити и аргилошисти преку кои трансресивно и дискордантно лежат миоцен-плиоценски и квартарни седиментни наслаги.

-Комплекс на неогени и квартарни седименти

Дебелината на неогените седименти на истражуваниот простор се цени на преку 500м. Со сегашните истражувања се издупчена е истражна дупнатина до длабочина од 336м на околу 2км ЈЗ-дно од с.Гермијан и истата е завршена во неогените седименти. Неогените седименти имаат генерален правец на протегање СЗ-ЈИ, со субхоризонтална слоевитост, со паден агол 0-100. Во близината на раседите каде имало и одредени придвижувања падниот агол се менува и може да достигне и 25-300 (приметено кај неколку истражни дупнатини лоцирани во близина на раседни структури).

Врз основа на истражните дупнатини можат да се издвојат неколку фации:

- фација на сиво-зеленикави ретко чакалести песоци, алевролити и поретко песочници - сиво-зеленикава серија, продуктивен хоризонт,
- фација на алевролити (трепели) - сива серија,
- фација на песоци, глини и чакали - жолта серија, и
- квартерни наслаги.

Сиво-зеленикавата серија се наоѓа во најниските делови на неогениот басен. Оваа фација има доста голема дебелина претставена со слабо врзани и неврзани песоци, добро збиени полускаменети финопесокливи прашина - алевролити и поретко песоциливи чакали и глини. Местимично доста ретко во оваа серија се јавуваат и тенки прослојки (0.2-0.6м.) од доста цврсти и скаменети ситнозрни песочници со карбонатно врзиво, а се сретнуваат и лапоровити варовници.

Продуктивниот хоризонт се наоѓа во горниот дел на сиво-зелената серија од вертикалниот профил. Дебелината на овој хоризонт најчесто е од 25-30м. Претставен е во подинскиот дел со повеќе јаглени слоеви со различни дебелини во кои често се јавуваат интерстратификувани прослојки од јагленова глина и глиновит јаглен. Јаглените слоеви и прослојки во подинскиот дел на продуктивниот хоризонт се расслоени со песоциливи и заглинети слабопесоциливи прашина, со што подинскиот јаглен е раслоен на 1-5 а на места и повеќе јаглени слоеви. Во највисокиот дел на продуктивниот хоризонт се наоѓа главниот јагленов слој кој е од типот на кафеави јаглени-лигнит, кој има континуирано распространување на речиси целиот истражен простор, доста воедначен квалитет со најчеста дебелина од 4-8м, и локално истенчување.

Сивата серија-фација на алевролити (трепели) лежи директно преку главниот јагленов слој со кој преминот е јасен и го претставува повлатниот дел на јагленот. Дебелината на овие седименти кои го покриваат јагленот речиси по целото распространување изнесуваат од околу 20-100м, а на периферните делови исклинуваат. Се смета дека имаат еолско потекло, а во нив е докажано присуство на голем број видови на алги дијатомеи, а се сретнуваат и

лисја и тревки носени со ветрот. За овие сиви полускаменети доста лесни маси често се користи како технички - називот трепел. Жолтата серија - песоциливи глиновитата фација е претставена во пониските делови со добротратификувани послабо дијагенизирани финопесоциливи прашина - алевролити, а во повисоките делови неврзани песоци и поретко суглини прашина и чакали. На поголем дел од теренот на контактот со алевролитите (трепелот) се јавуваат посветли (светло-сиви до беличести) партии кои наликуваат на алевролитите (сивиот трепел), но се послабо дијагенизирани, беличести и добро стратификувани. Максималната дебелина на жолтата серија изнесува до 70-тина м. Во близина на нивото на подземните води доста често во оваа серија особено по слоевитоста и по испуканите партии има развој на лимонитска материја. Оборудувањето на железните оксиди настанува со реакции на подземните води со водите од плитките бари збогатени со кислород. Во најгорните нивои на поедини места се сретнува и прашкаста карбонатна материја, потеклото не е докажано.

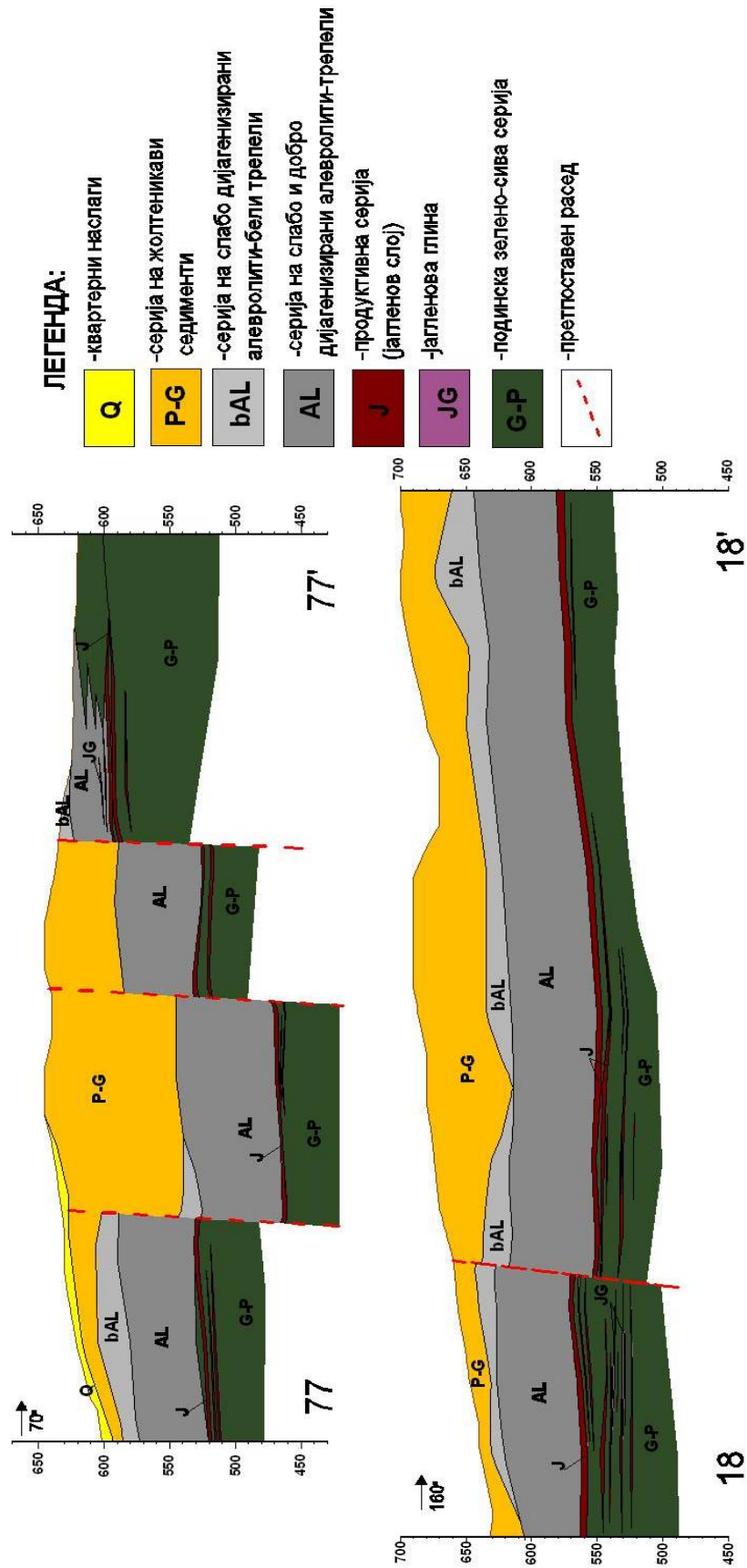
Квартерните наслаги имаат најмала дебелина (до 10-тина м.), и се најмалку застапени во споредба со останатите литолошки членови. Претставени се со повеќе генетски типови: пролувијални наслаги, речни тераси, и алувијални наслаги.

Пролувијалните наслаги, се распространети во јужниот и ЈИ дел на на теренот, на повисоките делови, и на поголема површина ги препокриваат плиоценските седиманти. Истите се со мали дебелини. Лесно се забележуваат по својата кафеава до црна боја. Изградени се од кафеави до црвени песоциливи и слабо чакалести глини местимично со зголемено присуство на облупоци од претежно кварц, гнајс и поретко шкрилци.

Речните тераси се формирани исклучиво во северните делови на теренот и претставуваат наслаги на Јелешка и Црна река. Претставени се со песоци и чакали и променлива содржина на глиновита компонента.

Алувијалните наноси се развиени околу Јелешка и Црна река, но се сретнуваат и по поголемите потоци кои вршат ерозија на теренот.





Слика 2. Карактеристичен напречен и надолжен профил во наоѓалиштето Живојно

## СТРУКТУРНО-ТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

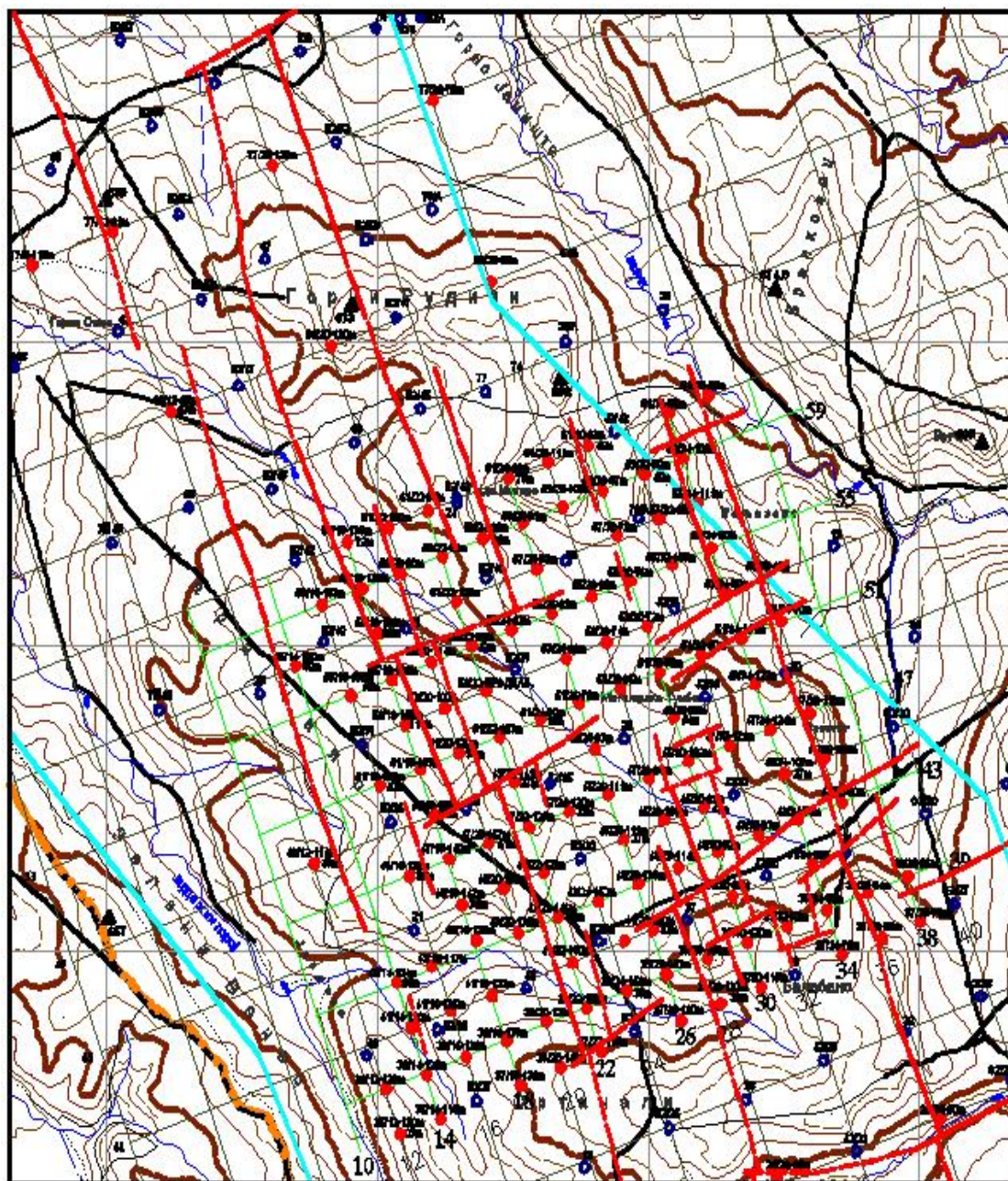
Од целокупните истражувања на овој простор докажано е дека јагленовото наоѓалиште „Живојно“ има мошна сложена структурно-тектонска градба. Тоа се должи на фактот што просторот на наоѓалиштето се наоѓа на самата граница помеѓу две крупни геотектонски единици Пелагонскиот хорст антиклинориум и Западно-македонската зона. Самото наоѓалиште претставува дел од Пелагонската депресија која претставува најголема тектонска депресија во Р.Македонија. Зафаќа површина од 1486км<sup>2</sup> од која јужниот дел и припаѓа на Р.Грција. Оконтурирана е од сите страни со планински масиви изградени од прекамбриски и старопалеозојски карпи, додека самата е исполнета со неогени седименти со проценета дебелина на преку 800м. Наоѓалиштето „Живојно“ го завзема ЈИ дел на Пелагонската депресија, до самата Македонско-Грчка страна и зафаќа површина од преку 20км<sup>2</sup>.

На просторот помеѓу Живојно Бач и Гермијан каде е сместено наоѓалиштето развиени се пликативните и дисјунктивните структурни форми. Деталната анализа за тектонските движења и последиците од нив се вршени само врз основа на резултатите добиени со истражното дупчење, поради тоа што истите не се манифестираат на површината на теренот. Тоа се должи на слабата цврстина на седиментните карпи, препокриеност со квартерните наслаги, а и најголем дел од теренот претставува ораници.

Со анализа на истражните дупнатини и надолжните и напречни профили може да се изнесат следните видувања. Неогените седименти заедно со јагленовиот слој претставуваат една моноклинала благо разбранувана по протегањето на истите во склоп на која се развиени неколку помали или поголеми слабо развиени синклинални и антиклинални форми. Но, сепак од структурно – тектонски аспект за наоѓалиштето се позначајни дисјунктивните форми кои се интензивно

развиени на овој простор. Најинтензивно се развиени раседите со протегање ССЗ-ЈИ односно го задржуваат смерот на контактот помеѓу Западномакедонската зона и Пелагонскиот хорст антиклинориум. На овој простор генерално можат да се издвојат две покрупни раседни структури (раседи од прв ред) со правец на протегање ССЗ-ЈИ кои се паралелно помеѓу себе и речиси по целата должина пропратени со други помали раседи паралелно распоредени. Освен овие раседи издвоени се и раседи кои се помлади од предходно опишаните со правец на протегање ИСИ-ЗЈЗ и на одредени простори прават паркет-структура. Раседните структури според нивната оријентација, најверојатно претставуваат пострудно обновување на старите структури, по кои дошло до спуштање на поедини блокови, чии што скокови на места достигнуваат и до 30м. Од анализа на напречните профили е констатирано дека раседнувањето е изразено во вид на спуштање или издигање на дисконтинуирани блокови со кој процес дошло до стварање на тектонски грабени. Со раседнувањето се зафатени сите литолошки членови, што укажува дека тектониката се одвивала долг временски период односно до крајот на таложее на горноплиоценските седименти. Се смета дека и појавата на гасови кои се присутни на овие простори е поврзана за длабоките раседни зони кои контактираат со основното горје. Појава на гасови се констатирани и при самото дупчење во неколку истражни дупнатини во исплакмата, а потврдени се и со геофизички испитувања изведени на дупнатината 53/22 длабока 336м.

Од теренското геолошко картирање забележани се само неколку свлечишта на потегот према Живојно кои се како резултат на еродивните процеси и слабоврзаните нестабилни карпести маси, но истите се од локален карактер, поради поволната морфологија на теренот.



ЛЕГЕНДА :

- Новизведени дупнатини
- Стари дупнатини
- Стари дупнатини со единечен (кровински) пиезометар
- Стари дупнатини со двоен (кровински и подински) пиезометар
- Мрежа
- Претпоставени раседи, утврдени со истражни работи

Слика 3. Карта на раседи во наоѓалиштето Живојно



Слика 4. Расед, регистриран на површински коп Брод Гнеотино

При картирањето на јадрото од дупнатините констатирани се воглавном два система на пукнатини, едниот со субвртикален пад (паден агол од 80-900), кој е почест, и другиот дијагонален на предходниот со паден агол 40-550. Овие пукнатини веројатно се како последица на тектонските придвижувања и дијагенетските процеси на литолошките седиментни единици. Се сретнуваат како во јагленовите слоеви така и во околујагленовите седиментни маси.

Со погустување на мрежата на истражните дупнатини со истрагите од 2011-2012год се добиени доста подетални податоци за структурно-тектонската градба на делот од

наоѓалиштето каде се пресметани рудни резерви од „А“ категорија. Поради сложената тектонска градба наоѓалиштето е прекласифицирано во прва група, втора подгрупа за разлика од порано кога било класифицирано во прва група, прва подгрупа. Пожелно е и по отварањето на јагленокопот да продолжат геолошките истражувања со што ќе се постигне подетално дефинирање на раседните структури кои ќе ја олеснат експлоатацијата на минералната суровина. Ова ќе се постигне со погустување на истражната мрежа и поточно определување на местото на раседите и скокот на раседните крила.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Врз основа на напред реченото може да се констатира дека сегашните истражувања и испитувања како дополние на предходните допринесоа за подетално осознавање за геолошката и структурно-тектонската градба на наоѓалиштето. Овие истражувања и испитувања би биле појдовна основа за понатамошните проектирања и планирања за отварање на јагленокоп. Ако направиме корелација со останатите јагленови наоѓалишта од Пелагонскиот басен може да констатираме дека генетски и ова наоѓалиште е постанато заедно со останатите од овој регион. Има слична геолошка градба како во повлатата така и во подината на јагленот. За

разликата од наоѓалиштето Суводол ова наоѓалиште е доста расслоено во подината нешто слично како и Брод-Гнеотоно. Ако направиме споредба во поглед на структурно-тектонската градба може да констатираме дека најинтензивни и најактивни тектонски движења се одвивале баш во наоѓалиштето „Живојно“, за разлика од останатите наоѓалишта каде тектониката е послабо изразена. Доколку дојде до отварање на рудникот за јаглен „Живојно“ потребно е да се формира добар стручен тим кој ќе ги земе во обзир сите досегашни истражувања испитувања и научни сознанија и заедно со одредени нови доистражувања постојано ќе допринесуват

кон поправилна и поекономична експлоатација на јагленот. Ова е поради тоа што и покрај обемните истражувања поради покриеност на теренот со квартарни

### **БЛАГОДАРНОСТ**

Изразуваме целосна благодарност на ЕЛЕМ АД-Скопје што во својата инвестициона програма продолжува со инвестирање во делот на геолошките, хидрогеолошките и геомеханички истражувања на јагленовите

### **ЛИТЕРАТУРА**

Елаборат за рудни резерви на јагленот во лежиштето Живојно со состојба на 31.12.1983 година, Геолошки Завод-Скопје,

Елаборат за постигнатите резултати со истражувањето во јагленосниот ревер „Живојно – Стар Рудник“ со пресметка на рудни резерви, „Живојно“, 1988год,

Проект за геолошки и геомеханички доистражувања за јаглен „Живојно“- Рек Битола, Градежен факултет-Скопје, 2010год.

(Косигин, 1969): Тектоника

наслаги и растресити карпести маси можно е одредени раседи да не се докрај дефинирани.

наоѓалишта во републиката, меѓу кои и наоѓалиштето „Живојно“. Благодарност и до ГИМ АД Скопје и колегите од Геолошкиот сектор кои дадоа свој придонес со соодветна стручна консултација за реализација на овој труд.

(Арсовски, Петковски, 1975): Неотектоника на Социјалистичка Република Македонија,

(Андреевски, 1995): Јаглени - Генетски и квалитативни карактеристики, наоѓалишта на јаглен и заштита на животната средина (Арсовски, 1997): Тектоника на Македонија,

(Думурџанов, Ѓошев, 2005): Геолошко картирање,

(Серафимовски, 2009): Генеза на рудни наоѓалишта.

# КОМПАРАТИВНИ СОГЛЕДУВАЊА НА ГЕОЛОШКИ И ЕКОНОМСКИ ПАРАМЕТРИ НА ЈАГЛЕНОВИТЕ НАОЃАЛИШТА „МАРИОВО“ И „ЖИВОЈНО“

Петре Пасков<sup>1</sup>, Ласте Ивановски<sup>2</sup>, Трифун Милевски<sup>3</sup>,  
Данче Тодорова<sup>4</sup>, Игор Пешевски<sup>5</sup>

<sup>1</sup>„Геохидроинженеринг“, ул. Теодосие Гологанов бр. 132, Скопје, Р. Македонија, ghi-vs@unet.com.mk

<sup>2,3</sup>ГИ Македонија АД-Скопје, ул. Дрезденска бр. 52 Скопје, Р. Македонија, laste.ivanovski@gim.com.mk

<sup>4</sup>ЕЛЕМ АД-Скопје 11. Октомври 9 1000 Скопје Р. Македонија, trifun.milevski@elem.com.mk

<sup>5</sup>Градежен факултет-Скопје, Партизански одреди 24, Скопје, Р. Македонија, pesevski@gf.ukim.edu.mk

## Апстракт

Во трудот се прикажани компаративни согледувања (разликите и сличностите) помеѓу двете ново доистражени наоѓалишта на јаглен „Мариово“ и „Живојно“. На наоѓалиштето „Мариово“ од страна на домашни истражувачи во периодот на 2009-2010 год. се извршени пообемни детални геолошки, инженерскогеолошки, хидрогеолошки и геотехнички доистражувања и испитувања. По овие истражувања изработени се три елаборати: Геолошки, Хидрогеолошки и Геотехнички елаборат. Истите имаат синтезен карактер, при што во нив освен актуелните се презентирани и сите досегашни истражувања. Од страна на словенечка фирма уследи изработка на Рударски проект и изготвување на инвестициона програма за отварање на јагленовото наоѓалиште „Мариово“. Непосредно по завршување на истражните работи на „Мариово“, во периодот 2011-2012 год., се пристапи кон доистражување и на јагленовото наоѓалиште „Живојно“. Теренските работи се целосно завршени, а во трудот се прикажани дел од добиените резултати од лабораториски и кабинетски испитувања. Двете наоѓалишта претставуваат добра перспектива за понатамошен развој на енергетскиот сектор во Република Македонија.

**Клучни зборови:** јагленово наоѓалиште, компарација, доистражување

## ВОВЕД

Во последните неколку години АД „Елем“ - Скопје врши интензивна инвестициона активност со цел доведување на задоволителен степен на истраженост на двете перспективни наоѓалишта на јаглен „Мариово“ и „Живојно“. Ова е со цел да се согледа можноста за стартување со експлоатација на овие две наоѓалишта. Врз основа на Проекти за доистражување подготвени од страна на Градежен факултет Скопје, изведени се обемни

истражни работи проследени со подготовка на синтезни елаборати. За подобра компарација на геолошко-геотехничките услови во самите наоѓалишта, во кратки црти се презентирани геолошките, структурно-тектонските, инженерскогеолошките, хидрогеолошките, геомеханичките карактеристики како и квалитативно-квантитативните параметри на двете наоѓалишта.

## ГЕОЛОШКА ГРАДБА

• Наоѓалиштето „Мариово“ претставува дел од мариовскиот неоген басен, кој претставува изолиран дел и не контактира со Пелагонскиот јагленосен басен. Од досегашните истражувања може да се констатира дека наоѓалиштето „Мариово“ е изградено од миоценско-плиоценски и плиоценско-квартерни седименти кои лежат трансгресивно и дискордантно преку прекамбриските гнајс-микашисти и гранодиорити, како и еден дел кој лежи преку мермерната серија и горнокредниот флиш. Во геолошката градба на мариовското јагленово наоѓалиште учествуваат повеќе

седиментни формации: подинска формација претставена со сивозелени чакали песоци и глини, продуктивна јагленосна формација, повлатна формација на сивкасти алевролити (трепели), формација на сивкасто жолтеникави песоци, алевроити, суглини, чакали и др. вулканогено седиментни творби (кварцлатитски агломерати, туфови, туфити, вулкански песок, прашина и др.) и формација на бигорливи варовници, бигори, бигорлива дробина, травертини и оникси. Местимично неогените (мио-плиоценски) наслаги се покриени со квартерни седименти претста-

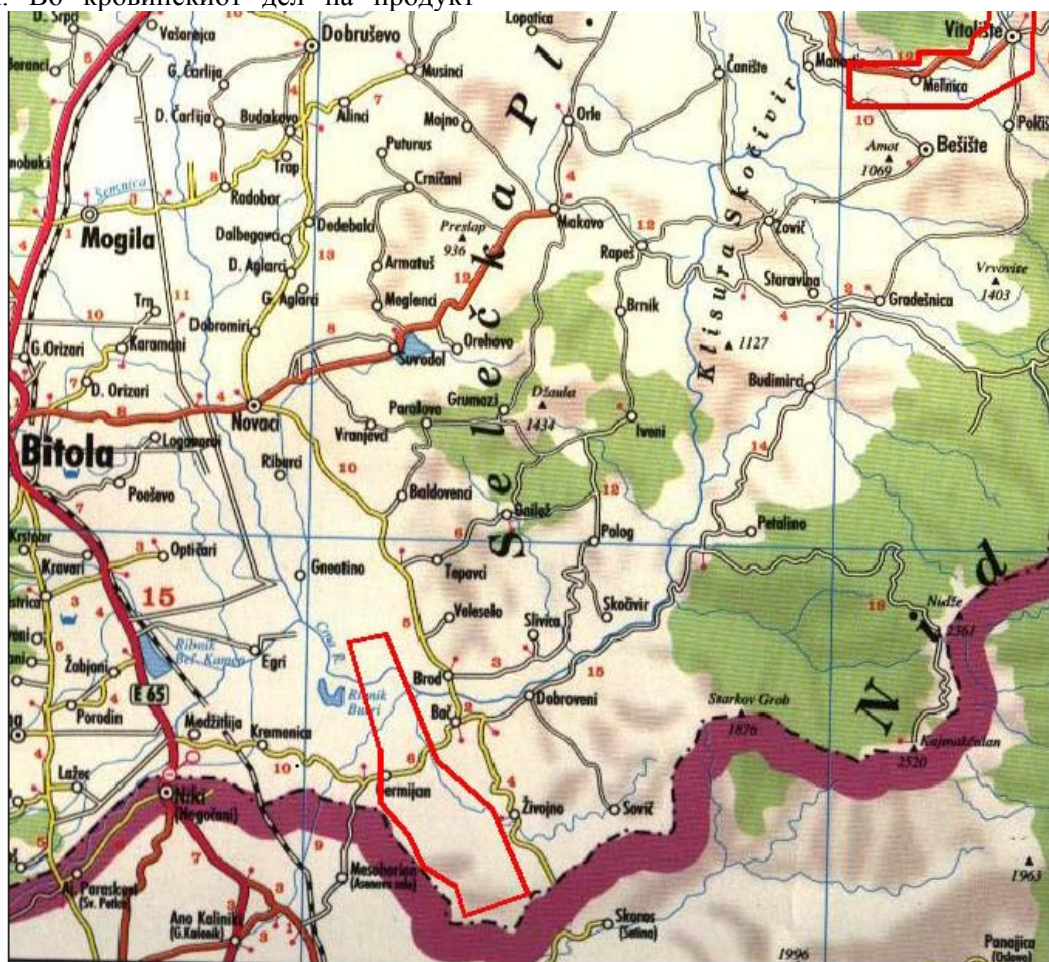
вени со пролувијални, делувијални и алувијални наслаги.

- За разлика од Мариовскиот јагленосен басен кој претставува изолиран басен, наоѓалиштето „Живојно“ е отворено и претставува составен дел на Пелагонскиот јагленосен басен кој зафаќа доста голема површина. Во поглед на геолошката градба наоѓалиштето „Живојно“ има одредени сличности, но и одредени разлики со предходно опишаното наоѓалиште. Подинскиот дел го сочинуваат многу подебели седиментни наслаги претставени со песоци, чакали, алевролити и поретко тенки прослојки од песочници со карбонатно врзиво.

Над нив лежи продуктивниот хоризонт (дебелина околу 30м.) изграден од јаглен кој е раслоен во подината (1-5 јагленови слоја), со јагленови глини, глиновит јаглен, заглинети прашини, песокливи прашини и песок. Во кровинскиот дел на продукт-

ивниот хоризонт се наоѓа главниот јагленов слој со дебелина 4-8м.

Главниот јагленов слој речиси по целата површина е покриен со алевролити - сиви добродиагенизирани ситнопрашинести честички од органско потекло (алги дијатомеи) онечистени со глиновити и пелитски примеси. Како технички назив за овие седименти се користи називот трепел, и истите достигнуваат дебелина и до 100м.(додека во Мариово изнесува до околу 30-тина м.). За разлика од Мариово во наоѓалиштето Живојно отсуствува вулканогено-седиментната формација карбонатно бигорливите цврсти седименти. Наместо нив се јавуваат слабо дијагенизирани до неврзани алеврити, песоци, чакали и суглини местимично со присуство на парчиња од кварц, гнајс, шкрилци и др.

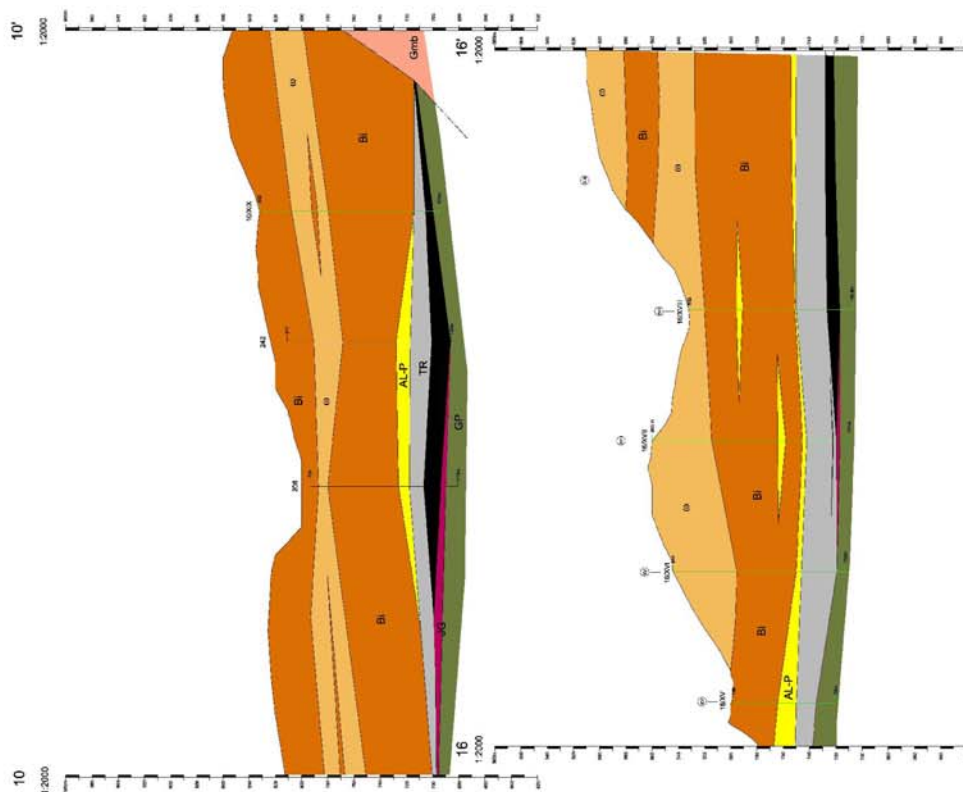


Граница на истражен простор

Слика 1. Ориентациона карта со истражен простор на двете наоѓалишта

**ЛЕГЕНДА НА ГЕОЛОШКИ ОЗНАКИ:**

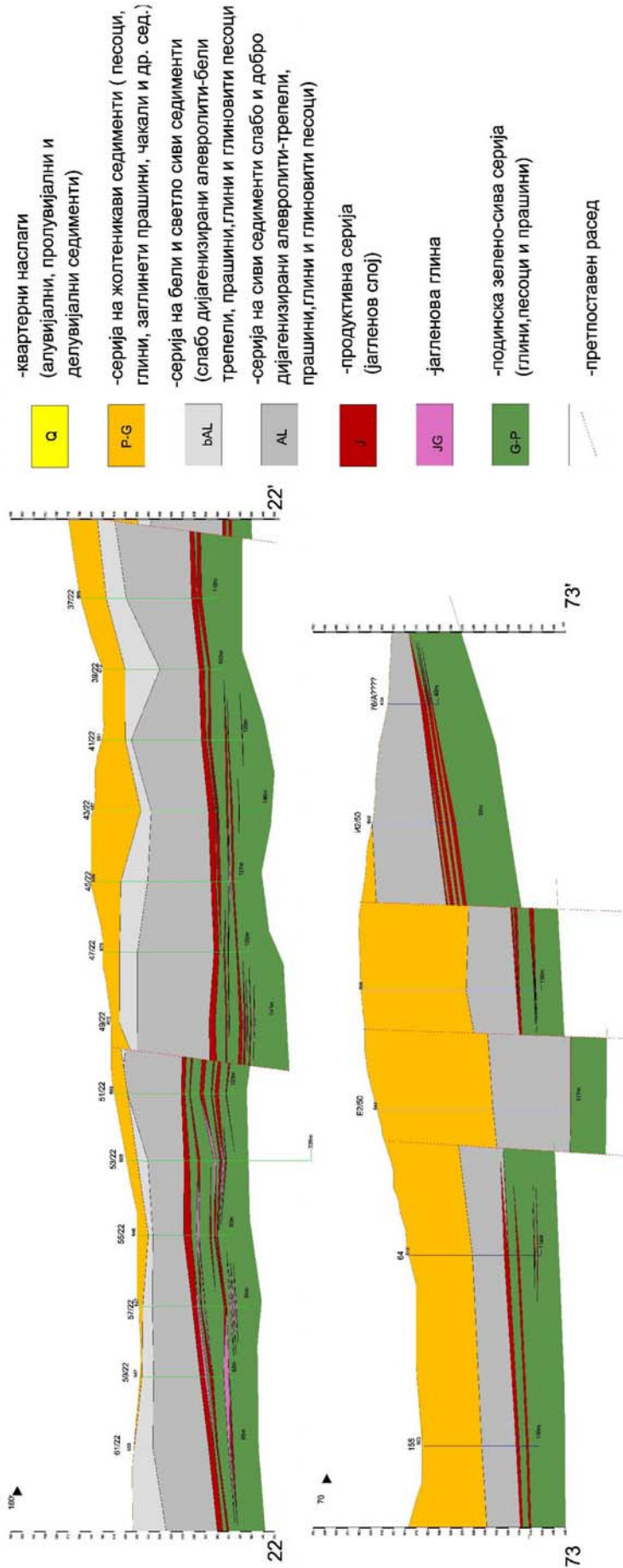
- BI - Карбонатно-бигорлива формација (во повисоките делови оникси, бигори, травертини а во подлабоките компактни бигорливи варовници со прослојки од прашина, глини и дробина)
- BR - Бречи од различно потекло (вулкански и бигорливи бречи)
- O - Вулканогено-седиментна формација (кварцлатити, вулкански бречи агломерати со прослојки од вулкански прашина и песок со валутоци од вулкански карли)
- AL-P - Алевритско песоливо чакалеста формација (сиви и кафеави слабо дијагенизирани алеврити, глини и прашиности песоци, со прослојки од чакалести фракции)
- TR - формација на алевролити и алевролитски лапорци (сиво зеленкасти прашина средно дијагенизирани по боја светло сиви - повлата на јагленосна формација)
- a б - јагленова формација: а) Јаглен со ДТВ > 6500 кЈ/кг; б) Јаглен со ДТВ 4170-6500 кЈ/кг (темно кафеав до црн јаглен-лигнит со тенки прослојки до 30 см од јагленова глина и глиновит јаглен)
- ЈО - Јагленови глини -глиновит јаглен (најименично менување на прослојки од јаглен, јагленова глина, глиновит јаглени поретко прашина, песок и глина)
- GP - Глиновито-песокливо чакалеста формација (сиво зеленкасти прашиности глини со чести прослојки од прашиности песоци и присуство на чакалеста фракција-подина на јаглен.формација)
- K - Кредни флишни седименти (розенкави и сиво кафеави песочници, глинци, конгломерати и сивкасти варовници)
- F - Филитомиди (филитомикашисти, карбонатни и зелени шкрилци)
- M - Мермери калцитски и доломитски сиво бели мермери и карбонатни шкрилци)
- Gmb - Мусковитски гнајсеви (на контакт со неогени седименти трошни и грусирани, во подлабоките делови цврсти и компактни)
- Расед
- dz - утврден/претпоставен
- ▲ - Појава на неметали Дијатомејска земја



**Слика 2.** Карактеристични напречни и надолжни геолошки профили во наоѓалиштето Мариово



**ЛЕГЕНДА:**



Слика 3. Карактеристични напречни и надолжни геолошки профили во наоѓалиштето Живојно

## СТРУКТУРНО-ТЕКТОНСКА ГРАДБА

• *Мариовскиот јагленосен басен* е формиран во Мариовскиот неотектонски грабен, распространет на границата на Пелагонскиот хорст антиклинориум и Вардарската зона. Продуктивната неогена формација лежи трансгресивно и дискордантно преку постарите творби и по својот тектонски склоп има изглед на една неправилна блага синклинална форма. На овој простор во палеорелјефот се развиени дисјунктивни форми – раседни структури со генерален правец на протегање С-Ј и ССЗ-ЈЈИ. Овие раседни структури со неогените наслаги се маскирани, и од досегашните истражувања на овој простор може да се заклучи дека неотектонските движења биле слабо изразени. На исцртаните попречни и надолжни профили не се дефинирани раседни придвижувања на одредени блокови (скокови). Деформација на јагленовиот слој е регистрирана само од поранешните истражувања со скок од 2.5м.во изработен нископ што се смета дека е како резултат на локално смолкнување.

## ХИДРОГЕОЛОШКИ ПРИЛИКИ

• Врз основа на обемните хидрогеолошки истражувања на мариовскиот јагленосен басен според структурниот тип на порозност издвоените литолошки единици се воврстени во четири типа:

- *карпи со интергрануларна порозност*

- *карпи со карстно пукнатинска порозност*

- *карпи со пукнатинска порозност*

- *условно водонепропусни, безводни карпи*

Карпите со интергрануларна порозност имаат голема распространетост и се претставени со квартални наслаги и неогените седименти изградени од алевритско-песокливи, вулканогено седиментни и глиновито песокливо чакалести формации.

Доминантно место на карпи со карстно пукнатинската порозност зазема карбонатно-бигорливата формација која има големо распространување особено кон с.Манастир и с.Бешиште.

Карпите со пукнатинска порозност се застапени само во периферните делови на наоѓалиштето (серпентинити, гнајсеви, гранодиорити, филитомикашести, шкрилци и др).

• *Наоѓалиштето „Живојно“* се одликува со интензивна структурно-тектонска градба. Тоа се должи на фактот што самото наоѓалиште е сместено помеѓу две крупни геотектонски единици Пелагонски хорст антиклинориум и Западно македонската зона. Најразвиени на овој простор се дисјунктивните структурни форми. Поизразени се раседните правци ССЗ-ЈЈИ паралелни на границата на овие две геотектонски единици, а воедно и со ист смер и со правецот на протегање на седиментните наслаги. Истите се испресечени на повеќе места со помлади раседи со правец на протегање ИСИ-ЗЈЗ. Во ова наоѓалиште станува збор за пострудна тектоника по формирањето на јагленовите слоеви при што дошло до спуштање или издигање на поедини дисконтинуирани блокови, чии скокови достигнуваат и до 30м. При експлоатацијата наоѓалиштето „Живојно“ треба да се земе во обзир тектониката, особено при проектирање и експлоатационите активности на јагленот. Вдолж маркантните раседи можно е зголемено присуство на вода, а не е исклучена и можноста од појава на гас.

Условно безводни карпи(водонепропусни) претставени се со алевролити, глини, јагленови глини, песочници, глинци, глинене шкрилци и др.

Во и околу јагленовите слоеви на мариовскиот јагленосен басен се развиени два типа на издани: подински и кровински. Подинската издан е развиена во подинските слоеви на јагленот односно во глиновито песокливо чакалестата формација.

Кровинската издан е развиена во долната кровина (алевритско песокливата формација), и во горната кровина (вулканогено седиментната формација и бигорливо-карбонатната формација).

Со оглед на тоа што ископот на јагленот во наоѓалиштето Мариово ќе се врши со подземна експлоатација во тој случај хидрогеолошките карактеристики на наоѓалиштето можат да се оценат како поволни. Ова е поради фактот што по целата површина на кровинскиот дел јагленот е покриен со водонепропусна средина алевролит-трепел со променлива дебелина од 20-30м. Истиот слој претставува природна бариера помеѓу

кровинскиот издан и јагленовиот слој. Како дополнителна позитивна околност би била и слабо развиената неотектоника и пукнатински системи кои не би овозможиле продор на подземните кровински води во јамските простории.

Во непосредната подина на јагленовиот слој се распространети сивозелени алевролитски глини и јагленови глини кои исто така претставуваат хидрогеолошки изолатор, и природна бариера од подинската издан.

- За разлика од наоѓалиштето Мариово каде има развиено повеќе типови на издани и порозности во наоѓалиштето 'Живојно' е развиена интергрануларната порозност. Тука има формирано збиен тип на издан со слободно ниво на вода во кровинскиот издан и ниво на вода под притисок во подинскиот издан. Од хидрогеолошките истражни работи утврден е и пукнатински тип на издан развиен во водонепропусните дебелни наслаги во повлатата на јагленот-алевролити. Овие полускаменети карпести маси се зафатени со интензивната тектоника проследени со доминантни два системи на пукнатини-нормални и

дијагонални на слоевитоста. На одредени места каде има поинтензивно дробење и испуканост (особено околу раседните структури) би можело да дојде до продор на подземните води при експлоатација на јагленот. Од друг аспект пак главниот јагленов слој во подината многу често директно контактира со хидрогеолошки водопрпусна средина. Тоа се ситно до среднозрни а поретко и разностранулирани слабоврзани или неврзани слабо прашинести сивозелени песоци.

Наоѓалиштето Живојно во споредба со Мариово располага со доста подебели водоносни хоризонти како во повлатата така и во подината на јагленот. Ако се земе во предвид фактот дека самото наоѓалиште контактира и е составен дел на пелагонската депресија во тој случај може да се констатира дека истото располага со понеповолни хидрогеолошки карактеристики од наоѓалиштето Мариово. Затоа при експлоатација на јагленот од наоѓалиштето Живојно треба да се пријде со голема сериозност и да се утврди оптимална методологија на одводнувањето.

## ГЕОМЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НАОЃАЛИШТАТА

- Во Мариовското наоѓалиште на јаглен врз основа на бројните геомеханички испитувања се одредени четири формации

**А.** Алевролитско песоклива формација и вулканогена серија и бигорлива формација.

**Б.** Непосредна кровина (средно дијагенизирани прашина)

**В.** Јагленова серија (јаглен и јагленова глина)

**Г.** Подина (пластични глини, песокливи глини и прашинести песоци)

Алевролитско песокливата формација се карактеризира со агол на внатрешно триење  $\varphi = 19^\circ - 25^\circ$

Непосредна кровина (трепел) со агол на внатрешно триење  $\varphi = 18^\circ - 23^\circ$ , кохезија (дирекно)  $c = 5 - 10 \text{ kN/m}^2$  триаксијална  $c = 10 - 30 \text{ kN/m}^2$

Јагленова серија со агол на внатрешно триење  $\varphi = 20^\circ - 57^\circ$  и точкасто оптеретување  $I_s = 0,25 \text{ МПа}$ .

Подина (прашинесто глиновити материјали) со агол на внат. триење  $\varphi = 15$

$- 21^\circ$ , кохезија (дирекно)  $c = 5 - 20 \text{ kN/m}^2$ , триаксијална  $c = 35 - 50 \text{ kN/m}^2$

- Во Живојно врз основа на бројните геомеханички испитувања направена е поделба во вертикален смисол и тоа :

**А.** Висока кровина (песокливо – глиновити прашина) и овие материјали на поедини делови се со многу мала дебелина а некаде и изостануваат.

**Б.** Непосредна кровина (трепели). На поедини места се среќават бледо жолтеникави до бели многу слабо песокливи прашина слабо дијагенизирани (бел трепел), а секаде се застапени во овој јагленов басен сиво зеленкасти добро дијагенизирани прашина (трепел) со дебелина од 10 до 70м.

**В.** Продуктивен слој со дебелина до 30м представен со слоеви на јаглен и песоци кои се средно до добро збиени како и заглинети прашина слабо до добро консолидирани.

**Г.** Подина представена од глиновито – прсокливи прашина, како и прашинести

песоци. Првите се карактеризират со доста јака консолидација.

Висока кровина со агол на внатрешно триење  $\varphi = 18-25^\circ$ , и кохезија од  $c = 10-25 \text{ kN/m}^2$ .

Непосредна кровина со агол на внатрешно триење  $\varphi = 25-34^\circ$ , кохезија (директно) од  $10-25 \text{ kN/m}^2$  и кохезија (триакс.) од  $50-250 \text{ kN/m}^2$ .

### **ЕКОНОМСКИ ПАРАМЕТРИ НА НАОЃАЛИШТАТА**

Овие две наоѓалишта располагаат со слични количини на геолошки рудни резерви.

Со доистражувањата од 2009/2010 во наоѓалиштето Мариово се потврдени геолошки рудни резерви од 96 727 876 тони (А+Б+Ц категорија), или експлоатациони рудни резерви од 70 269 038 тони. Додека во наоѓалиштето Живојно со првичните пресметки од 2012 год се добиени околу 100 000 000 тони, геолошки рудни резерви или околу 72 000 000, експлоатациони рудни резерви.

За јагленот од наоѓалиштето Мариово засега постојат две решенија, едното јагленот да се согорува во постојните термоблокови во Рек Битола, а другото да се изгради термоелектрана во непосредна близина на самото наоѓалиште. Во првиот случај предност е што не се потребни дополнителни средства, но проблем би претставувал транспортот на минералната суровина. Во вториот случај предност е што транспортните трошоци би се намалиле на минимум, а во новата термоцентрала би се вградиле и нови технологии со поекономично работење и подобро искористување на минералната суровина.

### **ЗАКЛУЧОК**

Врз основа на изложеното, може да се изведе заклучок дека станува збор за наоѓалишта формирани во два, по карактер, различни седиментациони басени, што се огледа и во различниот степен на седиментација и различниот структурен склоп. Поголемата тектонска активност по формирањето на наоѓалиштето Живојно условило и далеку посложени хидрогеолошки услови во истото, што захтева особено внимание при прокетирањето на одводнувањето. Во поглед на геомеханичките параметри,

Продуктивен слој со точно оптеретување  $I_s = 0,11-$

$0,34 \text{ MPa}$ ,  $\varphi = 24-3$ ,  $C = 5,0-20 \text{ kN/m}^2$

Подина претставена со песоци со агол на внатрешно триење  $\varphi = 21-30^\circ$  и кохезија  $C = 5,0-15 \text{ kN/m}^2$ . Од самите овие параметри особено за непосредната кровина се установува дека трепелите во Живојно се по јако дијагенизирани.

За разлика од Мариово, наоѓалиштето Живојно се наоѓа на само 5-10км. од веќе разработеното наоѓалиште Брод-Гнеотино до кое има инсталирано транспортна лента. Истата би можела да се продолжи кон наоѓалиштето Живојно од каде ќе се носи јагленот до веќе постоечките термоблокови Суводол. Од тука постојат и сите можности за дистрибуција на произведената електрична енергија.

Доколку се отвори рудник со подземна експлоатација Мариово во тој случај покрај добивање нови количини електрична енергија што претставува стратешка цел на нашата држава, ќе се обезбедат околу 1400 нови вработувања, кои директно ќе влијаат на подобрување на севкупниот економски и социјален развој на овој регион.

Од стратешки интерес е и отварањето на Живојно поради фактот што главниот јагленов слој од наоѓалиштето Суводол е речиси исцрпен. Поради оваа причина понатамошна експлоатација на јагленот треба да се очекува од ПЈС Суводол, наоѓалиштето Брод-Гнеотино како и Гермијан-Живојно. Со ова би се овозможило продолжување на векот на работа на термоблоковите Суводол за уште неколку децении.

наоѓалиштето Живојно се карактеризира со нешто повисоки вредности на аголот на триење и кохезијата кај сите членови во седиментационата серија, што секако дека е одраз на режимот на седиментација. Без оглед на тоа кое од варијантните решенија за експлоатација и согорување на јагленот ќе биде усвоена и за двете наоѓалишта, краен заклучок е дека овие две наоѓалишта се најважните од стратешки аспект за понатамошен развој на енергетскиот сектор во државата и истите е потребно што поскоро да се разработат.

## БЛАГОДАРНОСТ

Изразуваме целосна благодарност на ЕЛЕМ АД-Скопје што во својата инвестициона програма продолжува со инвестирање во делот на геолошките, хидрогеолошките и геомеханички истражувања на јагленовите наоѓалишта. Благодарност до Градежен Институт Македонија АД Скопје за тимот од Геотехника кој вложи огромен труд и

## ЛИТЕРАТУРА

Елаборат за рудни резерви на јагленот во лежиштето Живојно со состојба на 31.12.1983 година, Геолошки Завод-Скопје,

Елаборат за постигнатите резултати со истражувањето во јагленосниот ревер „Живојно – Стар Рудник“ со пресметка на рудни резерви, „Живојно“, 1988год,

Проект за геолошки и геомеханички доистражувања за јаглен „Живојно“- Рек Битола, Градежен факултет-Скопје, 2010год.

Проект за геолошки и геомеханички истражувања, доистражувања и испитувања на јагленовото наоѓалиште “Мариово”- Универзитет “Свети Кирил и Методиј”- Градежен Факултет Скопје, мај 2009;

Завршен извештај за истражувањата на јаглен во Мариово 1974-77 Книга 1- Геолошки завод-Скопје,1977;

напор во дополнителните истражувања на овие две наоѓалишта. Голем придонес за успешно завршување на истражните работи секако дека имаа и проектантот Градежен факултет-Скопје, како и надзорниот орган „Геохидроинженеринг“ чии сугестии и консултации беа добредојдени во сите фази од истражувањето.

Извештај за постигнатите резултати при истражувањето на лежиштето “Мариово” со преглед за понатамошните активности-Рудници и ф-ка “Партизан” Прилеп, септември 1984;

Документација од тековна анализа и обработка на податоците во рамките на реализацијата на дополнителните истражувања и испитувања фаза 2009-2010год.

(Косигин, 1969): Тектоника

(Арсовски, Петковски, 1975): Неотектоника на Социјалистичка Република Македонија,

(Андреевски, 1995): Јаглени - Генетски и квалитативни карактеристики, наоѓалишта на јаглен и заштита на животната средина

(Арсовски,1997): Тектоника на Македонија,

(Думурџанов, Ѓошев, 2005): Геолошко картирање,

(Серафимовски, 2009): Генеза на рудни наоѓалишта.

**ИНЖЕНЕРСКА ГЕОЛОГИЈА  
И ГЕОТЕХНИКА**



# ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ТЕРЕНОТ ОКОЛУ БРАНА КНЕЖЕВО ВО ИЗВЕДЕНА СОСТОЈБА

Моме Милановски

ГИ Македонија, ул.Дрезденска 52, МК-1000 Скопје, Р.Македонија  
mmilanovski@yahoo.com

## Апстракт

Брана Кнежево со акумулацијата и придружните објекти како дел од хидросистемот Злетовица е важен хидротехнички објект кој има големо значење за источниот регион на Република Македонија а пред се за општините Пробиштип, Штип, Св.Николе, Кратово, Карбинци и Лозово. Објектот се наоѓа во СИ дел на Македонија оддалечен околу 30км источно од најблиското населено место градот Пробиштип. Неговата намена е мултифункционална но неговото примарно значење е за водоснабдување на наведените општини, а како секундарни намени се наводнување на околу 5000 ха земјоделски површини во општина Пробиштип и Кратово и производство на производство на електрична енергија. Генерално изградбата на браната и придружните објекти се одвиваше во периодот од април 2007 година до крајот на 2010 година и истата започна со ископот на влезниот и излезниот портал на оптичниот тунел во април 2007, продолжи со ископот на темелната јама на левата страна на браната во мај 2007 година а заврши со изградба на преливниот тунел кон крајот на 2010 година. Врз основа на картирањето утврдено е дека теренот на браната и придружните објекти е изграден од цврсти скаменети карпи и неврзани до слабоврзани карпести маси.

**Клучни зборови:** брана, изградба, метаморфни карпи.

## ВОВЕД

Брана Кнежево со акумулацијата и придружните објекти како дел од хидросистемот Злетовица е важен хидротехнички објект кој има големо значење за источниот регион на Република Македонија а пред се за општините Пробиштип, Штип, Св.Николе, Кратово, Карбинци и Лозово. Објектот се наоѓа во СИ дел на Македонија оддалечен околу 30км источно од најблиското населено место градот Пробиштип. Неговата намена е мултифункционална но неговото примарно значење е за водоснабдување на наведените општини, а како секундарни намени се наводнување на околу 5000 ха земјоделски површини во општина Пробиштип и Кратово и производство на производство на електрична енергија.

Техничките карактеристики на браната се следните: висина 81м од дното на темелна плоча, должина на круна на брана 300м, ширина во основата 300м, должина на акумулацијата 4км со капацитет од 23,5 милиони м<sup>3</sup> вода. Котата на круна на брана

изнесува 1065м додека во најнискиот дел во корито на Злетовска река 985м. Количината на вградениот материјал во телото на браната изнесува околу 1,5 милиони тони миниран и дробен карпест материјал ( зелен шкрилец и андензит) и истиот потекнува каменоломот на зелен шкрилец оддалечен 1км од браната и од каменоломот на андензит оддалечен околу 10км од браната

Генерално изградбата на браната и придружните објекти се одвиваше во периодот од април 2007 година до крајот на 2010 година и истата започна со ископот на влезниот и излезниот портал на оптичниот тунел во април 2007 а продолжи со ископот на темелната јама на левата страна на браната во мај 2007 година со широк ископ од кота 1090м. Ископот се одвиваше комбинирано, машински со багер или со минирање до појава на цврсти карпи.

На десната страна на браната каде теренот е изграден претежно од серицитско



мусковитски во горниот и хлоритско епидотски шкрилци во долниот понизок дел ископот на темелната јама започна во јули 2007 год од кота 1071м и заврши во месец март 2008 година до најниската кота 984.5м во алувиумот на Злетовска река. Поради послабите инженерскогеолошки карактеристики на карпестите маси застапени на левата страна на браната претставени со хлоритско епидотски шкрилци во однос на карпестите маси од десната страна ископот на левата страна се одвиваше подолг период и заврши во јуни 2008 година до кота 984.5м во алувиумот на Злетовска река. Ископот на левата страна на платформата над темелната јама се одвиваше со тешкотии поради честите појави на одронување и свлекување на неврзани делувијални карпести маси над кота 1065м поради неповолните временски услови (интензивни дождови) и постоењето на дисконтинуитети неповолни за стабилноста на теренот.

#### **ИНЖИНИЕРСКОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА КАРПЕСТИ МАСИ**

Паралелно со ископот на темелната јама, предбраната, опточниот и преливниот тунел вршено е детално инженерскогеолошко картирање на застапените карпести маси со посебен осврт на нивните инженерскогеолошки карактеристики (испуканоста, распаднаост и стабилност).

Геолошката градба на пошироката околина на браната, акумулацијата и придружните објекти е изградена од метаморфни карпи со низок кристалинитет претставени со разни видови на шкрилци: албитизирани хлоритско-епидотски, серицитско-мусковитски, хлоритско-мусковитски, кварц-бититски и др. типови на шкрилци кои постепено преминуваат во шкрилести карпи со повисок кристалинитет претставени со јако ушкрилени зелени микашисти па се до слабо ушкрилени порфиroidни и биотитски гнајсеви. Врз основа на картирањето утврдено е дека теренот на браната и придружните објекти е изграден од цврсти скаменети карпи и неврзани до слабоврзани карпести маси. Цврстите скаменети карпести маси се претставени со метаморфни карпи составени од следните типови на шкрилци: албитизирани хлоритско епидотски

шкрилци, серицитско мусковитски шкрилци, зелени микашисти и кварцити додека неврзаните до слабоврзаните карпи се застапени пролувијалните, делувијалните и алувијалните творби. Цврстите карпести маси се застапени со следните типови карпи:

1. *Албитизирани хлоритско-епидотски шкрилци* се најзастапени карпести маси на теренот главно на левата страна на теренот но се јавуваат и во долниот дел на десната страна на темелната јама. Се одликуваат со зелена до сиво зелена боја, средна ушкриленост и со пад на фолијацијата кон југо запад со ЕФ од 200-230/30-50. Главни минерали се хлорит и епидот, а послабо застапени се мусковитот, фелспатот и други минерали. Доста е застапен кварцот во вид на мали сочива и тенки жици со дебелина 0,5 до 3цм и неговото присуство ја зголемува цврстината на карпите. Овие шкрилци се доста цврсти карпи, локално набрани во ситни мали цм набори кои имаат пад кон ЈЗ и во целина имаат добри физичко механички карактеристики. Тие се доста испукани карпи со често присуство на дисконтинуитети (пукнатини и раседи) со стрмен до субвертикален пад ориентирани во правец исток запад со ширина од 10-50цм ретко повеќе, исполнети со глина, калцит и распаднати шкрилци со метарска до декаметарска должина. Преодот кон другите типови на шкрилци карпи е постепен и скоро незабележлив. Во површинските делови се доста распаднати што е посебно изразено на левата страна до длабина од 6-7м. На пострмините делови од теренот се јавуваат како изданоци додека на поблагите падини се препокриени со делувијален материјал со дебелина до 3м. Од хидрогеолошки аспект тие се слабоводопрпусни до водонепропусни карпи. Ископот во нив за темелната јама се одвиваше се до појава на поцврста карпа, односно под слојот од распаднати шкрилци до длабина од 6-7м главно машински со багер, а локално со минирање. Во однос на стабилноста при почеток на ископот на темелната јама над платформата на кота 1065м на левата страна од браната имаше појави на лизгање на земјиштето и за стабилизарање на истото беа преземени одредени мерки: растеретување со ископ на теренот од кота 1100м и формирање на поблагосини со

нагиб 1/1,2/1 до 3/1 односно под агол 45,60 до 70 степени и берми со ширина од 4м. Покрај тоа косината над бермите беше заштитена со анкери од 3м , челична мрежа и торкрет бетон со дебелина од 10цм. За одведување на површинската вода беа изградени канали за одведување на истата во подножје на косината а за дренарање на подземната вода беа избушени и поставени дренажни цевки во косините на местата на поголемите раседи и пукнатини, односно појава на вода.

Како посебен тип на хлоритско епидотски шкрилци се издвоени карпите застапени на излезниот дел од опточниот тунел и на теренот околу него. Тие се одликуваат со ист минерален состав како хлоритско епидотските шкрилци застапени на другиот дел од теренот но според своите физичко механички карактеристики многу се разликуваат од истите. Тие се, јако ушкрилени, јако набрани и тектонски пореметени карпи со многу променливи вредности на падот на фолијацијата но генерално се ориентирани кон ЈЗ. Тие се одликуваат со многу слаби физичко механички карактеристики бидејќи се многу испукани, изменети и деградирани карпи со честа појава на слоеви на глина, паралелно со фолијацијата која многу ги ослабува нивните карактеристики. На површина се доста распаднати покриени со делувијален материјал со дебелина до 3м а на пострмните делови се подложни на свлекување. Од хидрогеолошки аспект тие се водопропустливи карпи. Ископот во нив за опточниот тунел се одвиваше отежнато во интервали од 0,5-1м, со постојано подградување и примена на заштитни мерки како челични ременати, мрежа ,торкрет бетон и анкери.

2. *Серицитско мусковитски шкрилци* се метаморфни јако ушкрилени листаста карпи, со ЕФ од 200-230/30-50 главно ориентирани кон ЈЗ со светло кафеава боја на површината која во длабина преминува во светло сива боја. Тие се застапени на десната страна на теренот, на горната половина од темелната јама и на косината над излезот од преливниот тунел. Тие се средно испукани карпи но во целина се испресечени со неколку раседи со правец на протегање исток-запад и субвертикален до вертикален пад, со декаметарска должина, добро изразени, со ширина од 10

до 50цм исполнети со глина и распаднати шкрилци. Од хидрогеолошки аспект се слабо до водонепропусни карпи. Нивната фолијација е неповолна за стабилноста на теренот посебно изразено на косината над преливниот тунел каде што имаше чести лизгања и свлекувања на земјиштето што услови неколку поместувања на трасата на преливниот тунел кон север. За спречување на свлекувањето беа применети заштитни мерки ублажување на косините, анкери со должина 3 и 6м, мрежа и торкрет бетон со дебелина од 10-15см.

3. *Зелени микашисти* се застапени во источниот дел на теренот, на левата и десната страна . Тие се јако ушкрилени карпи , со ЕФ 210-240/30-50 главно со пад кон ЈЗ, имаат зелено кафеава боја на површината додека во длабина се зелени до зелено сиви. Тие се изградени од хлорит и мусковит како главни минерали додека послабо се застапени, кварц, фелдспат и гранат. Тие се доста испукани карпи, со пукнатини исполнети со калцит, со мала ширина до 2цм и неколку раседи со ширина до 10цм исполнети со глина , калцит и распаднати шкрилци со декаметарска должина, ориентирани во правец исток-запад и субвертикален до вертикален пад. Во длабина се доста цврсти и стабилни при што ископот во нив за опточниот тунел се одвиваше со минирање , за заштита од одронување беа употребени анкери од 3м и торкрет бетон од 5цм . На површина се доста распаднати што е посебно изразено на левата страна покриени со делувијален материјал со дебелина до 3м каде се подложни на свлекување на земјиштетето.

4. *Кварцити* се јавуваат на мала површина во источниот дел од теренот во вид на издолжена лека лоцирани помеѓу зелените микашисти и хлоритско епидотските шкрилци. Тие имаат млечно бела боја, се одликуваат со голема цврстина, со голема испуканост и присуство на различно ориентирани пукнатини. Поради својата цврстина стрчат на теренот.

Од неврзаните карпести маси најзастапени се

1. *Алувијалните наслаги* кои се јавуваат главно во коритото на Злетовска

река каде што достигнуваат дебелина до 6-7м. Се одликуваат со хетероген минерален и гранулометриски состав, добра обработеност и несортираност на фрагментите од песок и чакал кои имаат метаморфно потекло: шкрилци, гнајсеви и микашести. Се одликуваат со добра водопрпусност во кои коефициентот на филтрација е во границите од  $1 \cdot 10^{-1}$  до  $1 \cdot 10^{-4}$ .

2. **Делувијалните творби** се лоцирани на падините на теренот, во поголем степен застапени на левата страна, но ги има и на десната страна над излезот на опточниот тунел. Тие се изградени од необработени фрагменти од шкрилците помешани со глиновит материјал, со дебелина до 5м и се одликуваат со слаба водопрпусност. На пострмните падини во услови на зголемена влажност подложни се на свлекување што е посебно изразено на левата страна над зелените микашести и на десната страна над серицитско мусковитските шкрилци.

3. **Пролувијалните наслаги** се најслабо застапени главно во подножјето на падините и при вливот на поголемите водотеци. Изградени се од глиновито песочлив материјал помешани со несортирани, необработени до слабо обработени фрагменти од шкрилците, со хетероген гранулометриски состав и релативно хомоген минерален состав. Нивната дебелина достигнува до 5м, а од хидрогеолошки аспект се средно до добро водопрпусни карпи.

Поширокото подрачје на браната во тектонски поглед припаѓа на геотектиската единица Српско македонскиот масив. Покрај раседните структури и пукнатини во текот на изградбата на браната на низводната страна се констатирани помали синклинални наборни форми. На десната низводна страна на браната се дефинирани две помали синклинални структури со протегање исток-запад со декаметарска должина на кои оската им тоне кон северозапад а истите имаат пад кон североисток. Генерално фолијацијата на шкрилестите карпи има пад кон ЈЗ со ЕФ 200-230/30-50 и коси падни агли од 30-50°.

Врз основа на картирањето и теренските опсервации на теренот на браната и придружните објекти се издвоени

дисконтинуитети (пукнатини и раседи) паралелни и дисконтинуитети дијагонални или нормални на фолијацијата. Дисконтинуитетите паралелни со фолијацијата имаат примарно потекло односно се сингенетски со карпестите маси, додека дисконтинуитетите кои се ориентирани дијагонално во однос на фолијацијата се секундарни. Раседните структури врз основа на дебелината, протегањето и типот на исполнителот се класифицирани во 3 групи

1. Дисконтинуитети од 1 ред со декаметарска до хектометарска должина, протегање И-З, дебелина над: 0,5м исполнети со глина и здробени шкрилци застапени во најголем дел на десната страна на браната на косината над преливниот тунел. Исто така се констатирани на левата страна на браната на кота 999 м но и на дното на темелната јама во реката на кота 987м.

2. Дисконтинуитети од 2 ред со метарска до декаметарска должина, дебелина од 0,1-0,5м, протегање И-З или СЗ-ЈИ, со субвертикален пад кон СИ или ЈЗ и исполна од здробени шкрилци, глина и прашињеста дробина. Овие дисконтинуитети се застапени претежно на левата страна и во реката а помалку на десната страна.

3. Дисконтинуитети од 3 ред со метарска должина, дебелина под 0,1м, протегање СЗ-ЈИ, со пад кон ЈЗ или СИ и исполна од прашињеста глина.

Земено во целост на стабилноста на теренот влијание имаат сите три типа на дисконтинуитети но најмногу оние што се паралелни на фолијацијата со субвертикален паден агол во правец на СИ. Како последица на неповолните раседни структури и пукнатини во однос на стабилноста на косината, стрмниот наклон на косината во услови на интензивни врнежи во текот на ископот на платформата над темелната јама на левата страна на браната доаѓаше до свлекување на неврзани карпести маси во неколку наврати и тоа мај, јули, септември 2007 год. и март 2008 година. За стабилизација на теренот беа преземени следните мерки

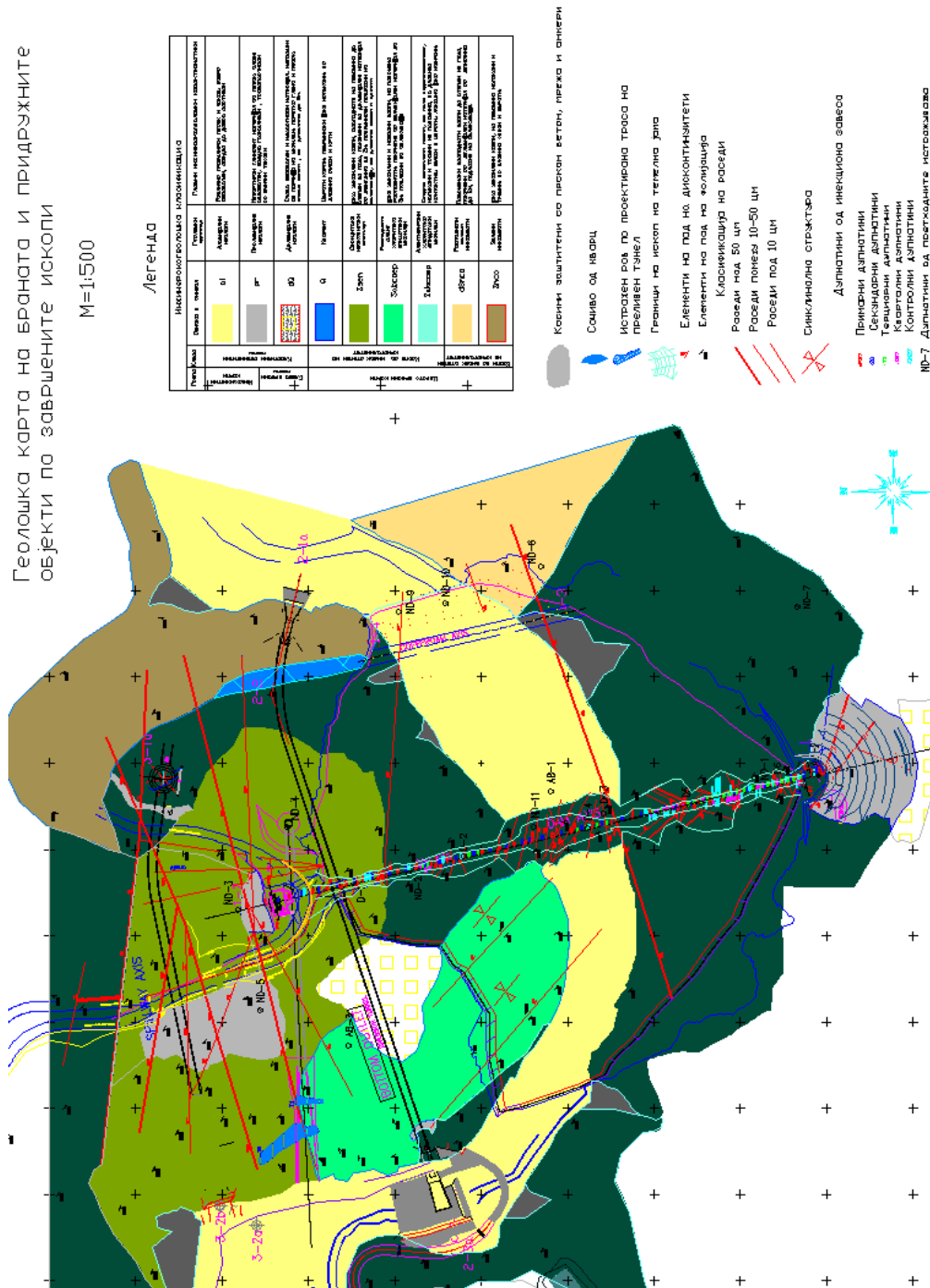
- растеретување со ископ на карпестите маси почнувајќи од кота 1110м со формирање на берми на секои 10м 1100,

1091,1083 и 1074м и косини под различен наклон од 45,55 и 65°.

- Поставување на SN анкери со должина од 3м во шахматен распоред на косините
- Челична мрежа на целата површина на косините и торкрет бетон со дебелина од 10цм.
- Барбакани (дренажни цевки) долги 3м за дренарање на подземната вода поставени на карактеристични места, на

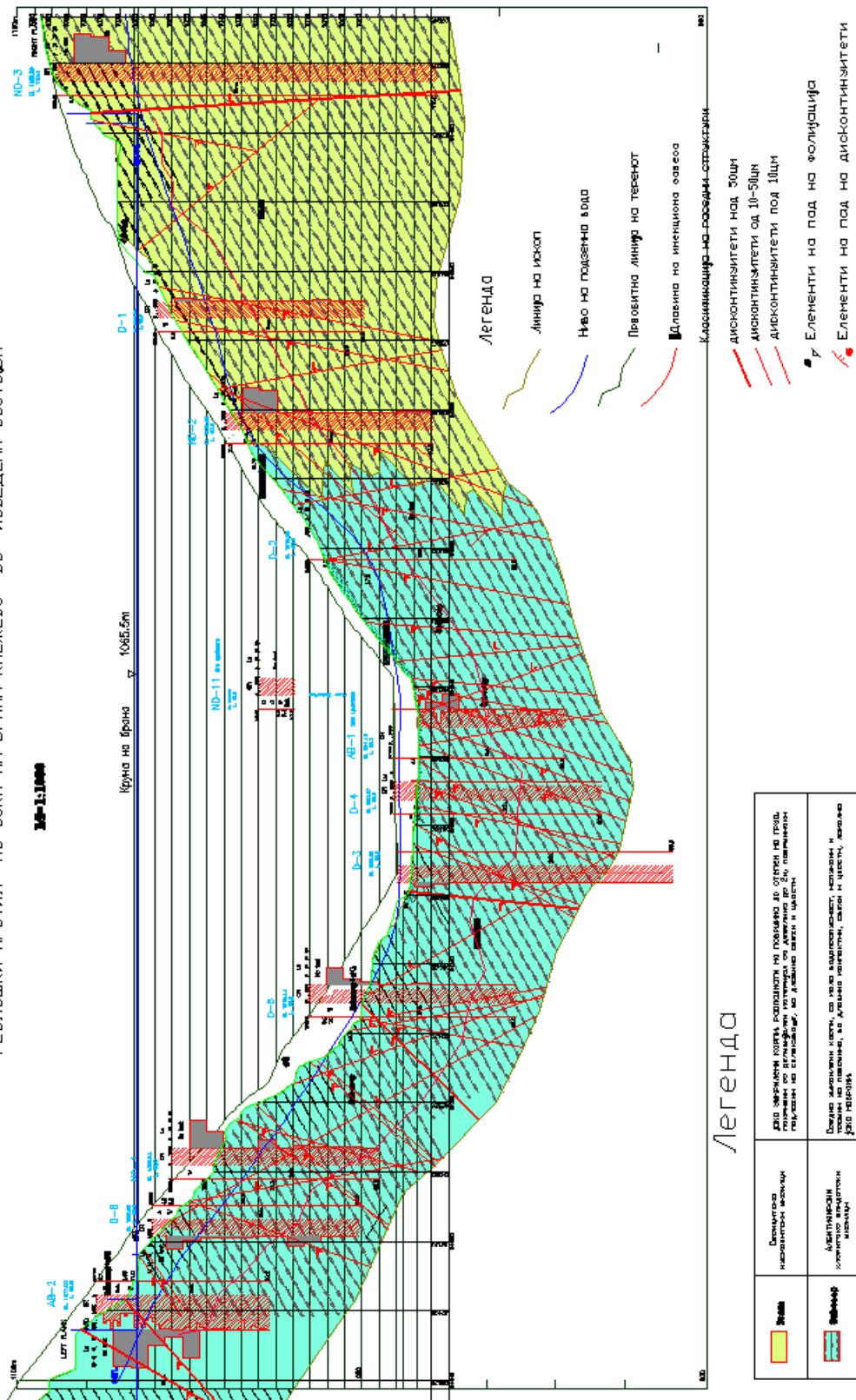
пресеци на пукнатини и раседи, на маста на течење на вода итн.

Со истражните работи беше утврдено дека карпестите маси на левата страна имаат поголема водопрпусност во однос на карпестите маси на десната страна што беше и потврдено во текот на изградбата на браната. Зголемената водопрпусност беше последица на големата испуканост и распаднатост на карпестите маси што беше посебно изразено помеѓу котите 990 до 1045м што пак се рефлектира на зголемените примања на инекциона маса.



Слика 1. Геолошка карта на брана Кнежево во изведена состојба

ГЕОЛОШКИ ПРОФИЛ ПО ОСКА НА БРАНА КНЕЖЕВО- ВО ИЗВЕДЕНА СОСТОЈБА



Слика 2. Геолошки профил по оска на брана Кнежево во изведена состојба

ЛИТЕРАТУРА

1. Извештај за главниот проект за брана Кнежево со придружните објекти, РСЕ-JV- Скопје, 2006 година
2. Извештај за дополнителните истражувања, ГИМ- Скопје, август 2005 година
3. Др. Милош Влаховиќ 'Инжињерска геологија са основама геологије'- Белград 1987 година
4. Bienavski Z.T.1989, Engineering rock masses classifications. New York

# ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКА КЛАСИФИКАЦИЈА НА НЕВРЗАНИТЕ КАРПИ ОД ОКОЛИНАТА НА ОХРИДСКОТО ЕЗЕРО

Ѓорѓи Димов<sup>1</sup>, Благоица Донева<sup>1</sup>, Марјан Делипетров<sup>1</sup>, Тодор Делипетров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет „Гоце Делчев“ - Факултет за природни и технички науки, Гоце Делчев 89, Штип, Р.Македонија, gorgi.dimov@ugd.edu.mk

## Апстракт

Неврзаните карпести маси се најприсутни и најразноврсни седименти во Охридско-Струшкиот басен па така нивното издвојување и дефинирање претставува вистински предизвик. Во овој труд се врши инженерскогеолошко диференцирање и одредување на основните инженерскогеолошки карактеристики на овие карпи. Секоја издвоена група или фазија е детални геолошки опишана, класифицирана според геотехничките прописи и според класификацијата на Протоѓаконов, одреден и е коефициентот на филтрација и коефициентот на цврстина.

**Клучни зборови:** неврзани карпи, седименти, фазија, квартал, коефициент на цврстина, Протоѓаконов

## ВОВЕД

Истражуваното подрачје, од инженерскогеолошки аспект е доста сложено бидејќи во него се јавуваат сите инженерскогеолошки групи на карпи: цврсто врзани, слабоврзани и неврзани карпести маси. Во овој труд ќе се задржиме само на неврзаните карпести маси од причина што тие се најприсутни и најразноврсни седименти во охридско-струшкиот басен па така нивното издвојување и дефинирање претставува вистински предизвик.

Охридско-струшката котлина е изградена од неврзани квартални речно-езерски, т.е. барски, седименти, кои лежат преку не-скаменети глиновито-езерски седименти.

На овој простор се разграничени алувиони на Црн Дрим, Сатеска и Коселска Река, претежно изградени од чакалесто-песокливи материјали и песокливо-прашинести глини. Од кварталните седименти, најнеповолни особини имаат: органогените глини, миловите и тресетите, како и големите мочуришта.

## ГРУПА НА НЕВРЗАНИ КАРПИ

Карпите од групата на неврзаните карпи ја изградуваат основата на кварталот и им припаѓаат седиментите од фазија на коритото, поплавната фазија, пролувијалните, делувијалните, флувио-гласијалните и езерско-барските наслаги, како и плиоценските (езерски) седименти. Групата на неврзани карпи е застапена со две подгрупи: ситнозрни и крупнозрни карпи.

## Група на неврзани ситнозрни карпи

На истражуваниот терен оваа група застапена е со наслаги од фазија на коритото, поплавна фазија, пролувијални и езерско-барски седименти, а претставена е со прашина и песоци.

Фазија на коритото (Pa) всушност претставува современиот речен нанос кој го пополнува коритото на реките и изградена е од песоци. Најраспространета е во коритата на Сатеска река и Црн Дрим, како и вдоль помалите водотеци.

Песоците се доброгранулирани со различна содржина на чакал. Нивната моќност е од 1,0-3,0 m и најчесто се растресити.

Од хидрогеолошки аспект се одликуваат со појака водопрпусност со коефициент на филтрација  $K_f=1\times 10^{-4}-1\times 10^{-6}$  m/s. Овие наслаги претставуваат хидрогеолошки колектори и во нив постојат услови за формирање издани. Теренот изграден од овие наноси е стабилен без присуство на ерозивни процеси и појави.

Според геотехничките прописи (класификација GN 200) припаѓаат во III категорија, а според класификацијата на Протоѓаконов во IX категорија, со коефициент на цврстина  $f = 0,5$ . Како градежен материјал би можеле да имат употребна вредност во производство на малтер и бетон.

Поплавна фазија (PRap и Pap) е изградена од прашина и песоци а застапена е околу речните корита на Сатеска, Коселска, Голема и Болска река.

Настанува при изливање на реките од нивните корита.

*Прашината (PRap)* е застапена е во површинскиот дел на оваа фација. Претставува ниско до високопластична прашина со малку песок. Нејзината моќност изнесува до 1,0 m и е со слаба збиеност.

Од хидрогеолошки аспект се одликуваат со средна до слаба водопрopusност со коефициент на филтрација  $1 \times 10^{-7}$ - $2 \times 10^{-8}$  m/s. Овие наслаги претставуваат слаби хидрогеолошки спроводници до хидрогеолошки изолатори и во нив нема услови за формирање издан.

Теренот изграден од овие наслаги е стабилен, без присуство на егзо-геодинамички процеси и појави. Според геотехничките прописи (GN 200) припаѓаат во II и III категорија, а според класификацијата на Протоѓаконов во VIII категорија со коефициент на цврстина  $f = 0,6$ .

*Песокот (Pap)* ги гради воглавно подповршинските делови и се одликува со добра гранулираност и слаба збиеност. Најчесто е ситнозрнест а неретко во себе содржи и одредена количина на прашина.

Од хидрогеолошки аспект се одликува со добра водопрopusност, со коефициент на филтрација  $K_f = 1 \times 10^{-4}$ - $1 \times 10^{-6}$  m/s.

Претставува хидрогеолошки колектор и во него постојат услови за формирање издан. Теренот изграден од овој песок е стабилен без присуство на ерозивни процеси и појави.

Според геотехничките прописи (GN 200) припаѓаат во III категорија, а според класификацијата на Протоѓаконов во IX категорија, со коефициент на цврстина  $f = 0,5$ . Како градежен материјал би можел да има употреблива вредност во производство на малтер и бетон.

Пролувијални седименти (Prp) претставени се со песок кој се јавува во пониските (ободните) делови на пролувијалните лепенци. Претставува слабо збиен и растресит материјал, несортиран и слабо обработен.

Од хидрогеолошки аспект се одликува со јака до средна водопрopusност со  $K_f = 1 \times 10^{-5}$ - $1 \times 10^{-6}$  m/s. Овие наслаги претставуваат хидрогеолошки спроводници и колектори и во нив има услови за формирање на изданска вода. Теренот изграден од овие наноси е стабилен до условно стабилен, со присуство на ерозивни процеси и појави.

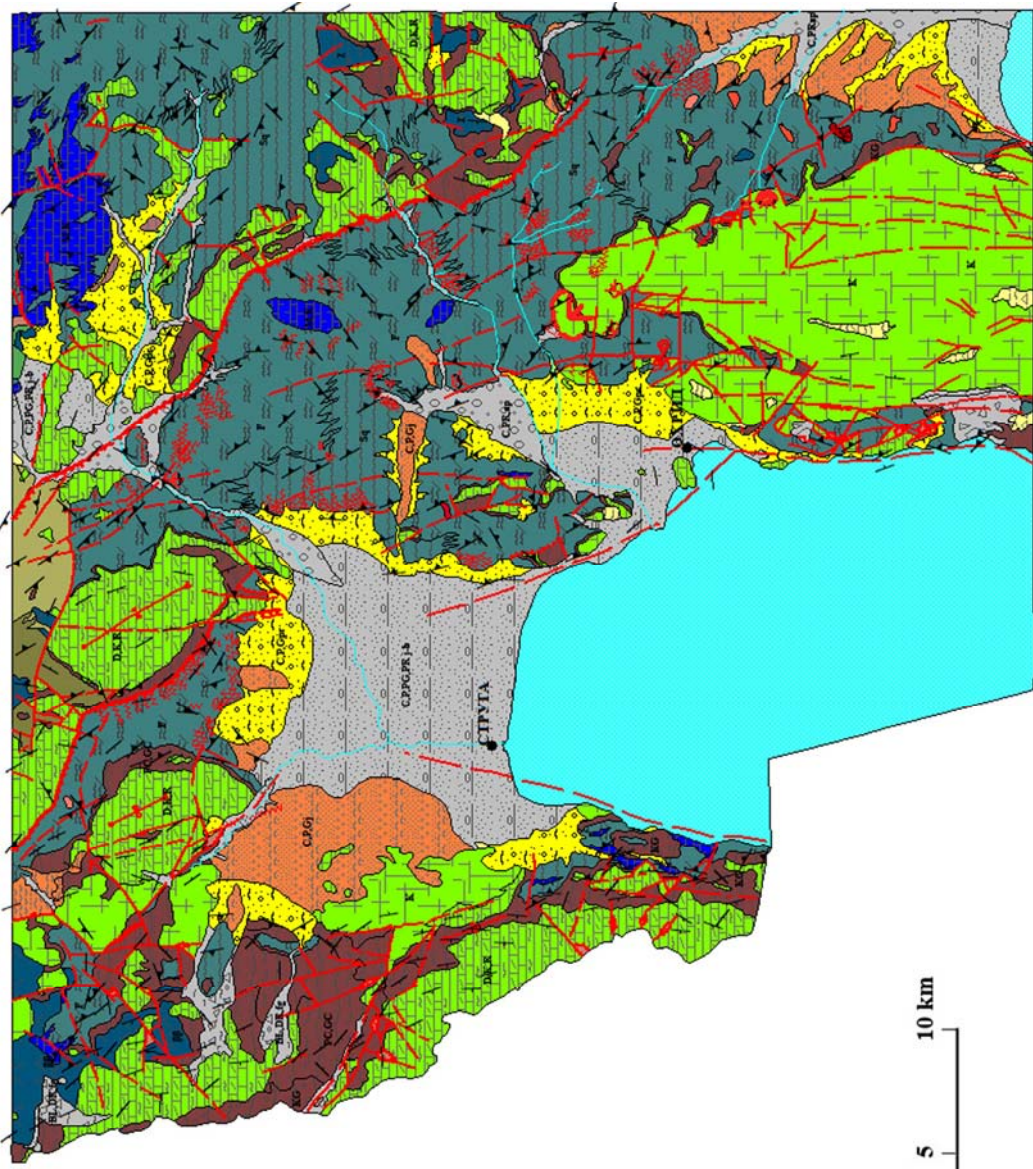
Според геотехничките прописи (GN 200) припаѓаат во III категорија, а според класификацијата на Протоѓаконов во IX категорија со коефициент на цврстина  $f = 0,5$ . Како градежен материјал може се употребува за производство на бетон.

Езерско - барски седименти (PR, P) j-b го градат исклучиво рамничарскиот дел на теренот. Тие се најраспространети од сите квартални наслојки и врзани се за терциерните басени каде седиментацијата во езерата продолжува и во квартал. Нивната моќност (врз основа на повеќе дупчења) изнесува од 30-40 м во Преспанската котлина, 50-80 м во Охридската котлина и до 100 м во Струшката котлина. Претставуваат комплекс од песок, чакал, прашина, глина и тресет. Во оваа инженерскогеолошка група спаѓаат прашината и песокот.

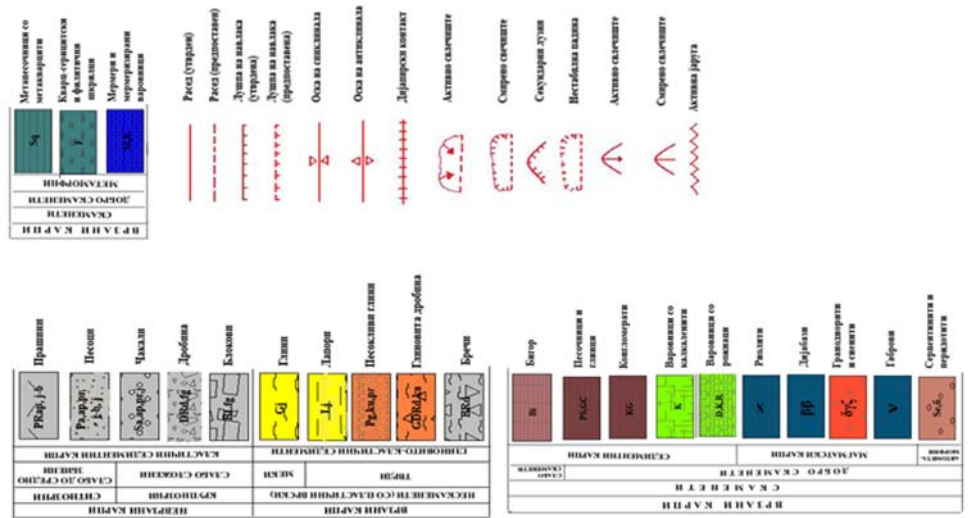
*Прашината (PRj-b)* е најзастапена во приобалскиот дел на Охридско и Преспанското езеро. Кога е заситена со вода и органски материи поминува во мил. Со истражните дупнатини за аеродромот и за некои објекти во градот утврдено е дека моќноста на милот изнесува преку 5 м. Водопрopusноста и е мала но хигроскопноста голема, така што капиларното движење на водата во нив, иако споро, е доста големо. Слегувањето кај овие прадини, посебно кога се водозаситени, е големо и претставуваат неповолна средина за фундаирање. Како градежен материјал нема никаква употреблива вредност.

*Песок (Pj-b)* е доста застапен во овие седименти и често во себе содржи чакалеста и прашиеста компонента. Се одликува со добра гранулираност и слаба до средна збиеност. Од хидрогеолошки аспект се одликува со добра водопрopusност со  $K_f = 10^{-3}$ - $10^{-6}$  m/s. Претставува хидрогеолошки колектор и во него постојат услови за формирање издан. Теренот изграден од овој песок е стабилен без присуство на ерозивни процеси и појави. Според геотехничките прописи (GN 200) припаѓаат во III категорија, а според класификацијата на Протоѓаконов во IX категорија, со коефициент на цврстина  $f = 0,5$ . Како градежен материјал би можел да има употребна вредност во производство на малтер и бетон.

# ИНЖЕНЕРСКО ГЕОЛОШКА КАРТА



## ЛЕГЕНДА



Слика 1. Инженерско геолошка карта на истражуваното подрачје



Плиоценските седименти (Pj) во оваа ИГ подгрупа е претставена со песоци. Во склоп на седиментниот комплекс се јавуваат во вид на слоеви и сочива со различна дебелина. Тоа се добро гранулирани песоци, средно до добро збиени со сива и црвеникава боја. Од хидрогеолошки аспект, се одликуваат со средна до добра водопропусливост,  $K_f = 10^{-6}$  m/s. Представуваат хидрогеолошки колектори и се поволни за формирање на издан. Терените, изградени од овие седименти се стабилни до потенцијално нестабилни (при засекување).

Според градежно-техничките процеси, припаѓаат во III категорија, а според класификацијата на Протоѓаконов во IX категорија со  $f = 0,5$ . Како градежен материјал може се употребуваат за производство на бетон.

#### ***Група на неврзани крупнозрни карпи***

Оваа група на карпести маси се јавува во котлините и долините страни на речните водотеци и на самите падини. Карпите од оваа група ја изградуваат поголем дел од кварталот и дел од плиоценот. Застапени се со наслаги од фаџија на коритото, поплавна фаџија, пролувијални, делувијални, флувиоглацијални, езерско-барски и плиоценски седименти.

Фаџија на коритото (Sa) - чакали, всушност претставува современиот речен нанос кој го пополнува коритото на реките а е изграден од разногранулирани чакали. Распространета е вдоль коритата на Сатеска река и Црн Дрим, како и вдоль помалите водотеци.

Тоа се наноси на речните водотеци во горниот и средниот ток, грубозрни и со хетероген состав, различно сложени и нерамномерно гранулирани чакали и песоци, со голем процент на валутоци, самци и блокови. Во средните и долните токови при нивните устија, гранулацијата на материјалот е поизедначена и добро сложена. Преовладува поситен и повоедначен материјал. Според гранулометрискиот состав спаѓаат во крупнозрни, слабо сложен и средно обработени почвени материјали, заситени со подземна вода.

Битна одлика на овие наноси е слабата сортираност и потполна растресеност, со големо варирање на физичко-механичките својства во зависност од грануло-метрискиот состав формата и големината на зрната. Нивната порозност е голема и изнесува до

25 %, а водопропусноста најчесто е голема и изнесува  $K = 10^{-1} - 10^{-3}$  cm/s.

Според петрографскиот состав содржат разни видови на карбонатни и метаморфни карпи, а се забележуваат и парчиња од магматити. Според градежно-техничките процеси, припаѓаат во III категорија, а според класификацијата на Протоѓаконов во IX категорија со  $f=0,5$ . Овие наноси се користат како добар градежен материјал. Сепарираните чакали имаат голема примена како агрегат за бетон и тампон за патишта.

Поплавна фаџија (Sap) - чакали, застапени се околу речните корита на поголемите реки. И кај нив во погорните делови на теренот се јавува покрупно зрнест чакал додека во пониските делови гранулацијата е помала и зрната се подобро обработени (позаоблени). Минералниот состав е хетероген и се јавуваат зрна од кварц, карбонати, метапесочници и габро-дијабази. Како хидрогеолошки колектори имаат голема водопропусливост со коефициент на филтрација  $K = 10^{-1} - 10^{-3}$  cm/s. Според градежно-техничките процеси, припаѓа во III категорија, а според класификацијата на Протоѓаконов во IX категорија со  $f=0,5$ . Овие наноси се користат како добар градежен материјал како агрегат за бетон и тампон за патишта.

Пролувијални седименти (Spr) - чакали, се јавуваат во средишните делови на пролувијалните лезеи. Претставува слабо збиен и растресит материјал, несортиран и слабо обработен. Пролувијалните наноси претставуваат седименти на поројни текови, обично со лезести форми од активни и смирени буици со променлива дебелина, најчесто од 2-30 метри. Со теренски и лабораториски испитувања добиени се следниве вредности:

агол на внатрешно триење  $\phi = 28^\circ$   
 кохезија  $C = 7,5 \text{ KN/m}^2$   
 модул на еластичност  $Me = 8.700 \text{ KN/m}^2$

Од хидрогеолошки аспект се одликува со добра до средна водопропусност со коефициент на филтрација  $K_f = 1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-6}$  m/s. Овие наслаги претставуваат хидрогеолошки спроводници и колектори и во нив има услови за формирање на изданска вода. Теренот изграден од овие наноси е стабилен до условно стабилен, со присуство на

ерозивни процеси и појави. Според геотехничките прописи (класификација GN 200) припаѓаат во III категорија а според класификацијата на Протоѓаконов во IX категорија со коефициент на цврстина  $f = 0,5-0,8$ . Како градежен материјал може се употребува како насип за патишта.

Делувијални седименти (DR,S)d претставени се со песоливо-чакалеста дробина и сипаришен материјал.

*Дробината (DRd)* се јавува на висорамните и гребените Јабланица, Караорман и Петрино, настанати со распаѓање на гранити, сиенити, риолити и габродијабази. Овие делувијални наслојки се крупнозрни и несортирани, средно збиени и со моќност 2-5 m. Од хидрогеолошки аспект се одликуват со средна до слаба водопрпусност, со  $Kf=1 \times 10^{-5}-1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ . Претставуваат хидрогеолошки спроводници и во нив нема услови за формирање на постојан издан. Теренот е стабилен без присуство на ерозивни процеси. Според градежно-техничките норми припаѓат во III категорија.

*Сипаришен материјал (Sd)* се јавува заедно со падинските бречи (кои спаѓаат во слабоврзани карпести маси). Сипарите се современи геолошки појави кои настануваат со ротационо движење на дробински материјал по падините. Имаат релативно мало распространување, и тоа на долините страни на планинските масиви, како и во подножјето на стрмните падини изградени од карбонатни карпи. Сипарите се всушност дробина изградена од незаоблени и остроаголни парчиња и блокови различни по големина, претежно од варовници и доломити, поретко од еруптивни и други карпи. Сипаришниот материјал е растресит и слабо стислив. Со лабораториски испитувања кај село Трпеица се утврдени следниве физичко механички својства:

$$\begin{aligned} \phi &= 36^\circ - 32^\circ \\ C &= 12-15 \text{ kN/m}^2 \\ D &= 14 - 130 \end{aligned}$$

Од хидрогеолошки аспект тоа се водопрпусна средина која има улога на спроводник и е со  $Kf= 10^{-4} - 10^{-6} \text{ cm/s}$ .

Како работна средина се многу неповолни и претставуваат потенцијално нестабилни терени. Според градежно-техничките процеси, припаѓа во III категорија, а според кла-

сификацијата на Протоѓаконов во VI и VIa категорија, со коефициент на цврстина  $f=1,5$ .

Глацијален и флувио глацијален материјал (BL,DR)fg

Сочуван е само во подрачјето на падините од високите планини како и во долините на планинските текови. Површините препокриени со глацијален материјал (морени) најчесто се мали, додека глацифлувијалните наслаги завземаат поголема распространетост. Глацијалниот материјал особено е распространет на Јабланица во областа на високите врвови, на просторот меѓу Стрижек и Црн Камен. Тоа се циркови и морени изградени од глацијален грубокластичен и слабообработен материјал од распаднати карбонатни карпи, конгломерати и песочници. Во цирковите се наоѓаат остатоци од леднички – глечерски езера, како што се Вевчанска локва и Лабунишко езеро. Литолошки е изграден од слабо заоблени блокови со големина од неколку  $\text{m}^3$ , со дробина и самци. Материјалот е слабо обработен (незаоблен), несортиран и без никаква стратификација. Флувиоглацијалниот материјал е воглавно застапен во долините на планинските текови на Јабланица. Најчесто се претставени со слабо заоблени чакали, заглинети песоци и дробина, помешани со грубо сортирани помали и поголеми крупни блокови. Дупчењата и раскопувањата кои се вршени во овие материјали укажуваат на неуедначен гранулометрички состав и различни физичко-механички особини добиени со лабораториските испитувања:

$$\begin{aligned} \phi &= 24^\circ - 30^\circ \\ C &= 10 \text{ kN/m}^2 \\ Me &= 12\ 000 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Овие материјали се доста водопрпусливи со  $Kf=10^{-3}-10^{-5} \text{ cm/s}$  и претставуваат хидрогеолошки спроводници (овозможуваат на водата да стигне на пониските делови од теренот).

Според геотехничките прописи (класификација GN 200) припаѓаат во III и IV категорија а според класификацијата на Протоѓаконов во VI категорија со коефициент на цврстина  $f=1,5-2,0$ . Како градежен материјал е слабо употреблив и може да најде примена само како долен строј на патиштата и насипните брани со предходно елиминирање на поголемите блокови.

Езерски (плиоценски) седименти (S<sub>i</sub>) претставени се со чакали.

Ги сочинуваат најмладите творби на неогенот, во чии состав влегува комплексот на чакали, песоци, песокливи глини, глини и глиновити лапори. Комплексот е доста хетероген со вертикални и хоризонтални сменувања од различни грубокластични наслојки, со променливи физичко-механички особини.

Значителни наслојки на чакали и песоци се застапени во западните и северните периферни делови на Струшката котлина и крајните југозападни падини на Галичица помеѓу с. Љубаништа и Св. Наум.

Чакалите се со хетероген променлив состав, грубозрни со кварцни валутоци, богати со обоени зрна од шкрилесто метаморфни и еруптивни карпи. Врз основа на истражните дупчења, утврдената дебелина на овие седименти изнесува до 300 метри.

Со теренски и лабораториски испитувања за нивните физичко-механички карактеристики се добиени следните резултати:

агол на внатрешно триење  $\varphi = 30-35^\circ$   
кохезија  $C = 5 \text{ KN/m}^2$   
модул на стисливост  $Me = 9,300 \text{ KN/m}^2$

Овие чакали се одликуваат со добра водопрпусност ( $K = 10^{-1} - 10^{-4} \text{ cm/s}$ ) и претставуваат хидрогеолошки колектори, па во нив постојат добри услови за формирање на издани.

По класификацијата на Протоѓаконов, припаѓаат на VII група а по градежните норми во III и IV категорија со коефициент  $f = 0.8 - 1.5$ .

Овие наноси се користат како добар градежен материјал. Сепарираните чакали имаат голема примена како агрегат за бетон и тампон за патишта.

## ЗАКЛУЧОК

Од погоре изнесеното јасно се гледа дека постојат повеќе инженерскогеолошки групи и подгрупи на неврзани карпи. За нив е карактеристично тоа што во различни инженерскогеолошки подгрупи се среќаваат исти литолошки чинители (песоци, прашини, чакали ...).

Но токму начинот на генеза, седиментација, и дијагенеза на овие литолошки чинители допринела за формирање на волку голем

број на инженерскогеолошки групи и подгрупи на неврзани карпи. Диференцијацијата на истите е направена врз основа на нивните геолошки и физичко механички параметри.

Ако се земе во предвид дека овој регион е еден од најнаселените во државата и дека најголем дел од објектите кој се градат во околината на Охридско езеро се фундаираат токму во овие неврзани карпести маси, истите претставуваат предизвик и за понатамошни истражувања посебно во насока на креирање на стратиграфски модели кои би можеле да корелираат со инженерскогеолошките карактеристики на карпестите маси.

## ЛИТЕРАТУРА

Гапковски Н., Јовановски М., 2007: Општа геологија, Универзитет „Св.Кирил и Методиј“ – Скопје, Градежен факултет - Скопје

Глигоријевиќ Љ. Чубриловиќ П., Петровиќ В. 1970: Елаборат о инженерско-геолошким одликама слива Црног дрима, Фонд на геолошки завод – Скопје

Глигоријевиќ Љ. 1977: Толкувач на инженерско-геолошка карта на СР Македонија  $M = 1: 200\ 000$  Стручен фонд на Геолошки завод – Скопје.

Денковски Ѓ. 1974: Завршен извештај за геолошките истраги на објектот Евала – Караорман во 1974, Стручен фонд на Геолошки завод – Скопје

Думурџанов Н. и Ивановски Т. 1978: Толкувач на ОГК 1 : 100 000 листови Охрид и Подградец, Сојузен Геолошки Завод– Белград.

Ивановски Т., Несторовски И., 1968 : Тектоника на Западна Македонија. Симпозиум за Динаридите – Загреб.

Јаниќ М. 1987 : Инженерска Геологија са основе геологије, Научна книга – Београд.

Јорданов Д. 1951 : Гребените на Црни Дрим. Геолошки завод – Скопје

Мирчовски В. 2004 : Хидрогеологија и Инженерска геологија (рецензирана скрипта), Факултет за Рударство, Геологија и Политехника - Штип

Митров Т. 1963 : Извештај за извршените геолошко геомеханички испитувања во Срушко поле и по рекс Црни Дрим , Стручен фонд на Геолошки завод Скопје.

Павловски Б. 1985 : Извештај за регионалните испитувања на јаглен во Западна Македонија. Стручен фонд на Геолошки Завод – Скопје.

Рибевски Д. 1980 : Станбен блок–Охрид. Геомеханички карактеристики на почвата.

# ИНЖЕНЕРСКО ГЕОЛОШКИ И ГЕОТЕХНИЧКИ ИСПИТУВАЊА КАЈ ФЛИШНИ СЕДИМЕНТИ

Орце Петковски<sup>1</sup>

<sup>1</sup>“Геохидроинженеринг”, ул. Теодосие Гологанов бр. 132,  
Скопје, Р. Македонија, ghi-vs@unet.com.mk

## Апстракт

Флишните седименти најмногу се застапени во центалниот дел на нашата земја, каде претставуваат основна карпеста маса. Значајно е нивното физичко-механичко однесување во однос на изградбата на идните траси за автопатишта, железнички пруги и сл. При изведбата на инженерскогеолошките и геотехничките истражувања по трасата на автопатот Миладиновци-Свети Николе и магистралниот гасоводот Клевовце-Кавадарци најдовме на слични средини во најголем дел изградени од филишни седименти. Со изведените теренски и лабораториски испитувања ги дефиниравме инженерско-геолошките карактеристики на овие карпестите маси долж правецот на протегање во на проектираните траси како доста значаен аспект кај линиски објекти од ваков тип, а особено при изведбата на идните ископи, усеци и косини.

**Клучни зборови:** флишни седименти, линиски објекти, правец на протегање, ископи, усеци, косини

## ВОВЕД

За приложената тема на вториот конгрес се искористени истражните работи за потребите на проектирање на автопатското решение на патниот правец Миладиновци–Свети Николе (km 0+000.00 – km 26+537.85), како и истражните работи изведени за магистралниот гасовод Клевовце-Кавадарци од страна на “Геохидроинженеринг” во кои авторот активно учествуваше.

Во склоп на анализите превземени за проектирање на предметните делници, соодветно внимание е посветено и кон дефинирање на инженерско-геолошките карактеристики на теренот.

## ВИДОВИ НА ИСТРАЖУВАЊА

За реализирање на поставената цел, т.е. за изготвување на инженерскогеолошки и геотехнички подлоги за проектирање, вдоль трасите извршен е одреден обем и применета е соодветна методологија на истражни работи. Истите се состојат од теренски истражувања, лабораториски испитувања и анализа на добиените резултати.

Теренските истражувања опфаќаат ИГ картирање на теренот по должина на трасата и пошироко, изведба на истражни дупнатини и бунари, нивно картирање, фотографирање на истражните работи, како и селектирање на

примероци за лабораториски испитувања. По реализацијата на предвидениот обем на истражувања и испитувања, извршена е анализа и кабинетска обработка на податоците, при што добиените резултати се презентирани во натамошниот текст.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

При теренскиот дел од работите и обработката на вкупниот фонд податоци, земен е во предвид фактот дека треба да се добие увид во следните аспекти кои се значајни за проектирањето и тоа:

- основни геолошки карактеристики на поширокиот регион;
- инженерско-геолошки карактеристики на теренот вдоль трасите;

Со детални структурни мерења на карактеристични делови вдоль трасите, согледани се можните механизми на лом на карпестите маси, а со цел да се проектираат оптимални наклони на косините од усеците.

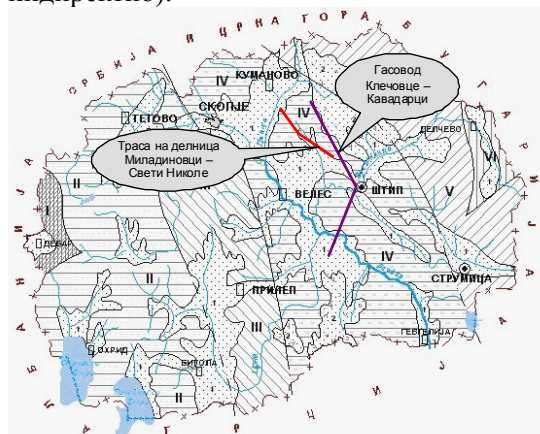
Извршена е интерпретација на просторните и меѓусебните односи меѓу констатираните геолошки единици во вертикален пресек.

## Основни геолошки карактеристики на поширокиот регион

Согласно на фактот дека геолошкиот развој на поширокото подрачје влијаел на геолошките карактеристики на истражуваниот терен, во продолжение се прикажани најважните аспекти:

- Трасата на автопатот и гасоводот се во склоп на Вардарска зона која претставува една од геотектонските единици од I ред во Македонија. Местоположбата на оваа зона во релација со останатите геотектонски единици е прикажана на слика 1 (М. Арсовски, 1997);
- Од сложените тектонски процеси кои придонеле за развојот на оваа зона за предметната делница од трасата се значајни фазите на предпалеозојската, херцинската и алпската орогенеза;
- Со современите геолошки процеси во кварталер и холоцен, преку ерозионите процеси и активноста на речните водотеци, формирана е генералната геоморфолошка состојба на теренот, која се карактеризира со формирање на алувијални и пролувијални седименти, а на падините делувијални наслаги.

Сите фази на геолошкиот развој имале крајно влијание врз формирањето на денешната состојба на теренот, што се манифестира во денешниот рељеф и условите за проектирање (директно или индиректно).



- I – Цукали-Краста зона
- II – Западно-Македонска зона
- III – Пелагониски хорст – антиклинориум
- IV – Вардарска зона
- V – Српско-Македонски масив
- VI – Краиштинска зона
- 1 – Неотектонски депресији
- 2 – Неоген кварталерни вулкански области

**Слика 1.** Геотектонски единици во Р. Македонија (М. Арсовски, 1997), со приказ на истражуваниите делници.

## Геолошки карактеристики на теренот вдоль трасите

По должина на трасите се забележуваат повеќе литогенетски единици, кои не само што имаат различна геолошка старост, туку и различни својства и значење за изведба на објектот. Секако на површината на теренот се најзастапени рецентните седиментни наноси. Ние овде ќе ги прикажеме само флишните седименти со терциерна старост, односно миоценските и еоценските седименти.

**Миоценскиот флиш (M<sub>2,3</sub>)** претставува теригено езерска фација чии седименти се во главно слабо врзани или неврзани. Во нивниот состав се јавуваат сиви и црвеникави глини, сиво зелени лапорци, сиви песоци и песочници, со прослојци од слабо врзани конгломерати. Констатирани се на трасата Миладиновци – Свети Николе каде во најголем дел се препокриени со делувијални и пролувијални творби. Поединечните членови од составот на флишот често се сменуваат како во хоризонтален така и во вертикален правец.

Во изведените истражни дупнатини во овие седименти, регистрирани се серии на слабо врзани сиви песочници и слабо дијагенизирани глини, меѓутоа по должина на трасата доминираат слабоврзани конгломерати, глинци и песочници.

Со инженерско-геолошко картирање на теренот и истражните дупнатини и бунари за трасата Миладиновци–Свети Николе, беа утврдени слабоврзаните конгломерати, а со истражните работи и потврдени конгломератите, песочниците и глинците во длабина. Исто така во подоцнежната фаза на истражување на вијадуктите со погустување на истражните работи и геофизички мерења, добиени се исти резултати. Врз основа на ова можеме да констатираме дека во најголем дел миоценските седименти се претставени со цврсто врзани карпести маси на делот каде се простира трасата на автопатот. Ова е многу важно за проектирањето на косините на усеците кај идниот автопат и нивната заштита.

**Еоценскиот флиш (Е<sub>3</sub>)** претставува основа на истражуваниот терен и истиот е претставен со песочници, глинци, конгломерати, а поретко и лапорци. Песочниците и конгломератите на автопатот се констатирани на следните стационачи: km 2+972–2+982; km 3+019–3+037; km 3+117–3+126 и km 3+209–3+979, се појавуваат во вид на слоеви и банци. Конгломератите на површина се распаднати, а под нив се регистрирани доста цврсти песочници. На карактеристични изданоци измерени се елементите на пад на слоевите со ЕПс=200–250/20–35. Од стационача на km 5+223–5+306 констатирани се конгломерати, песочници и глинци кои се слоевити до банковити, со дебелина на слоевите од 20–50 cm, додека елементите на пад имаат најчеста вредност ЕПс=125–160/10–15. Понатаму, од стационача на km 5+306–km 10+223 еоценските флишни седименти воглавно се изградени од песочници и глинци, а поретко конгломерати и лапорци кои се сменуваат како по хоризонтала, така и по вертикала. На површината на теренот, забележани се одредени места зафатени со рецентни процеси на испирање и атмосферски влијанија. Теренот меѓу стационачите km 18+152 и km 26+537 во најголем дел е препокриен со делувијални и пролувијални творби, при што на површината ретко се забележуваат песочници (зона околу km 24+127). Со изведените истражни дупнатини на овој потег во длабина се потврдени песочниците и глинците кои често се сменуваат во просторот. По боја се сиви, сиво зелени, ретко виолетови и најчесто глинците и песочниците се цементираны со глиновит материјал. Овде стационачно ги прикажавме поодделно партиите кои се застапени во флишот, истото тоа го направиме и кај гасоводниот систем каде ги издвоивме следните литолошки творби: песочници, глинци и лапорци. Од сите членови најзастапени се песочниците, додека глинците и лапорците многу поретко се појавуваат во површинските делови по должината на трасата на идниот гасовод. Дебелината на слоевите на поедините членови се движи од 5 cm до 20 cm, а ретко се среќаваат и во вид на покрупни банци. Песочниците се ситнозрни до среднозрни и цементираны со карбонатна материја. На одредени потези, конкретно на км. 26+549–26+648 и км. 36+545–36+866 се

регистрирани и поцврсти силифицирани песочници, а исто така по траста се доста застапени и вапновити песочници. Бојата кај песочниците е воглавно сива, а наместа и жолта, додека глинците се појавуваат со сива и сивозеленкаста боја. Глинците се јавуваат помеѓу два слоја на песочник и најчесто се плочести, многу тенки и ако се откриени на површината се распаднати. Лапорците исто така се доста застапени во флишната секвенца, регистрирани во истражните бунари (Б-16', Б-35, Б-36, Б-37, Б38, Б-53, Б-68, Б-70, Б-71 и Б-80), а забележани на површината се и помеѓу селото Врсаково и Ежово брдо и кај истражниот бунар Б-89, а исто така поретко и по површината на теренот југозападно од планината Серта. Најчесто на површината на теренот флишот е покриен со делувијален материјал или пак е интензивно распаднат до парчиња на плочи со големина 5–10 cm. Да напомене дека е многу тешко нивно izdelување, поради нивното ритмично сменување, само со истражните работи може да потврдиме одреден тип од секвенцата. Меѓутоа поради поврзаноста со градежништвото се обидуваме по должината на овие линиски објекти ги издвоиме одделните типови на карпи кои се среќаваат во флишот.

Сите карпести маси кои се застапени кај миоценските и еоценските флишни седименти се класифицирани од инженерскогеолошки аспект. Од овој аспект, флишните седименти припаѓаат во:

#### **Цврсто врзани (полускаменети) карпести маси**

Овде се класифицирани флишните седименти (песочници, глинци, конгломерати и лапорци) кај кои основното врзно средство е глиновито или карбонатно. Со оглед на фактот дека овие седименти се главно препокриени со делувијални наслаги, мошне е тешко да се процени нивното механичко однесување. На падините, а особено на бочните страни на постојните јаруги каде флишните седименти се обично откриени, се забележува дека на површината истите се подложни на физичко-механичко распаѓање под дејство на надворешни влијанија. Важно е да се нагласи дека од геотехнички аспект, стабилноста на проектираните усеци кај

автопатот првенствено ќе биде условена од интерактивниот однос помеѓу ориентацијата и протегањето на слоевитоста на флишните седименти и правецот на протегање на трасите.

За потребите на геотехничката класификација на застапените цврсти карпести маси, извршени се испитувања на основните физичко-механички карактеристики на монолитите, т.е. волуменската тежина и индексот на точкаста јакост. Параметрите се презентирани во табелите 1 и 2, каде што се дадени и вредностите на јакоста на притисок и затегнување, пресметани според корелативни зависности.

**Табела 1.** Основни физичко-механички параметри на интактните делови на карпите по трасата на автопат Миладиновци-Св. Николе.

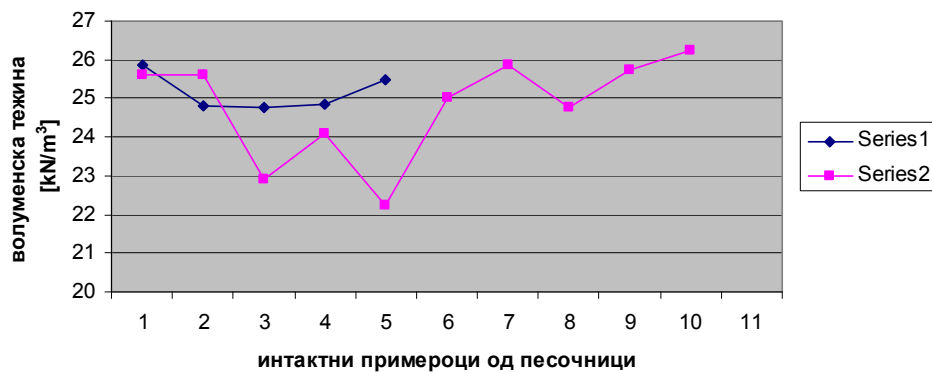
Објект (стационажа)	Истражна дупчатина или мерно место	Волум. тежина $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Индекс на точкаста јакост $J_s(50)$ [MPa]	Јакост на притисок $\sigma_p = 22 \cdot J_s(50)$ [MPa]	Јакост на затегнување $\sigma_z = 1.5 \cdot J_s(50)$ [MPa]
Песочник (E <sub>3</sub> )					
Усек (km 3+500)	–	25.88	1.13	24.76	1.69
Мост на р. Пчиња (km 5+235)	–	24.81	1.14	25.14	1.71
Усек (km)	Д-22	24.78	1.55	34.19	2.33
Усек (km 20+385)	Д-23	24.87	1.30	28.51	1.94
Усек (km 21+255)	Д-24	25.50	1.32	29.10	1.98
Песочник (M <sub>2,3</sub> )					
Вијадукт 6 (km 12+947)	SE-5	17.70	0.85	18.74	1.28
Вијадукт 7 (km 16+516)	SF-2	22.76	0.42	9.33	0.64

Со анализата на табели за основните физичко-механички карактеристики, може да забележиме дека волуменската тежина на еоценските песочници се движи во границите од 22.23-26.25kN/m<sup>3</sup> и кај двата објекта. Додека вредностите за јакоста на притисок кај еоценските песочници по должината на гасоводот се поголеми од оние на автопатот. Очекувано кај миоценските песочници кои се застапени само по должината на трасата на автопатот, добиени се помали вредности за волуменската тежина (од 17.70-22.76) и за јакоста на притисок (9.33-18.74).

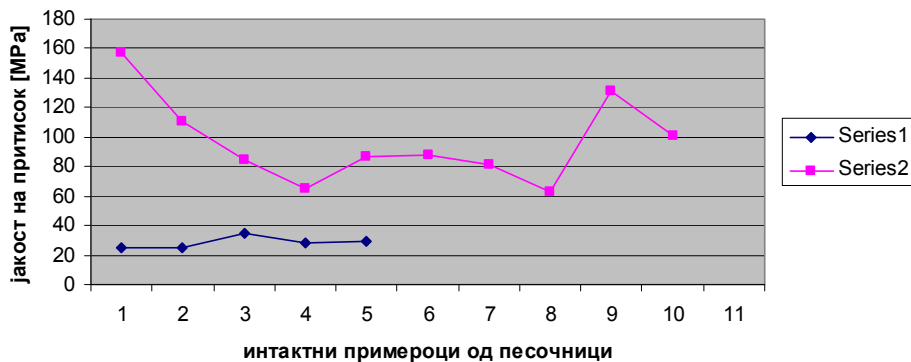
**Табела 2.** Основни физичко-механички параметри на интактните делови на карпите по трасата на гасоводот Клевовце-Кавадарци.

Објект (стационажа)	Истражен бунар или мерно место	Волум. тежина $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Индекс на точкаста јакост $J_s(50)$ [MPa]	Јакост на притисок $\sigma_p = 22 \cdot J_s(50)$ [MPa]	Јакост на затегнување $\sigma_z = 1.5 \cdot J_s(50)$ [MPa]
Песочник (E)					
(km 26+523)	Б-46	25.62	7.13	156.92	10.70
(km 26+527)	Б-46	25.62	5.00	110.07	7.50
(km 32+550)	–	22.89	3.82	84.13	5.74
(km 36+500)	–	24.11	2.97	65.36	4.46
(km 36+500)	–	22.23	3.94	86.67	5.91
(km 43+171)	Б-70	25.00	3.97	87.29	5.95
(km 47+439)	Б-75	25.86	3.68	80.96	5.52
(km 51+886)	М-11	24.78	2.85	62.72	4.28
(km 55+850)	–	25.74	5.95	130.99	8.93
(km 75+500)	–	26.25	4.57	100.53	6.85

На графикот за зависноста на јакоста на притисок на двете истражувани траси воочливи се повисоките вредности кај гасоводниот систем Клевовце-Кавадарци. Имено во толкувачот за листот Велес, овие еоценски флишни седименти се издвоени како ситнозрнести вапновити песочници и вапновити алевролити. Исто така со изведените истраги се констатирани доста цврсти ситнозрнести песочници, добро скаменети и силифицирани, а наместа низ нив е присутна и варовничката компонента. Како што напомниме претходно многу е тешко нивно издвојување во флишната секвенца и е потребна подетална анализа за составот бидејќи со претходните истраги во серијата се среќаваат и претставници од типот на песокливи глинци, алевролитични песочници и сл. Меѓутоа целта на нашите истраги се пред се геотехничките карактеристики на карпестите маси, односно физичко-механички карактеристики од кои зависат и условите за ископ кои се дефинирани во изработените елаборати.



Слика 2. Дијаграм со вредности за волуменска тежина кај автопатот Миладиновци-Свети Николе (плава линија) и гасоводот Клевовце-Кавадарци (розова линија).



Слика 3. Дијаграм со вредности за јакост на притисок кај автопатот Миладиновци-Свети Николе (плава линија) и гасоводот Клевовце-Кавадарци (розова линија).

### Инженерскогеолошки и геофизички испитувања кај вијадукт 6 од автопатот

Вдолж трасата на предметната делница од автопатот проектирани се неколку вијадукти кои поминуваат главно преку долови и суводолици, како и еден мост преку река Пчиња. Врз основа на досегашниот степен на истражувања и добиените резултати, извршена е проценка на носивите карактеристики на природната подлога за фундаирање, како и на условите за ископ.

Одделни согледувања ќе дадеме за Вијадуктот 6 од автопатот Миладиновци-Свети Николе, кој е лоциран во миоценски седименти. Овде ќе ги прикажеме корелативните зависимости помеѓу геофизичките и инженерскогеолошките истражувања во миоценски седименти.

Со изведените детални истражувања и лоцирање на истражни дупнатини по столбни места на вијадуктот 6, добиена е комплетна слика на инженерскогеолошките услови во длабина. Овде се застапени полускаменитите карпести маси, како песочници, глинци и конгломерати, меѓутоа

помеѓу столбните места 2 и 3 има и делувиум изграден од неврзани карпести маси составени од прашиност песок и песклива глина. Геоморфологијата на теренот условила акумулација на овие неврзани седименти со површинското распаѓање од матичната карпа. Исто така овие услови се потврдени со геофизичките мерења кои ги изведовме на вијадуктот. Со ова сакаме да ја нагласиме деталноста која е многу важна за попрецизно дефинирање на теренот во длабина.

Можеме да констатираме дека со рефракционите сеизмички анализи, добивме слични резултати како и со истражните дупнатини и бунари изведени по столбните места. Односно добиени се помали брзини на простирањето на лонгитудиналните бранови кај столбните места S2 и S3 во површинските делови се до длабина околу 7.0-9.0m. Од друга страна овие длабини на делувијален покривач се регистрирани и со истражните дупнатини SE-1, SE-2 и SE-3.



## **БЛАГОДАРНОСТ**

До колегите од “Геохидроинженеринг” со кои ги изведовме успешно истражните работи за двете делници, како и за одделни сугестии и согледувања од нивна страна при донесување на определени констатации.

## **ЛИТЕРАТУРА**

Елаборат за геотехничките истражувања и испитувања на теренот вдолж трасата на автопатот Миладиновци-Штип, делница: Миладиновци - Свети Николе, Геохидроинженеринг 2011.

Елаборат за геотехничките истражувања и испитувања на теренот вдолж трасата на

магистралниот гасовод, делница 1: Клевовце - Кавадарци, Геохидроинженеринг 2011.

Елаборат за геотехничките истражувања и испитувања на локацијата предвидена за изградба на вијадукт 6 (км12+947.75), на автопатот Миладиновци - Штип, делница: Миладиновци - Свети Николе, Геохидроинженеринг 2011.

проф. др. М. Јовановски, проф. Н. Гапковски, Инженерска геологија, Скопје 2006 год., авторизирана скрипта на Градежен факултет.

проф. др. Б. Боев, проф. др. Р. Стојанов, Петрографија, Штип 1994 год., учебник на Рудрско-геолошки факултет.

# ПРИСТАП ЗА АНАЛИЗА НА СТАБИЛНОСТ ВО АНИЗОТРОПНИ КАРПЕСТИ МАСИ СО ПРИМЕНА НА МЕТОДОТ НА ИНТЕРАКЦИОНИ МАТРИЦИ

Игор Пешевски<sup>1</sup>, Милорад Јовановски<sup>1</sup>, Наум Гапковски

<sup>1</sup>Градежен факултет-Скопје, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“,  
Партизански одреди 24, МК-1000, Скопје, Република Македонија  
jovanovski@gf.ukim.edu.mk, pesevski@gf.ukim.edu.mk

## Апстракт

Стабилноста на косини во анизотропни карпести маси е доста специфичен проблем, особено од аспект на нивното однесување во услови на ископ. Со цел да се изврши сеопфатно согледување на проблемот а притоа да се земат во предвид најзначајните параметри за конкретен случај, разработен е веројатносен пристап за анализа на стабилност со примена на методот на интеракциони матрици. Анализирани е можноста од појава на рамнински лом во меки анизотропни карпести маси при што се вариран најзначајните параметри одредени со претходно кодирање на интеракционата матрица. Направена е споредба во однос на влијанието на критичните и споредните параметри врз факторот на сигурност и веројатноста за појава на лом. Со евалуација на резултатите потврдена е веродостојноста на применетиот пристап. Од практичен аспект ова значи дека со внимателно согледување кој од факторите кои се вклучуваат во интеракциите имаат најголемо влијание врз целиот систем-во овој случај косина, може да се предлагаат соодветни мерки за заштита при изведба.

**Клучни зборови:** анизотропни карпести маси, интеракциони матрици, кодирање, мерки за заштита

## ВОВЕД

Стабилноста на косини во карпести маси зависи од поголем број на влијателни фактори и параметри: геологијата, климата, сеизмиката, квалитетот на монолитите, геометријата и карактеристиките на дисконтинуитетите и на карпестата маса, природната напонска состојба, водопрпусноста, ориентацијата и димензиите на косините, начинот на изведба на самите косини итн. За вака голем број на геолошки и геотехнички параметри и нивни меѓусебни взаемни влијанија, при анализата на стабилноста неопходно е да се изврши селекција на највлијателните параметри кај секоја конкретна косина, додека другите може свесно да се изостават како второстепени. Во овој поглед, во механиката на карпи, како многу корисен, особено од практичен аспект, се покажа концептот на развој на интеракциони матрици поврзан со развојот на т.н. Инженерски системи во механиката на карпи (во оригинал **Rock-Engineering System**) промовиран од J.A. Hudson и J.P. Harrison (1997). Земајќи ги во предвид досегашните позитивни искуства со примената на овој концепт за различни намени во механиката на карпи, хидрогеологијата и инженерството на животна средина кај нас (Јовановски,

Доневска, Пешевски 2010; Јовановски, Поповска, Доневска, Пешевски 2009; Пешевски 2009) разработен е веројатносен пристап за анализа на стабилност во анизотропни карпести маси.

## ИЗБОР НА КРИТИЧНИ ПАРАМЕТРИ ЗА АНАЛИЗА

Во случаите на инженерски проблеми поврзани со стабилност на косини, во табела 1 наведени се својствата и состојбите кои треба да се опфатат со анализите.

Процесот на идентификација на нај-релевантни параметри на состојбата за секоја косина зависно од целите кои сакаме да се постигнат, според **RES** концептот се нарекува избор на т.н. **критични параметри** на карпестиот масив а се прави по постапка опишана од J.A. Hudson 1993. Проценката на ефектите на даден параметар се врши со систем на кодирање во интеракционите матрици, проучување на интензитетот на интеракцијата и доминантноста на влијанијата на секој од параметрите. Дефинирани се пет категории во кои механизмите можат да бидат класифицирани, во опсег од нула (0) до четири (4).

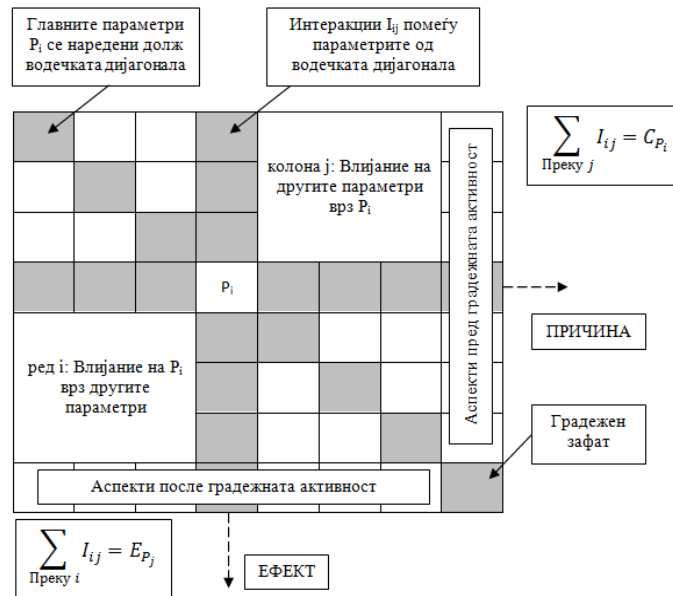
**Табела 1.** Приказ на главни параметри кои се значајни за анализа на стабилност на косини

Параметар (P <sub>i</sub> )	Својства и состојби кои ги претставува секој конкретен параметар
1. Терен како реална средина	Геологија, клима, сеизмика, итн.
2. Квалитет на монолити	Јак, слаб, подложен на распаѓање
3. Геометрија на дисконтинуитетите	Системи, ориентација, отвори, рапавост
4. Карактеристики на дисконтинуитетите	Јакост, кохезија, триење
5. Карактеристики на карпестата маса	Деформабилност, јакост, ломови
6. Природна напонска состојба	Интензитет и насоки на главните напрегања
7. Хидрауличка состојба	Водопропусливост, итн.
8. Ориентација на косините, итн.	Азимут на протегање, Паден агол, локација
9. Димензии на косината	Висина/ширина на берма и цела косина
10. Инженерски активности во близина	Минирање во близина итн.
11. Поптора/одржување	Анкери, инектирање итн.
12. Изведба	Метод на ископ, големина на кампади итн.

Ознаките на влијанијата се дефинираат за вредност **0**-нема влијание, **1**-има слабо влијание, **2**-средно влијание, **3**-силно влијание, **4**-критично влијание.

Всушност, се работи за класично дефинирање на причинско-последични

врски (систем cause-effect). Причината се однесува на влијанието на параметарот врз системот, а ефектот се однесува на влијанието на системот врз параметарот. Откако матрицата ќе се кодира, може да се најде сумата на секој ред и колона.



**Слика 1.** Методологија за сумирање на кодните вредности во ред и колона низ секој параметар за да се воспостават координатите на причините и ефектите (Hudson 1993)

Оваа постапка е спроведена за конкретен случај од праксата:

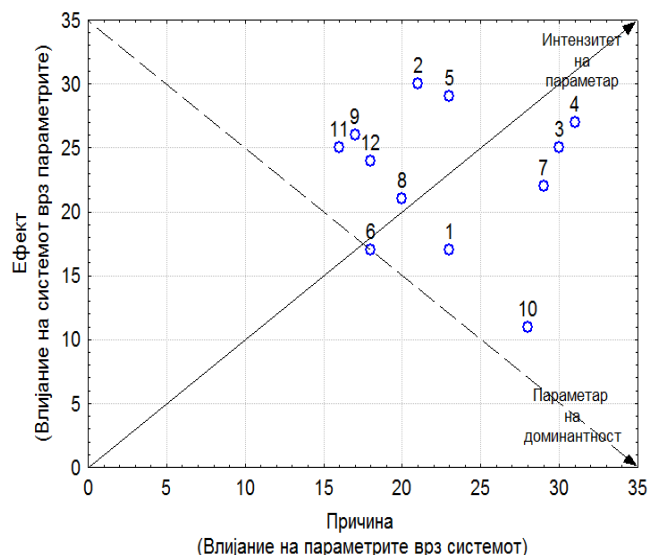
1	4	1	2	3	2	2	2	2	2	1	2	23
1	2	1	2	3	2	2	2	3	0	3	2	21
1	4	3	4	3	1	4	4	3	0	3	3	30
3	4	3	4	3	2	2	3	3	3	3	2	31
1	4	2	3	5	3	2	2	1	2	1	2	23
1	1	3	2	2	6	2	1	2	1	1	2	18
3	3	4	4	3	1	7	1	2	2	2	4	29
1	1	3	1	2	1	3	8	3	0	3	2	20
0	1	3	2	2	1	2	1	9	0	3	2	17
3	4	2	2	2	1	2	3	3	10	3	3	28
2	3	1	2	4	2	0	1	1	0	11	0	16
1	1	2	3	2	1	1	1	3	1	2	12	18
17	30	25	27	29	17	22	21	26	11	25	24	

Ефект

**Слика 2.** Сумите на редовите и колоните ги даваат координатите за секој параметар P<sub>i</sub> кои се нанесуваат на дијаграмот причина ефект.

Очигледно е дека сите параметри во главната дијагонала, а истовремено и нивните меѓусебни влијанија се сами за себе доста комплексни. За да се проценат параметрите кои го дефинираат

„интензитетот на инетракцијата“ и параметарот кој има „доминантни карактеристики“, на слика 3 е прикажана соодветна процедура.



Слика 3. Дијаграм причина-ефект со вредности добиени според кодирање на матрицата

Од сликата се гледа дека во конкретниот случај, највлијателен е бројот 4 т.е. јакосните параметри на рамнините на слоевитост. Најмалку влијателен параметар е број 6 (интензитет и насоки на главни напрегања). Најдоминантен параметар е број 10, сеизмичките услови, а најмалку доминантниот (спореден) параметар е број 11, потпирање на ножицата.

- 1.Геологија
- 2.Квалитет на монолити
- 3.Паден агол на слоевитост
- 4.Јакосни параметри на рамнини на слоевитост
- 5.Јакосни параметри на карпеста маса
- 6.Интензитет и насоки на главни напрегања
- 7.Водопропусливост, состојба на подземна вода, потисок, влажење
- 8.Ориентација на косините
- 9.Висина на косините
- 10.Сеизмички услови
- 11.Потпирање на ножицата
- 12.Метод на ископ

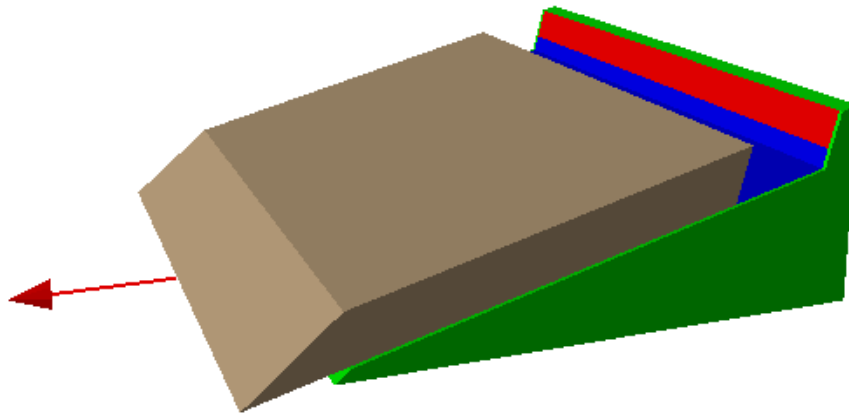
### АНАЛИЗА НА РАМНИНСКИ ЛОМ СО ВАРИРАЊЕ НА КРИТИЧНИТЕ И СПОРЕДНИТЕ ПАРАМЕТРИ

Анализата за можност од појава на рамнински лом вдоль рамнините на слоевитоста е извршена со веројатносен пристап со примена на софтверот RocPlane 2.0. Применет е алгоритам за статистичка анализа на резултатите од одделни 1000 анализи кои автоматски се вршат со самиот софтверски пакет. Утврдените критични параметри се варирани во граници дадени во табела 2 а останатите параметри се свесно изоставени како второстепени.

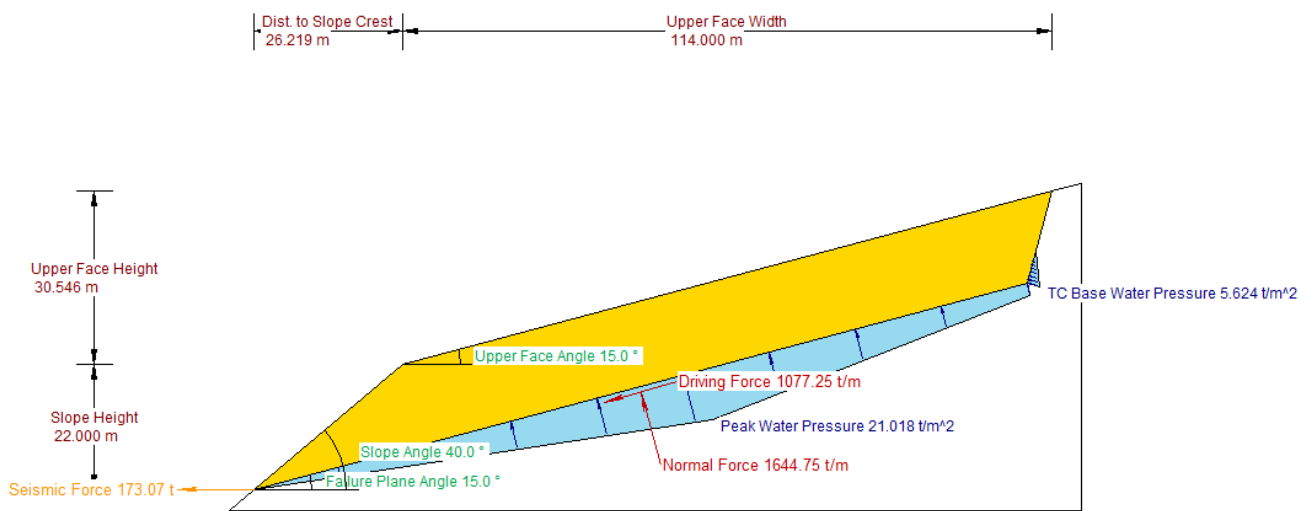
Понатаму во анализата на стабилноста за рамнински лом за конкретниот случај варирани се 3-те највлијателни параметри: јакосните параметри на рамнините на слоевитост, паден агол на слоевитоста, водопропусливоста, а анализиран е и еден случај каде во предвид е земен најдоминантниот параметар-сеизмичките услови.

Табела 2. Опсег на вредности за критични параметри

Паден агол на косината	$\alpha=(40^\circ) 35^\circ-45^\circ$
Паден агол на слоевитоста	$\psi=(15^\circ) 10^\circ-20^\circ$
Јакосни параметри на косината	$c=15 (10-20) \text{ kPa}, \varphi=21^\circ (16^\circ-26^\circ)$
Заполнетост со вода на тензионата лункатина	(80%) 75-85%
Сеизмички коефициент	0.05
Веројатност за рамнин. лом <b>PF</b>	55.6%
Фактор на сигурност <b>Fs</b>	0.980



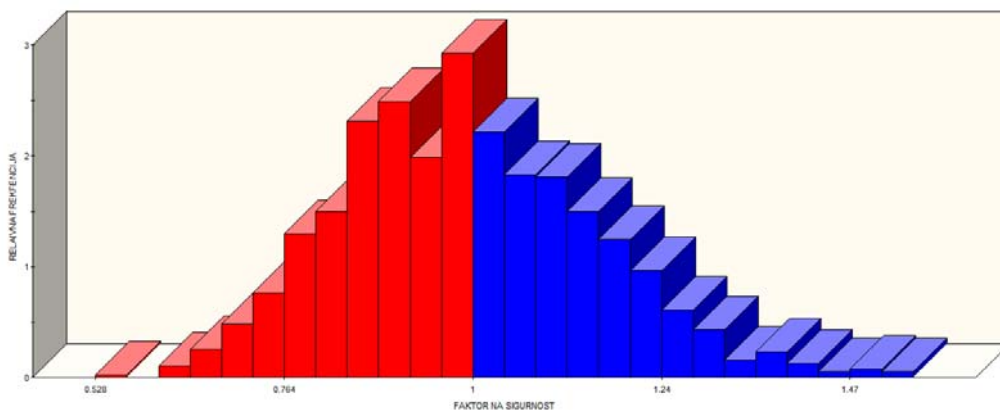
Слика 4. 3Д приказ на анализираната косина



Слика 5. Геометрија на анализираната косина и распоред на сили кои делуваат врз истата

За косината од слика 4 и 5, а за влезни вредности од табела 2, веројатноста за појава на рамнински лом е со веројатност

од PF=55.6%, додека добиената вредност на факторот на сигурноста е близу до рамнотежна состојба и изнесува  $F_s=0.980$ .



Слика 6. Приказ на веројатност на лом за анализираниот случај од табела 2; Веројатност на лом PF=55.6%

Со цел да се согледа влијанието на промената на еден од критичните параметри врз целиот систем, како и да се

провери комплементарноста со конкретната интеракциона матрица, подолу е прикажана веројатноста за лом за следните случаеви:

Табела 3. Анализа на случаи со промена на еден од критичните параметри и добиена веројатност за појава на рамнински лом со соодветен фактор на сигурност.

Вариран критичен параметар	Останати критични параметри	Веројатност за појава на рамнински лом PF (%) (основен случај 55.6%)	Фактор на сигурност (Fs) (основен случај 0.980)
<b>Кохезија (c)</b> (зголемена за 5кРа) (намалена за 5 кРа и φ за 1°)	константни	37.9	1.047
		92.7	0.754
<b>Паден агол на слоевитоста</b> (ψ намален за 2°) (ψ зголемен за 2°)	константни	24.0	1.123
		81.1	0.860
<b>Заполнет. со вода на тенз. пукнат.</b> (намалена на 75%) (зголемена на 85%)	константни	35.1	1.064
		73.1	0.897
<b>Сеизмички коефициент</b> (намален на 0.0) (зголемен од 0.05 на 0.1) (зголемен од 0.05 на 0.2)	константни	16.5	1.184
		88.4	0.832
		100.0	0.629

Очигледно е дека веројатноста за појава на лом долж рамнините на слоевитоста драматично се променува дури и при најмала варијација на некој од критичните параметри. Истата констатација важи и за

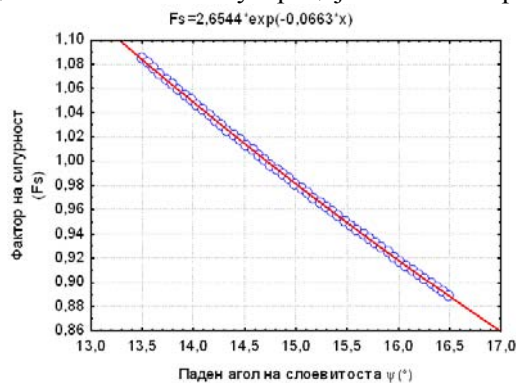
вредноста на факторот на сигурност. За дополнителна проверка на валидноста на воспоставената матрица, дополнително се вариран и дел од параметрите кои преку кодирањето беа одредени како споредни.

Табела 4. Анализа на случаи со промена на еден од споредните параметри и добиена веројатност за појава на рамнински лом со соодветен фактор на сигурност.

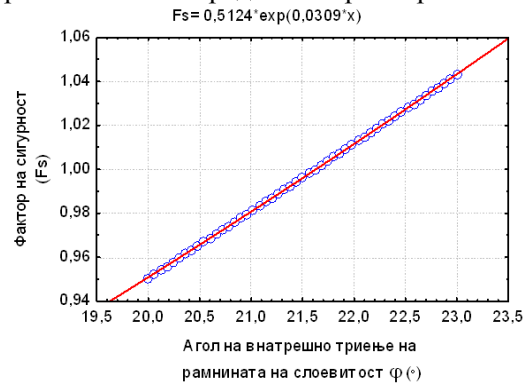
Вариран спореден параметар	Критични параметри	Веројатност за појава на рамнински лом PF (%) (основен случај 55.6%)	Фактор на сигурност (Fs) (основен случај 0.980)
<b>Висина на косината</b> (намалена од 22 на 12 m) (зголемена од 22 на 32 m)	константни	50.3	0.983
		59.5	0.968
<b>Потпирање на ножицата со сила</b> (5 тони на m должен) (30 тони на m должен°)	константни	54.4	0.986
		47.5	1.006
<b>Волуменска тежина</b> (γ од 18.14 кN/m <sup>3</sup> на 20 кN/m <sup>3</sup> ) (γ од 18.14 кN/m <sup>3</sup> на 16 кN/m <sup>3</sup> )	константни	43.7	1.025
		69.1	0.917

Од табела 4 јасно е дека веројатноста за појава на лом долж рамнините на слоевитост се менува во многу помал процент при варијација на споредните параметри во однос на критичните. За дополнителна илустрација на веро-

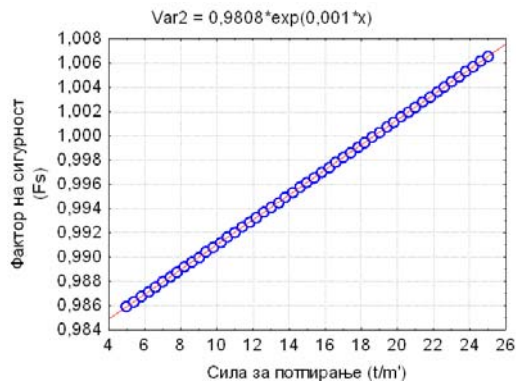
достојноста на методот на интеракциони матрици, извршени се дополнителни анализи и воспоставени се следните меѓусебни експоненцијани зависимости помеѓу факторот на сигурност и некои од критичните и споредните параметри:



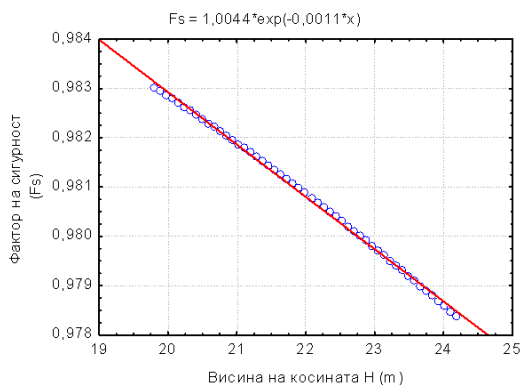
Слика 7. Влијание на промената на падниот агол на слоевитоста ψ на Fs



Слика 8. Влијание на промената на аголот на внатрешно триење долж слоевитоста φ на Fs

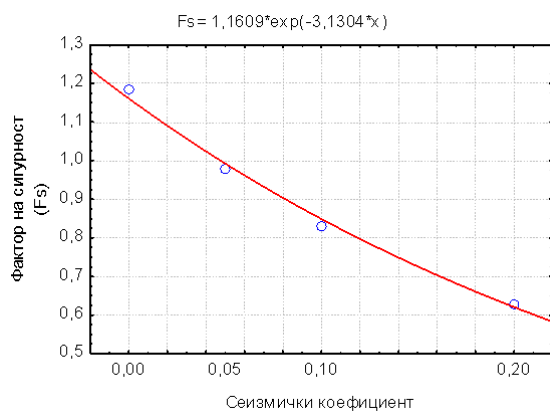


Слика 9. Влијание на промената на силата за потпирање  $t/m^2$  на  $F_s$



Слика 10. Влијание на висината на косината  $H$  на  $F_s$

Од воспоставените зависимости јасно се забележува дека секој од параметрите кој се вклучува во анализата е на некој начин меѓусебно поврзан со останатите. Можно е да се воспостават и директни зависимости за секој од влијателните параметри а не само со факторот на сигурност. За конкретниот случај, најдоминантниот параметар (сеизмичкиот коефициент) има најголемо влијание на факторот на сигурност (сл.11).



Слика 11. Влијание на најдоминантниот параметар (сеизмичкиот коефициент) на  $F_s$

## ЗАКЛУЧОК

Со детална анализа на добиените графици и воспоставените експоненцијални зависимости се забележува дека влијанието на промената на критичните параметри многу посилено влијае врз добиениот фактор на сигурност во однос на промената на споредните параметри. Ова го потврдува добриот избор на критични параметри за конкретната анализа, а благодарение на правилно воспоставената интеракциона матрица. Дури и најмалата промена на некој од критичните параметри повеќекратно е повлијателен во однос на споредните параметри. Врз основа на прикажаната постапка, со внимателна анализа кој од факторите кои се вклучуваат во интеракциите имаат најголемо влијание врз резултатите, се предлагаат соодветни мерки за заштита при изведба на косините. Со предложената методологија се отвара можност за поставување на добри концептуални модели за натамошен аналитичко-нумерички третман на проблеми со стабилноста и се отвара можност за проценка на највлијателните фактори за конкретен проблем. Се разбира за секој поединечен случај потребно е да се формира нова матрица во која ќе се вклучи потребниот број на параметри (во зависност од предметот на анализа) и истата правилно да се кодира. Интеракционите матрици овозможуваат логично поврзување на можните ефекти при инженерските активности во анизотропни карпести маси. Нивната примена се докажува како сеопфатен пристап при анализата на проблеми од инженерската геологија.

## ЛИТЕРАТУРА

- Hudson J. A. (ed.) (1993) *Comprehensive Rock Engineering*. Pergamon Press, Oxford, 4407pp.
- Hudson J.A, J.P.Harrison: *Engineering Rock Mechanics*, Pergamnon Press, 1997
- Jovanovski M., Popovska C., Donevska K., Pesevski I., *Interaction Matrix Method in Hydrogeological analyses at coal mines*, WMHE, 2009, Ohrid, 2009.
- Пешевски. И., *Методологија за примена на интеракциони анализи кај анизотропни карпести маси*, Магистерска теза, Скопје, 2009.
- Jovanovski M., Donevska K., Peshevski I., *Implementation of Interaction Matrix Method in Solid Waste Landfill Engineering*, 1<sup>st</sup> Conference on Final Sinks, September 23-25, 2010 Vienna, Austria.

# STANDARD PENETRATION TEST, HISTORICAL DEVELOPMENT AND CURRENT USE OF THE TEST

Gareth Evans<sup>1</sup>, Saša Živadinović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Louis Berger Group, Inc., Ada Ciganlija Project Office, Belgrade, R. Serbia, [gevans@savabridge.com](mailto:gevans@savabridge.com)

<sup>2</sup>Louis Berger Group, Inc., Ada Ciganlija Project Office, Belgrade, R. Serbia, [szivadinovic@savabridge.com](mailto:szivadinovic@savabridge.com)

## Abstract

The Standard Penetration Test (SPT) is an in-situ method of testing used to determine bearing capacity of the soils. In this paper, we look at the historical development and current use of the test. Issues with implementation and standardization are discussed. Possible mistakes in the interpretation of the test are addressed. Several recommendations of the interpretation of the test results are presented. Possibility of “parallel” ground testing with the aid of CPT test is discussed. The description of the test is referenced to BS 1377-9:1990, Methods of test for Soils for civil engineering purposes-Part 9: In-situ tests.

**Key words:** Standard Penetration Test, Ground Testing, Correlation, Soils

## INTRODUCTION

The Standard Penetration Test (SPT) is an in-situ method of testing used to determine bearing capacity of the soils. It is most commonly used in granular soils. A weight is repeatedly dropped onto a small diameter sample tube. The number of blows to advance the sampler by a defined distance is measured. This number of blows ‘N’ is the main output of the test. In this paper, we look at the historical development and current use of the test. Issues with implementation and standardization are discussed.

## BRIEF HISTORY OF THE TEST

The test was introduced in the engineering practice by Colonel Charles R. Gow, owner of the Gow Construction Co. in Boston area in 1902. The first application of the test was in the exploratory borings and it was done by 1-in. (2.5-cm) diameter drive samplers driven by repeated blows of a 110-lb hammer to aid in estimating the cost of hand excavating belled caissons. Harry Mohr, one of the engineers in Gow Construction Co. during the 1920’s and 1930’s, standardized the test.

The test was further developed during the early 1940s when Raymond Concrete Pile Co. lengthened the sampler to 22 in (55.9 cm) and this apparatus became known as Raymond Sampler.

Karl Terzaghi and Arthur Casagrande of Harvard University supported the use of the

Raymond Sampler. Initially, the Raymond Sampler was not used under the standardized practice, and without a specific designation as a test.

In 1947, Terzaghi in a presentation titled “Recent Trends in Subsoil Exploration,” which he gave at the 7<sup>th</sup> Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering at the University of Texas at Austin for the first time referred to the Raymond Sampler procedure as “*Standard Penetration Test*” (SPT).

In 1954, James D. Parsons of Moran, Proctor, Freeman, and Mueser in New York introduced the conventional procedure wherein blows are recorded for each of three 6-in. (15.2-cm) increments. The value recorded for the first round of advance is usually discarded because of (mainly) two reasons: fall-in and contamination in the borehole as well as because of the disturbance of the surface layer at the base of the borehole during drilling. The second pair of numbers is then combined and reported as a single value for the last 12 in. of penetration (30.5 cm). This value is reported as the raw (uncorrected) Standard Penetration Test (SPT) blow-count value, commonly termed N or, more recently, as NSPT.

Terzaghi together with Harry Mohr developed the correlations between the allowable bearing pressure and the blow counts while he was working on the draft of his book about soil mechanics. These correlations were based on



the data Harry Mohr collected during his practice that lasted more than 30 years. The correlations were applicable to both granular and cohesive soils and they were related to the relative density of sands, consistency and unconfined compressive strength of clays and to the allowable bearing pressure on sands and clays. Terzaghi and Peck later published these correlations being the first published SPT correlations. The correlations were published in the first edition of their famous reference book "Soil Mechanics in Engineering Practice" in 1948. These correlations do not consider the geological age as a factor.

The Committee on Sampling and Testing of the Soil Mechanics and Foundations Division of ASCE was formed in 1938. The first ASTM description for the SPT was published in April 1958 as a "Tentative method for penetration test and split-barrel sampling of soils". The International Reference Test Procedure for the SPT was adopted by the International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering in 1988."

The Standard Penetration Test SPT is standardized under the ASTM designation ASTM D1586 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils. The British Standards Institution has standardized the SPT test under BS 1377-9:1990, Methods of test for soil for civil engineering purposes, Part 9-In situ tests.

## STANDARDS

The standard penetration test is described in BS 1377-9:1990, Chapter 3.3 "Determination of the penetration resistance using the split-barrel sampler (the standard penetration test SPT)".

The equipment for performing the test consists of:

- Cathead;
- Drive rods. The rods used for driving the sampler assembly shall be made of steel with a quality and have a stiffness equal to or greater than type AW drill rods complying with BS 4019. For holes deeper than 20 m, rods with stiffness equal to or greater than, type BW drill rods and

complying with BS 4019 shall be used;

- Hammer;
- Hammer fall guide;
- Anvil;
- Hammer drop system;
- Split-barrel sampler assembly.

It is standardized:

- Height of the drop,  $760 \pm 20$  mm
- Weight of the hammer,  $63.5 \pm 0.5$  kg
- Size / dimensions of the split-barrel sampler
- Weight of the drive rods
- Anvil,  $15.0 \div 20.0$  kg. The exact weight is not standardized, but the total weight of the drive assembly is limited to 115 kg.
- The total weight of the drive assembly shall not exceed 115 kg.
- The number of blows (N) necessary to achieve penetration of the sampler into the soil for 300 mm. Prior to the execution of the test, it is recorded the penetration of the probe, the split-barrel sampler, under the dead weight of the drive assembly. In case of penetrating deeper than 450 mm, it is recorded the penetration and the N number is considered to be equal to zero,  $N=0$ . If the penetration is less than 450 mm, the test is performed in two phases. During the first phase, so called Seating drive, the number of blows needed for penetration of 150 mm is recorded. In case more than 25 blows are needed, the Seating drive is interrupted and "25" is recorded. During the second phase, the Test drive, the numbers of blows needed for penetration of four times 75 mm are recorded. The total number of blows obtained during the second phase is recorded as an N number, or the resistance of the soil to the penetration.

## PROCEDURE OF THE EXECUTING THE TEST- GENERAL PRINCIPLES

The split-barrel sampler is used in the standard penetration test and is described in test 19 of BS 1377:1990, Methods of test for soil for civil engineering purposes, Part 9-In situ tests. The basis of the test consists of dropping with

a free fall hammer with a mass of 63.5 kg on to a drive head from a height of 760 mm. The number of such blows (N) necessary to achieve a penetration of the split-barrel sampler of 300 mm (after its penetration under gravity and below the seating drive) is regarded as the penetration resistance (N). It takes highly disturbed samples of 35 mm in diameter.

If the test is used in gravels and gravelly sands, the drive shoe may be replaced by solid 60° cone. The Swedish Geotechnical Society recommends that these results should be presented uncorrected in the log and reported separately from the standard test using the open drive shoe, preferably as SPT (C). It should be stated in the borehole log if any correction to SPT N-values is made.

#### **RECOMMENDATIONS WITHIN THE BS REGARDING THE STANDARD PENETRATION TEST IN NON-COHESIVE MATERIALS**

The test was primarily designed to be used in sands, although later several correlations have been made for cohesive materials. If applied in sands (or in other non-cohesive material) the blow count indicates the relative density of the ground. The interval of the application of the test depends on the purpose of the site investigations, although some guidance should be followed.

The test should be carried out at the top of each new stratum, and thereafter at 1 m intervals of depth, with a maximum interval of testing of 2 m. A split barrel sampler should be used, and the possibility of application of the cone should be considered. It is to be mentioned that the execution of the test requires considerable judgment, particularly below the water table and near the border between materials / strata with significant difference in the stiffness. The location of such border and the level of the GWT should be identified when the desktop study is prepared, or during the preliminary site investigations.

The quoted British Standards consider five issues as critical for obtaining valid data from the Standard Penetration Test (SPT):

- a) Careful preparation of the bottom of the borehole before commencing the

test (disturbance of the bottom of the borehole);

- b) Ground water. It is emphasized that the water table inside of the borehole shall be kept on the level or above the level of ground water;
- c) Execution of the test according to the prescribed procedure;
- d) Maximum size of the granular material;
- e) Casing that is applied during the advancing the borehole.

#### ▪ *Sand*

The accurate application of the test is in sands. It is widely recognized that this material is prone to disturbance, especially below the water table where there is high possibility of appearance of loosened material. This may cause the relative density to be underestimated. This is why the water in the borehole shall be maintained above the GWT. The penetration of the casing below the level of testing shall not be allowed.

#### ▪ *Silt*

An unrealistically low result, i.e. low blow count, is highly possible if the bottom of the borehole is not properly prepared.

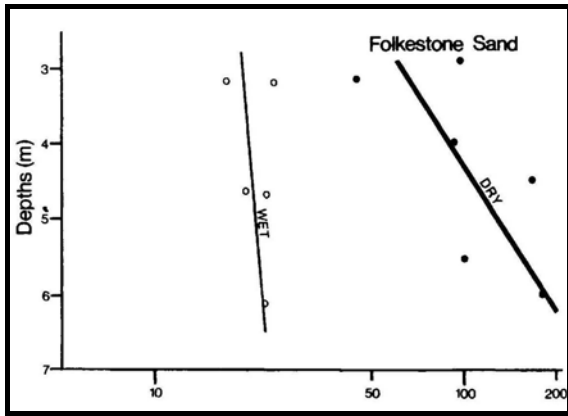
#### ▪ *Gravels and rocks*

Great care shall be exercised if cone at the top of the probe is applied. Opposite of the case when silts are tested, there is a possibility of overestimating the relative density of the material.

#### **INTERPRETATION OF THE TEST RESULTS**

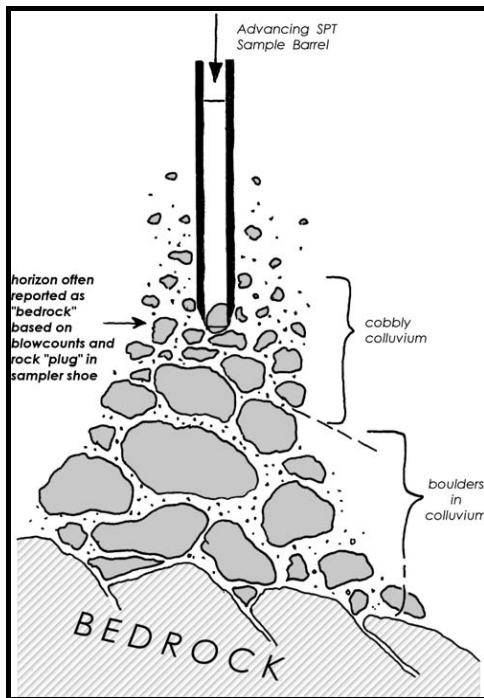
The errors in the interpretation of the results may be the result of the ground conditions at the location where the test is performed (dry, wet or saturated) or gravelly sand with pieces of gravel comparable to the size of the barrel. Three misinterpretations that occur quite often are:

- *The dry material will lead to overestimation of the SPT resistance.* The saturation of the material in the borehole is not considered. The results of the SPT test carried out in wet and dry material is presented on the sketch below. The Log (N<sub>60</sub>) is presented on the horizontal axis.



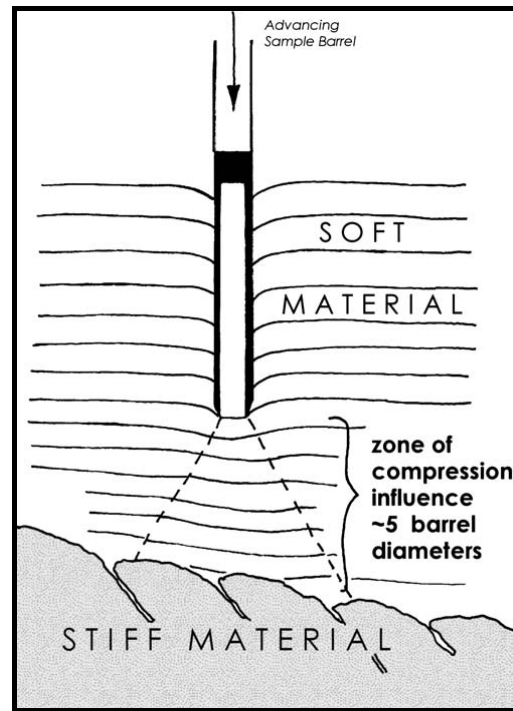
**Figure 1.** Comparison of the SPT test results in wet and dry sands, from M. E. Barton (1990), Bell, F. G., Culshaw, M. G., Cripps, J. C. & Coffey, J. R. (Eds.) (1990). "Field Testing in Engineering Geology", Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication No 6, pp 121-127

- Presence of coarse gravel in the colluvium above the bedrock can cause increasing of the SPT resistance. The gravels within the sand can also lead to the misinterpretation regarding the bedrock level. Similar to this scenario is when conducting the SPT test close to the border between two materials with different stiffness, the softer material lying above the stiffer one.



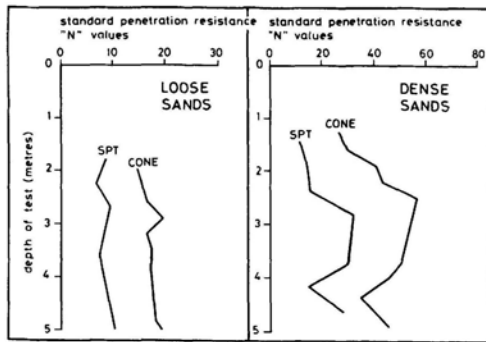
**Figure 2.** Performing the test in gravelly materials, from Rogers, David J. (2006). "Subsurface

Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test", Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XII, No. 2, May 2006, pp. 161-179



**Figure 3.** Performing the test in soft cohesive materials, from Rogers, David J. (2006). "Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test", Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XII, No. 2, May 2006, pp. 161-179

- The above-mentioned errors and their influence on the results of the test are the most quoted types of errors connected to the SPT test. *The third most common misinterpretation is connected to the negligence in recording the results of the SPT test, rather than the materials itself.* The allowance in the British Standards for using cone with 60° angle instead of driving shoe may lead to an inappropriate interpretation of the field results. The use of cone will result with increased penetration resistance. If the site daily logs do not contain data of the equipment used, it may happen that in the design stage the wrong correlation with the N number will be used. This scenario will also result in the misinterpretation of the bedrock level (the real level of the bedrock will lower than predicted).



**Figure 4.** Comparison of SPT test results in loose and dense sands, with and without use of cone attached to the split spoon sampler, from Thorburn S. (1986). “Field Testing: The Standard Penetration Test”, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications 1986; v. 2; p. 21-26

The tables below can be used to link the results of the SPT test with the physical properties of the tested ground. The first table is a correlation between the relative density of sands and gravels and the SPT number.

The relative density of sands and gravels only may be determined by the standard penetration test. A scale in terms of N-values (see BS 1377:1990) is as follows.

**Table 1.** Correlation between the N-values and the density of sands

Term	SPT N-values, blows / 300 mm penetration
Very loose	0 to 4
Loose	4 to 10
Medium dense	10 to 30
Dense	30 to 50
Very dense	(over) 50

Terzaghi (Soil Mechanics in Engineering Practice, Third Edition, 1996) recommends the following relations between the consistency of the cohesive materials, N<sub>60</sub> values and the unconfined compressive strength of the cohesive material:

**Table 2.** Correlation between the N<sub>60</sub> number and the consistency of cohesive soils

Consistency	Very soft	Soft	Medium
N <sub>60</sub>	< 2	2 to 4	4 to 8
qu (kPa)	< 25	25 to 50	50 to 100

**Table 3.** Correlation between the N<sub>60</sub> number and the consistency of cohesive soils (continued from Table 2)

Consistency	Stiff	Very stiff	Hard
N <sub>60</sub>	8 to 15	15 to 30	> 30
qu (kPa)	100 to 200	200 to 400	> 400

### ERRORS CONNECTED TO THE STANDARD PENETRATION TEST

- Errors due to the preparation of the borehole

Errors due to the preparation of the borehole are usually connected with the presence of the ground water within the sands. When the borehole is advancing through sand in the presence of ground water, it is highly recommended that the level of the ground water shall be maintained close to the natural level of the GW. Otherwise, the bottom of the borehole will be exposed to unnecessary pressure due to the difference of the GW level within and outside of the borehole. This will reduce the penetration resistance of the ascertained material.

The improper cleaning of the loose material (sand, mostly) from the bottom of the borehole can also be the reason for the decreased penetration resistance.

The casing is the second of the errors in the preparation of the borehole. It is recommended that the casing shall be kept above the bottom of the borehole. The British Standards do not specify the distance between the bottom of the borehole and the casing. The confinement of the material within the casing may increase of the penetration. Several authors recognize this. Clayton recommends the minimum distance of 1 m.

The ground water level during the period of the execution of the site investigations may lead to high penetration resistance, i.e. aged sands with diagenetic changes and with low ground water table (dry test, so called) will result in high penetration resistance. If the GWT is high during the period of the execution of the works and the sand layer became disturbed, as it is the case with pile driving works, the real resistance of the sand

layer would be much lower. This scenario will result in the misinterpretation of the bedrock level (the real level of the bedrock will lower than predicted).

An inexperienced crew may advance the casing in loose sands, below the bottom of the borehole. The standard penetration test will be performed within the casing, but in loose material. The results due to the confinement of the (loose) material within the casing will be higher than the results if test performed in undisturbed in-situ conditions. This scenario will result in the misinterpretation of the bedrock level (the real level of the bedrock will be lower than predicted).

- Errors due to the inappropriate equipment and human factor

Errors that may be attributed to the above said factors are:

- a) Variations of the height, height different from the prescribed height of 760 mm. This will lead to  $\pm 10\%$  variation of the N Number;
- b) Large vs. small anvil. This will lead to  $+ 50\%$  increasing of the N Number. The larger anvil absorbs in larger extent the energy that is transferred to the drive rods;
- c) Any interference with free fall. This will lead to  $+ 100\%$  increasing of the N Number;
- d) Deformed sampling spoon.

#### **CONNECTION BETWEEN THE SPT AND THE OTHER FIELD TESTS**

The main purpose of the SPT test is quantifying the bearing capacity of the soil through the measurement of the soil's resistance to the penetration of the split-barrel sampler; the test is often used for obtaining stratigraphic information.

The possibility of visual inspection of the sample (highly disturbed) and the low cost of the test itself, together with the quantified resistance of the soil are the factors that contributed in great extent to the popularity of the test. However, in some specific cases, where soft and sensitive materials are ascertained, this is not enough. The SPT test should be used in conjunction with other more sophisticated tests, for example, with CPT test.

CPT test consist of hydraulic push of an instrumented steel probe at a constant rate to obtain continuous vertical profiles of stress, pressures, and / or other measurements.

FHWA recommends that cone penetration testing (CPT) may be used to obtain detailed site stratigraphy information. The CPT is widely recognized as rapid and relatively inexpensive test. During the execution of the CPT, the collected data are obtained continuous subsurface stratigraphy data opposite of the strictly localized information obtained by the SPT test. This type of subsurface investigation helps the geotechnical engineer to determine the thin layers of weak material that may cause potential problems in the design. Numerous correlations between the physical properties of the soil with the bearing capacity of the bored piles are developed and are considered one of the most accurate methods in the design of bored piles. In case of adopted interval for the SPT test at 1.5 m, CPT test is the one of the valuable aid to determine accurately the subsurface profile of the actual site. In such "*parallel*" testing, the advantage of the possibility of visual identification of the sample obtained by SPT test is exploited. The possibility to test in the laboratory the soil obtained at the place of testing is considered valuable, even though the samples are highly disturbed.

In the standards and codes of practice related to the subsurface site investigations it is mentioned that in some cases the SPT test's results should be the initial point of the assessing the properties of the foundation zone and that the more sophisticated methods of site investigations (i.e. field investigations) should follow. The British Standards do not provide guidance for the minimum value of the N number that should be considered as realistic. There are recommendations issued by several authors, like Marsland (1986) and Bell (1990), drawing the bottom limit of the SPT test to NSPT=10 as a minimum reliable N number.

There are at least two possible reasons for obtaining such a low value of the NSPT number (NSPT below 10). One of the possibilities is the presence of highly compressible material such mica, shell fragments or presence of carbonates in the layer of loosely packed sands. This is the case where

alternative method for determination of the stratigraphy and determination of the in situ physical properties of the soil are recommended. This alternative method can be the use of self-boring pressuremeter or CPT. Assistance of experienced geologist is highly recommended.

The other reason that can lead to low values of the NSPT number is the presence of highly disturbed sand in relation to high water pressures, indicating a possible disturbance of the bottom of the borehole. Assistance of experienced geologist is again highly recommended in order to distinguish the geological factors from the disturbance of the bottom of the borehole caused by the test-operator. In any case, low results must be properly evaluated.

### STANDARD PRACTICE

The Standard Penetration Test is one of the oldest in-situ tests. It is widely used, most of the time according to the local practice. The various international committees / working groups recognize this reality. Thorburn (1986) supports the opinion that *“the concept of an International Reference was more appropriate”*:

“The SPT Working Party considered that an International Standard could be inhibiting and unacceptable. Its adoption could mean a disruption to the successful application of individual methods of execution of the SPT combined with empirical knowledge at individual, local, and national levels over the past sixty years. Variations in test equipment and procedures may be used provided comparative tests demonstrate their suitability in comparison with the recommendations of the International Reference Test Procedures. The legal implications of the use of a standard also present difficulties within the International Community and it was considered that the concept of an International Reference was more appropriate”.

The reason that the SPT test is closely linked to the local practice requires strict quality control of the execution of the test. Only with strict control valid results can be obtained, and later these results can be related to the published correlations with the properties of

the ascertained materials. *It must be mentioned that the correlations are derived for the local conditions, in most of the cases.*

### FURTHER DEVELOPMENT

The Standard Penetration Test at its beginning (1902) was an aid to the estimating the cost of hand excavating of the belled caissons. During the period of the practice, the test was developed and the procedure was widely adopted. Now, the test is recognized by the CEN EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION as a field test and it is included in the Eurocode 7: Geotechnical design - Part 3: Design assisted by field-testing.

The enclosure of the Standard Penetration Test in Eurocode 7 will lead to more accurate test data, resulting in a more strict design of the geotechnical structures, where field tests are used.

### REFERENCES

1. Bell, F. G., Culshaw, M. G., Cripps, J. C. & Coffey, J. R. (Eds.) (1990). “Field Testing in Engineering Geology”, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication No 6, pp 3-20;
2. Bell, F. G., Culshaw, M. G., Cripps, J. C. & Coffey, J. R. (Eds.) (1990). “Field Testing in Engineering Geology”, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication No 6, pp 121-127
- Marsland A. (1986). “The Choice of Test Methods in Site Investigations”, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications 1986; v. 2; p. 289-297;
3. Rogers, David J. (2006). “Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test”, Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XII, No. 2, May 2006, pp. 161–179;
4. Thorburn S. (1986). “Field Testing: The Standard Penetration Test”, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications 1986; v. 2; p. 21-26;
5. U.S. Army Corps of Engineers (1988). “ETL 1110-1-138, Standard Penetration Test”, Department of the Army, Washington DC;
6. C. R. I. Clayton, M. C. Matthews and N. E. Simons. “Site Investigation, Second

Edition”, Department of Civil Engineering, University of Surrey, Chapter 9;

7. BS 8004:1986, Code of practice for Foundations-(Formerly CP 2004)

8. BS 5930:1999, Code of practice for site investigations;

9. BS 1377-9:1990, Methods of test for soil for civil engineering purposes, Part 9-In situ tests;

10. FHWA-IF-02-034 (2002). GEO-TECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 5, Evaluation of Soil and Rock Properties;

11. EUROPEAN PRESTANDARD ENV 1997-3, (1999). “Eurocode 7: Geotechnical design - Part 3: Design assisted by field testing, English version”.

# ПОЈАВА, ФОРМИРАЊЕ И САНАЦИЈА НА СВЛЕЧИШТА ВО УРБАНИ СРЕДИНИ НА ТЕРИТОРИЈАТА НА ОПШТИНА ШТИП

Љупче Кулаков<sup>1</sup>, Зоран Ѓорѓиевски<sup>2</sup>, Златко Илијовски<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Градежен Институт МАКЕДОНИЈА А.Д.,  
Ул.Дрезденска бр.52 Скопје, Р.Македонија, gim\_geologija@gim.com.mk

## Апстракт

При процесот на изготвување на општинските детални урбанистички планови, како и други видови на просторно планирање, неопходно е земањето во педвид на геотехничките параметри на теренот кои дефинирани преку инженерскогеолошките карактеристики на карпестите маси даваат прецизна слика за условите и можноста за формирање на свлечишта. Целта на овој труд е дефинирање на инженерскогеолошките карактеристики на карпестите маси и условите за појава на свлечишта во рамки на урбаните средини на територијата на општина Штип, како и евидентирање на постоечките појави на свлекување на земјиштето, причините за нивно појавување, и утврдување на мерките за санација.

**Клучни зборови:** Истражување, Свлечичте, Анализа, Санација

## ВОВЕД

Суштински дел при процесот на утврдување на општинските детални урбанистички планови представува дефинирањето на инженерскогеолошките карактеристики на карпестите маси на теренот, а со самото тоа и условите за градба. Законската регулатива и пракса во ваквите случаи предвидува вршење на одредени детални геотехнички истражувања за конкретни микролокации врз основа на кои прецизно се утврдува начинот и видот на градба. За жал денес ваквата пракса при изработка на одредени капитални инфраструктурни објекти делумно или во целост не се применува. Како резултат на ваквата ситуација се почеста е појавата на несакани инженерскогеолошки појави и

процеси кои имаат значително деструктивно дејство врз планираните или веќе изградени инфраструктурни објекти. Ова најчесто резултира со дополнителни парични сердства или скапи санациони мерки кои многу често вредат повеќе од самиот објект

Целта на овој труд е дефинирање на инженерскогеолошките карактеристики на карпестите маси и условите за појава на свлечишта во рамки на урбаните средини на територијата на општина Штип, како и евидентирање на постоечките појави на свлекување на земјиштето, причините за нивно појавување, и утврдување на мерките за санација.

## УСЛОВИ ЗА ПОЈАВА НА СВЛЕЧИШТА НА ТЕРИТОРИЈА НА ОПШТИНА ШТИП

Општина Штип зафаќа површина од 583,24km<sup>2</sup> и е распространета на територија која опфаќа делови од Овче Поле, Кочанската котлина, Лакавичката котлина, како и делови од ридско планински предели со котини кои ретко преминуваат 1000м.н.в. а главно припаѓаат на Плачковичкиот планински систем [5]. Карактеристично за Штипскиот регион е доминантната застапеност на повеќе видови на еоценски седименти кои најчесто се појавуваат како геолошка средина во која се изградени најголемиот дел од инфраструктурните објекти. Ваквите седименти представени главно преку повеќе видови на врзани, добро скаменети карпи како: песочници, варовни-

ци, конгломерати и слично, представуваат доста поволна средина за скоро секаков вид на градба [3]. Нивните јакосно-деформибилни параметри генерално пружаат поволни услови за реализација на скоро секаков вид на инфраструктурно моделирање. Ваквата констатација може да се базирана на крајно ретката појава на свлекување на земјиштето во минатото. Земајќи во предвид дека овие седименти се доста слабо водопропусни и безводни, каде како главен фактор за појава на подземна вода е пукнатинската порозност, појвувањето на истата во основа е поврзано со поголемите раседни и пукнатински системи [4].



Според досега евидентираните појави на свлекување на земјиштето на територијата на општина Штип, како главен причинител за ваквата појава се смета човековиот фактор. Оваа констатација се базира на се почестата појава на локално свлекување на земјиштето при изградба на разни видови објекти од јавен или индивидуален карактер. Отсуството или неадекватната реализација на геотехнички истражувања пред почетокот на утврдената градба придонесува да се почесто се појавуваат ваков тип на неповолни инженерскогеолошки пројави и процеси.

### ПОЈАВА НА СВЛЕКУВАЊЕ НА ЗЕМЈИШТЕТО ВО МЕСНОСТА СУИТЛАК

Како типична појава на свлекување на земјиштето каде како причинител за појавање на истото се несоодветните геотехнички испитувања и истражувања, може да се посочи свлечиштето во месноста Суитлак (Сл.1). Ваквата деструктивна појава е утврдена после изградбата на нов спортско рекреативен терен на претходно споменатата локација. При изградба на истиот, изработен е усек на земјиштето во југозападниот дел од објектот при што не се применети соодветни геотехнички истражни и санациони мерки [1].



Слика 1. – Челна денивелациона пукнатина на свлечиштето во месноста Суитлак

Како резултат на ваквата ситуација поголем дел од земјиштето (околу 10000 m<sup>3</sup>) е свлечено при што е нанесена позначителна материјална штета на новоизградениот објект. Генерално ваквата појава е утврдена во ножичниот дел од свлечиштето во рамки на заштитната ограда и повеќе наменската барака (Сл.2) [1].



Слика 2. – Деструктивно влијание на свлечиштето врз новоизградениот објект

Дополнителна причина за загриженост и потреба од итна санациона интервенција на свлечиштето е и зафаќањето на дел од електро мрежата како и деструктивното влијание на истото врз локалниот пристапен пат кој е на растојание од само неколку метри од челната пукнатина на свлечиштето (Сл.1).

Како резултат на ваквата ситуација, во текот на месец Август 2010 година од страна на Градежен Институт МАКЕДОНИЈА А.Д. - Скопје извршени се одредени геотехнички теренски и лабораториски истражувања и испитувања на ова свлечиште. За таа цел покрај деталното инженерскогеолошко картирање, изработени се 4 истражни структурно-пиезометарски дупнатини и 5 истражни раскопи со длабона до 2,5m. При тоа утврдени се сите релевантни геотехнички параметри кои се потребни за целосно дефинирање на свлечиштето. Според извршеното инженерскогеолошко картирање утврдена е дека свлечиштето е изградено главно од 4 литолошки члена:

- (N) Насипан материјал составен од парчиња гранит и грус;
- (SFc/PRPG) Делувијални песокливи глини и глиновити песоци;
- (CI/GL) Слабо дијагенизирана кафеаво - сивкаста глиновито-карбонатна карпа;
- (CL/PG) Слабо дијагенизирана црвеникаво-кафеава песоклива глина

Покрај деталното геолошко картирање и изработка на структурни и хидрогеолошки истражни дупнатини, реализирани се и одреден број на тестови

за стандардна динамичка пенетрација преку кои е утврдена збиеноста на земјиштето. Резултатите од изведените SPT тестови се прикажани во Табела 1 [1].

**Табела 1. Резултати од SPT тестирање**

Дупнат.	Продирање на конусот	Број на удари			Збиеност/конзист.	$M_e$ [kPa]	ИГ симбол
		N	N'	N''			
ИД-1	3.60 - 3.90	7	5	5	Меко	3000	CI / PG
	5.00 - 5.30	4	3	3	Многу меко	1800	CI / PG
	8.00 - 8.30	7	5	5	Меко	3000	CI / PG
	11.00-11.30	13	10	10	Полу цврсто	6000	CL / PG
ИД-2	2.50 - 2.80	13	10	10	Средно збиен	6000	SF <sub>c</sub> / PRGP
	4.00 - 4.30	6	4	4	растерсит	2400	SF <sub>c</sub> / PRGP
	7.00 - 7.30	9	6	6	Мако	3600	CI / PG
ИД-3	2.00 - 2.30	6	4	4	Мако	2400	CI / GL
	4.10 - 4.40	3	2	2	Многу мако	1200	CL / PG
	6.50 - 6.80	15	11	11	Полу цврсто	6600	CL / PG
ИД-4	3.00 - 3.30	5	3	3	Многу меко	1800	CL / PG
	5.00 - 5.30	7	5	5	Меко	3000	CL / PG
	9.00 - 9.30	11	8	8	Полу цврсто	4800	CL / PG

Преку деталното инженерскогеолошко картирање на јадрото од истражните дупнатини детално се утврдени претходно наведените литолошки членови (Сл.3) [1].



**Слика 3.** – Складирање и документирање на јадро од истражна дупнатина – свлечиште Суитлак

За дефинирање на ниво на подземна вода изработени се 2 пиезометарски конструкции при што е утврдено -5m НПВ. Според утврдената хидрогеолошка ситуација на теренот констатирано е дека земјиштето кое е опфатено со појава на свлекување е водозаситено во значителна мера, пред се поради постоење на поголеми количини на подземна вода. Дополнителна причина за дестабилизација и понатамошно развивање на свлечиштето е и континуираната инфилтрација на површински атмосферски води во челната пукнатина, и одредена количина на фекални води од околните куќи .[1]

Во делот од лабораториските истражувања се реализирани неколку видови на класификациони и специјални опити кои се од суштинско значење за геомеханичка пресметка и анализа:

- Класификациони опити
  - Природна вол.теж. и влажност
  - Специфична тежина
  - Гранулометриски состав
  - Граници на конзистенција
- Специјални опити
  - Опит на резидуална јакост
  - Опит на стисливост
  - Опит на директно смолкнување
  - Опит на триаксијална јакост

Според реализираните лабораториски испитувања утврдени се следните геотехнички параметри за истите Табела 2 [1]:

**Табела 2. Геотехнички параметри на карпите**

ИГ ознака	ГЕОТЕХНИЧКИ ПАРАМЕТРИ			
	Кохезија $c$ [kPa]	Агол на внат.тр. $\phi$ [°]	Волуменска тежина $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Модул на стисливост $M_v$ [kPa]
SF <sub>c</sub> / PRGP	15.0	28.0	19.50	5000
CI / GL	20.0	26.0	19.00	3000
CL / PG	30.0	25.0	19.00	5000

Врз основа на добиените резултати од теренските и лабораториските истражни работи утврдено е дека станува збор за појава на локално поголемо свлекување на земјиштето кое е резултат на нарушување на природните геоморфолошки карактеристики на теренот. Станува збор за свлечичте кое е со ширина од 60m, должина 70m, и висина на челото од 1,5m. Рамнината на лизгање е утврдена на 4 до 5m по оската на свлечичтето, и околу 1m во ободните делови. Според овие димензии свлечичтето припаѓа во групата на средни и плитки свлечичта [1].

За активирање на свлечичто клучна улога одиграле повеќе фактори меѓу кои како главен фактор се земаат нерегулираните површински и пред се подземни води, енормните врнежи од дожд, како и неправилно изведениот висок засек на земјиштето кој бил оформен за време на изградбата на објектот. Како резултат на филтрација на водата низ телото на свлечичтето дошло до водозаситување на материјалот од кој е изградена падината при што се зголемила волуменската тежина на истиот а се намалиле кохезионите сили. Со тоа се создала мека и влажна зона која представува привилегирана рамнина вдолж која се активирал механизмот на свлекување. Како дополнителна причина за можно понатамошно развивање на свлечичтето е и регистрираната неадекватна и нестручна изработка на каналот за зафат на површинските води, кој наместо за зафаќање и регулација на истите, практично служи за нивно акумулирање (Сл.4). Со ваквата појава практично се намалуваат кохезионите карактеристики на земјиштето во нај критичниот дел од свлечичтето, односно ножицата на свлечичтето [1].



Слика 4. – Неадекватно изработен канал за регулација на површинските води

## МЕРКИ ЗА САНАЦИЈА НА СВЛЕЧИШТЕТО

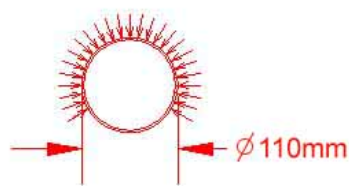
Земајќи ги во предвид просторната положба на литолошките слоеви на предметната локација и местоположбата на свлечичтето во однос на објектот, како најадекватно решение за санација на свлечичтето е утврдено фазно санирање на истото. Предвидено е санирањето да се реализира во три фази последователно: Најпрво би се постапило кон изведба на косини т.е. растеретување на косината составена од делувијален материјал.

Потоа би се изработила потпорна конструкција во зоната на ножицата на свлечичтето од аголен армирано бетонски потпорен ѕид, или конструкција од габиони.

На крај би се пристапило кон изработка на конструкција за зафаќање на водите кои се дренираат од падината во телото на свлечичтето и нивен одвод надвор од зоната на свлекување, како и изведба на ободни канали за зафаќање на атмосферските води во повисоките делови од свлечичтето.

Во поглед на изработка на конструкција за зафаќање на подземните води, предложени се два модела:

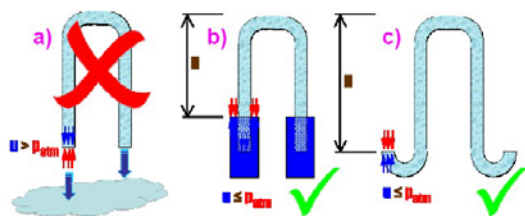
Првиот е на принцип на класично дренирање во форма на лепенка, односно конструкција на два дренажни система со по четири дренажни цевки со 121 и 177m севкупна дренажна цевна исталација. Изработката на дренажните зафати е предвидена да се реализира со соодветна дупчачка опрема под нагиб од 5%, дијаметар на дупчење  $\phi 150\text{mm}$  и вградување на  $\phi 110\text{mm}$  PVC 2/3 перфорирана цевна конструкција со макс. притисок од 8 бари (Сл.5). Неперфорираниот дел од цевката потребно е да се постави поедински како водата која се инфилтрира непречено би се движела вдолж дренажната цевка [2].



Слика 5. – Предвиден тип на дренажна конструкција

Проценето е дека поради многу нискиот коефициент на филтрација на еоценскиот флишен седиментен материјал, максималното меѓусебно крајно (завршно) растојание на две соседни дренажи не треба да биде поголемо од 15m [2].

Вториот начин на регулација на подземните води е предвидено да се изработи врз основа на сложен сифонски систем на гравитациони бунари. Овој систем е смислен и патентиран од страна на TP.GEO и се базира на принципот на континуирано полни со вода сифонски цевки кои ги поврзуваат челните со ножичните делови од свлечиштето. Теоретски концептот на континуирано полнети сифонски цевки е даден на Сл.5. Според тоа, цевката 1a не може да остане полна затоа што на секој карај воздухот кој е со атмосферски притисок и од тука полесен од водата, се движи нагоре и ја празни цевката. За да остане сифонската цевка постојано полна потребно е да се создадат услови атмосферскиот притисок да делува надолу, односно врз површината на водата на секој крај, или преку потопување на двата краја со сифонска цевка во резервоар полн со вода (1b) или преку користење на U облик (1c).

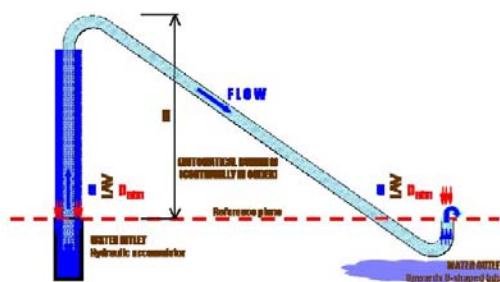


Слика 5. – Типови на завршетоци кај сифонска цевка

За да се испразни еден бунар резервоарот со вода со потопениот крај од сифонската цевка се инсталира во бунарот (Сл.6) и низводниот крај на сифонската цевка се поставува на косината на истата висина како и резервоарот со вода во бунарот (“референтна рамнина”) [2].

Доколку во бунарот се покачи нивото на вода, истата ќе протекнува низ сифонот кој ќе ја исфрла надвор од бунарот. Истекувањето ќе продолжи се додека нивото на водата во бунарот не падне под услов брзината на протекнување на водата низ сифонот да е доволно голема да го одржува сифонот полн. Како што се качува водата кон врвот од сифонот притисокот паѓа при што може да дојде до перфектен вакум.

Во узводниот дел, малиот притисок предизвикува појава на мали меурчиња.



Слика 6. – Ефективно поставување на сифонската цевка

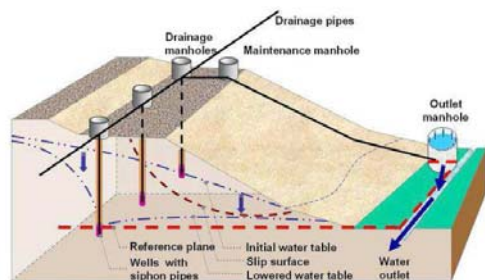
Овие меурчиња обично се задржуваат и формираат поголеми меурчиња низводно. Две сили делуваат на меурчињата, првата е потисок, а втората е хидрауличка сила која се јавува како резултат на протокот во цевката. Доколку потисокот стане примарна сила, меурчињата ќе се соберат на врвот од цевката и ќе се спојат во еден единечен меур, кој со тек на време ќе ја разбие движечката вода во сифонот. Ова може да се избегне со систем кој автоматски ги исфрла меурчињата од турбулентниот проток (Сл.7) [2].



Слика 7. – Автоматски систем за испирање

Системот се состои од PVC цевка на низводниот крај од сифонската цевка, која која служи како акумулатор со хидраулично полнење. Кога нема поток во сифонската цевка нивото на водата ќе биде скоро исто како и на узводниот крај од дренажниот бунар. Кога водата во PVC акумулаторот ќе достигне одредено ниво складираната вода (хидрауличното полнење) веднаш се празни со помош на едноставен систем за испирање кој не изискува енергија. Инплементацијата на системот за длабока дренажа со сифонски цевки се состои од мрежа на бунари, шахти и спојни канали во кои се поставени сифонските цевки.

Поставеноста на ваквиот систем е прикажана на Сл.8 [2].



Слика 8. – Општа поставеност на сифонскиот дренажен систем

Бунарската шахта е со дијаметар 800mm, минимална длабочина од 1,5m и е опремена со скала со поклопец од лиено железо. Шахтата ја заштитува главата на бунарот и дренажната цевка.

Бунарите се со минимален отвор од 200mm, вообичаено опремени со PVC екран од 100mm со филтер околу. Термопластичната канална цевка е со дијаметар од 200 до 300mm, која треба да се постави помеѓу секоја шахта од сифонскиот цевковод.

Термопластичната канална цевка е со дијаметар од 200 до 300mm, која треба да се постави помеѓу секоја шахта од сифонскиот цевковод.

Растојанието помеѓу шахтите, односно бунарите, зависи од пропустливоста на почвата, но вообичаено изнесува 3 до 5m.

## КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

[1] (Зоран Ѓорѓиевски, Кулаков Љупче, 2010) Елаборат за извршените теренски истражувања и лабораториски испитувања на локацијата предвидена за санација на свлечиштето во месноста “Суитлак” – Штип.

[2] (Зоран Ѓорѓиевски, Кулаков Љупче, 2010) Проект за санација на свлечиштето во месноста “Суитлак” – Штип.

За време на инсталацијата на шахтите и спојните канали, за собирање на површинската вода може да се постави хоризонтална перфорирана цевка (цевна дренажа) и филтерски материјал [2].

Цевководот е поврзан со испуствна шахта, низводно од локацијата на бунарите во кој се инсталирани системите за испирање, по еден за секој бунар. Дното од испуствната шахта треба да биде на ниво од 0,7m под референтното. Испуствната шахта најчесто е со минимален дијаметар од 1500mm со цел да се овозможи доволно простор за поставување на системите за испирање. Низводно од испуствната шахтаводата се празни во канализација или некој друг воден тек [2].

Според планот предвиден за санација на свлечиштето во месноста Суитлак, предвидено е да се изработи дренажна линија во должина од 76m составена од 20 сифонски цевки на длабочина од 12m. Технологијата ќе се заштити со канал длабок 2,3 до 3 m кој исто така ќе се користи и како површински одводен канал. Дренажната линија е сместена на стабилна површина, 5-10m пред заштитниот потпорен сид на свлечиштето. Ваквиот сифонски дренажен систем би бил многу ефикасен во однос на одводнување на конкретната локација [2].

[3] (Т.Раќиќевиќ, Н.Думурџанов, П.Петковски, 1974) Основна Геолошка Карта на СФРЈ, Лист Штип, Р 1:100000

[4] (Милорад Јовановски, Наум Гапковски, 2007) Инженерска Геологија

[5] [www.wikipedia.com/opstina stip](http://www.wikipedia.com/opstina stip)

# СВЛЕЧИШТЕ ВО ПОВРШИНСКИ КОП СУВОДОЛ, МИКРОЛОКАЦИЈА – 7, НЕГОВА ПОЈАВА И ИСКУСТВА

Љупчо Петрески, Анита Мартиновиќ, Марија Манева

*АД ЕЛЕМ-Подружница РЕК Битола, Новачки пат бб, Битола, Р.Македонија*

## Апстракт

Во трудот е прикажан еден од повеќето примери на појава на свлечишта со големи димензии во Микролокација – 7, во површинскиот коп Суводол – Битола. Анализирани се основните причини кои довеле до неговата појава, кои се резултат на сложен збир на појави кои во склоп со природната геолошка средина и ископот на јаловината и минералната суровина довеле до негово активирање. Прикажан е примерот на настанот преку развојот на процесот се до моментот на неговиот лом. Сметаме дека искуствата ќе бидат интересни за стручната јавност од областа на експлоатацијата на минералните суровини и пошироко.

**Клучни зборови:** свлечиште, површински коп, јаловина, минерална суровина, лом

## ВОВЕД

Проблемот на изучување на стабилноста на теренот секогаш е доста актуелен во делот на ископувањето. Појавите на свлечишта се секогаш еден од најопасните и најчестите инженерско-геолошки појави поготово при вештачки создадените услови за нивна појава. Така искуствата добиени врз основа на принципот на учење на појавени свлечишта се од голема корист за стручната јавност во секој поглед, иако понекогаш последиците од појавата на свлечишта се со несогледливи последици према околината, а поготово на корисникот на одредениот простор. Затоа во овој смисол пред стручната јавност ќе бидат презентирани резултатите од првите почетоци на формирање на масите потенцијални за свлекување до нивно

активирање во услови на вештачки створени предиспозиции. Ваков еден од повеќето примери се однесува на појавено свлечиште во југоисточниот дел од ПК “Суводол” - Битола. Појавата на лом на свлечиштето се случи на 02.06.2012 год., а неговиот развој се следи повеќе години пред негово активирање што е карактеристика за големите свлечишта. Примерот на појавата на свлечиште, во услови створени на ископ на природната геолошка средина е поврзан со одреден ризик кој што постојано треба да се следи и анализира како последиците би биле помали.

## ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОЈАВЕНОТО СВЛЕЧИШТЕ

Просторот на појавеното свлечиште е составен дел на површинскиот коп Суводол кој се наоѓа во југоисточната страна на пелагониската котлина во Суводолскиот залив. Важно е да се спомене дека делот на појавеното свлечиште е специфичен дел на копот, а се работи за рабен дел каде се спојуваат контактните делови од прекамбрискиот комплекс изграден од гнајсеви со плиоценски седименти каде е сместен и продуктивниот јагленов слој кој е предмет на експлоатација.

Геолошките карактеристики на теренот се рефлексија на процесите кои се случувале во рабните делови на Пелагонискиот басен, во контактните делови со метаморфниот

комплекс на Пелагонскиот хорст антиклинориум. Карактерот на седиментите условен е од фактот дека просторот на појавеното свлечиште претставува рабна зона во која се случувале чести фацијални промени. Геолошката средина е претставена со:

**Подинската фација** која лежи непосредно над палеорељефот и се карактеризира со голема хетерогеност, а е претставена со плиоценски езерски седименти и тоа разногранулирани песоци, прашинести песоци и песокливи глини кои често наизменично се сменуваат во хоризонтален и вертикален правец.

**Продуктивна фација** која во овие делови е претставена од јагленова глина и јаглен, кој јаглен е развиен во два слоја поделени со заглинета прашина. Карактеристика на продуктивната фација во зона на крајните рабни делови е нејзиното исклинување и раслојувањето со поделба на два и три слоеви со мала моќност на меѓуслојната јаловина. Ова е посебно важно од хидролошко и инженерскогеолошко значење. Падните агли се доста стрмни и променливи каде во одредени делови се движат и до  $20^{\circ}$ .

**Повлатната фација** претставена од плиоценски глинци (трепели), прашиесто песокливи творби како и делувилна црвеница која во истражуваниот терен е откопана.

Од структурен аспект теренот на појавеното свлечиште се карактеризира со сложена градба кое се наоѓа во т.н. **Микролокација 7**, а според структурните специфичности и појави се наоѓа во **Блок бр.3**, во кој со новите податоци од геолошката перспекција и новите инженерско геолошки појави издвоен е блок бр. 3<sub>1</sub>. Поради постоењето на геоморфолошките форми (гребени) од основната стена – гнајс кои завлегуваат длабоко во басенот гледано во потесното подрачје т.е. анализираниот терен, активираниот свлечиште претставува синклинала со протегање на оската према северозапад и нејзино тонење од  $8^{\circ}$ - $11^{\circ}$  т.е. 290/8 и падови на крилата, североисточното 200/17 и југозападното 20/23. Синклиналата добро е изразена во источниот дел додека према отворениот дел на копот добро е изразено само североисточното крило.

### **ХРОНОЛОГИЈА НА ПОЈАВИТЕ**

За да се согледа големината и значењето на појавата даден е краток приказ на временскиот развој на процесот. Развојот на процесот на свлекување се случува во подолг временски период, во фази кои крајно довеле до појава на свлечиште со вакви размери. Првите појави на пукнатини кои се показатели за нестабилност се регистрирани на овој дел од теренот уште од 2008 година, и од тогаш до денес имаат постојан развој се до формирање на блок за свлекување. Развојот на пукнатините покажува дека

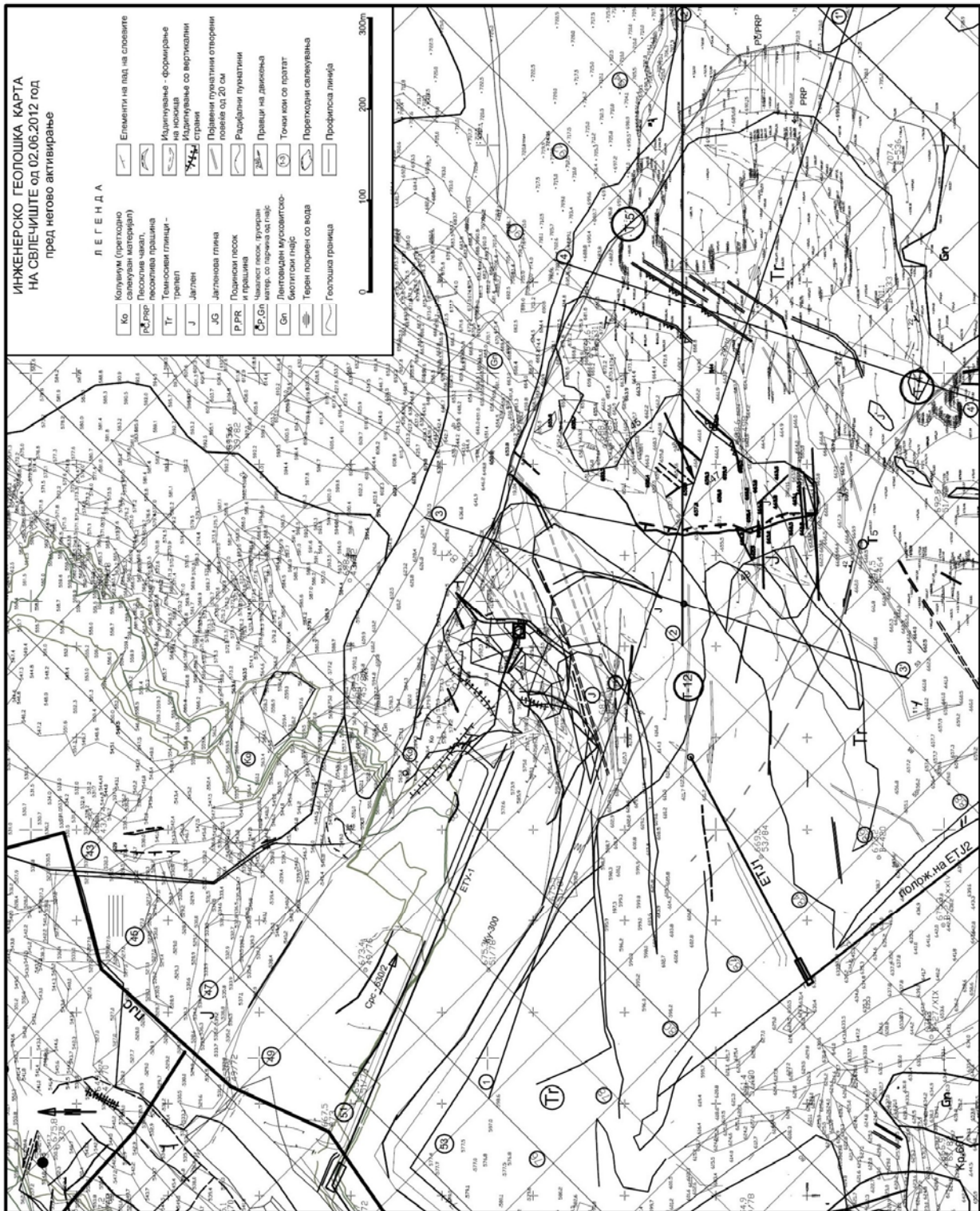
блокот во ниеден период не бил стабилен и секогаш се наоѓа во привидна рамнотежна состојба. Долгиот период на развој е карактеристика на формирање на свлечиште од големи размери, како по површина така и по количина.

Пукнатините кој се пратеа долг временски период во критичниот момент непосредно пред појавата на лом ја имаа следната состојба на теренот и тоа формирана челна пукнатина со должина од цца 250 m и благ агол на пад од  $10^{\circ}$  према северозапад 270/10 која ја ограничува ширината на свлечиштето, а формирани се и пукнатини на свлекување во боковите на свлечиштето.

Пукнатината во десниот бок на контакт со основна стена - гнајс се прати во должина од цца 750 m и завршува во колувијален материјал од претходно свлекуван блок.

Пукнатината во левиот бок од свлечиште по контакт со стената која потоа завлегува во темносивите глинци-трепел се прати во должина од цца 630 m. Гледано просторно овие пукнатини се паралелни една на друга и затоа телото има изометрична форма. Према северозапад се појавуваат пукнатини со прекини и очекувано е пукнатината во левиот бок да продолжи со нејзиниот развој према отворените етажи, но бидејќи делот од теренот не е откопан, отпорот е многу поголем во однос на притисокот на масите од југоисток така да пукнатината не продолжува.

Вака појавените манифестации на теренот ги даваат контурите на формирано свлечиште од поголеми размери (Слика 1.). Во овие граници во телото на свлечиштето појавени се многу пукнатини кои го поделуваат формираните блок во помали блокови со различни форми кои се придвижуваат со различен интензитет и правец, а регистрирани се и повеќе вертикални спуштања со денивелација од 0.5-2.0m. Исто така појавени се и издигнувања (секундарни ножици) внатре во блокот што се должи на различните правци на движење на одделни блокови поради различни падни агли.



Слика 1. Инженерско-геолошка карта на свлечиштето од 02.06.2012 год. - пред свлекување



Се истакнува и податокот дека на појавените пукнатини во боковите на свлечиштето на мерните точки констатирано е прогресивно зголемување на движењата така што пред да настане ломот достигнуваат брзини од 3,5 cm на час од кога е прекинато со мерење поради нивна достапност на теренот ( податок кој треба да послужи при појава на слични манифестации на слични терени). Глобален лом настанува на 02.06.2012 година кога се регистрирани видливи со око движења, навлекувања и набирања на масите. Отвореноста на пукнатините и придвижувањата на блоковите добиваат во интензитет, а интензивниот процес на движење трае до наредниот ден.

## ЕЛЕМЕНТИ И МОРФОЛОГИЈА НА СВЛЕЧИШТЕТО

Димензиите на свлечиштето се однесуваат на неговата должина која се поделува во два дела и тоа на маси во должина кои се зафатени во длабина и должина на свлекуван материјал без зафаќање во длабина. Вкупната должина изнесува 1347 m, а ширината е променлива и изнесува од 278 до 340 m.

Табела 1. Карактеристики на свлечиштето

Карактеристика на свлечиштето	Димензии
✓ Должина од чело на откинување до појава на ножица.....	752 m
✓ Должина од појава на ножица до напредување.....	595 m
✓ Вкупна должина.....	1347 m
✓ Должина горна ивица до долна ивица на чело на откинување.....	161 m
✓ Ширина на чело.....	252 m
✓ Ширина во средина на свлекуван блок..	385 m
✓ Ширина во пјавена ножица.....	287 m
✓ Ширина во ножица на свлечиште.....	340 m
✓ Длабина на свлечиштето од.....	0 – 25.0 m
✓ Површина од челна пукнатина до појава на ножица.....	256 311 m <sup>2</sup>
✓ Површина од појава на ножица до крајна должина.....	180 887 m <sup>2</sup>
✓ Вкупна површина.....	437 218 m <sup>2</sup> (256331x15)
✓ Волумен на свлечените маси.....	3 844 865 m <sup>3</sup>

Пресметаните количини се приближни и се однесуваат на јаглен и јаловина.

## Морфологија на свлечиштето

Според формата на телото, свлечиштето има јазичесто тело. Оваа форма е добиена како резултат на структурните карактеристики на теренот кој претставува синклинала со тонење на оската према северо запад под агол од 8<sup>0</sup>. Во телото на свлечиштето при првичното проспекциско картирање на теренски достапните делови се забележуваат карактеристични различни форми во вид на јазници, спуштени и издигнати блокови кои меѓусебно се судирале, кршеле, навлекувале или одделувале како последица на различните брзини на движење за на крај да се добие генерално јазичестата форма.

Поместувањето т.е движењето на блоковите главно имаат транслаторен карактер, а наместа се ротирани и навлекувани со различни брзини и правци со главна ориентација на движењата према северозапад.

Пред појава на свлечиштето генералниот агол на косината изнесува 10<sup>0</sup> профил 1-1, додека работните косини на откопните блокови од јаглен и трепел воглавно се со агол од 90<sup>0</sup>.

Челната косина од висински јагленов блок е потпрена со јаглен кој е од растеретувањето на повисоките нивелети. По свлекувањето теренот генерално добива блага косина од 4-6<sup>0</sup> мерено со компас, а за попрецизно одредување потребно е геодетско снимање на теренот.

## Механизам на лизгање

Пратејќи го развојот на свлечиштето од неговиот почеток, неговите карактеристики од неговата појава, развој, негово активирање и моменталната состојба констатирано е следното:

Во овај дел од теренот настанати се големи измени во структурата, физичките и механичките карактеристики на седиментите. Овие измени се условени од постепено и долготрајното достигнување и совладување на јакоста на смолкнување во поединечни зони од теренот под влијание на различни фактори.

Теренот зафатен со свлекување претставува синклинала со протегање на оската према северозапад и нејзино тонење од  $8^{\circ}$ - $11^{\circ}$  т.е. 290/8 и падови на крилата, североисточното 200/17 и југозападното 20/23. На североисточното крило на контактните делови со основна стена елементите на залегање на седиментите изнесуваат 246/18, 294/16, 254/26, 190/18, а на југозападното крило седиментите залегаат со агли од  $7$ - $28^{\circ}$ . Со откопување на седиментите во најниските делови на синклиналата доаѓа до нивно пресекување и пореметување на напонската состојба со што започнува појавата на пукнатини во површинските делови. Развојот на пукнатините формира блокови кои во одреден период се активираат. Активирањето е на ден 02.06.2012 година и тоа е постепено. Според морфологијата и структурните карактеристики на теренот, во длабина првите задвижувања се во деловите на крилата на синклиналата и тоа на деловите од североисточното крило со правци на движења од 212, 232, а на југозападното крило 310, 266. Овие движења на блоковите се гледаат на стриите на свлечната рамнина (Слика2.). Формираните блокови се со јазичеста форма и се пратат до пред дното на синклиналата каде се судруваат со спротивното движење од другото крило на синклиналата и задобиваат генерален правец на движење од  $290^{\circ}$ .

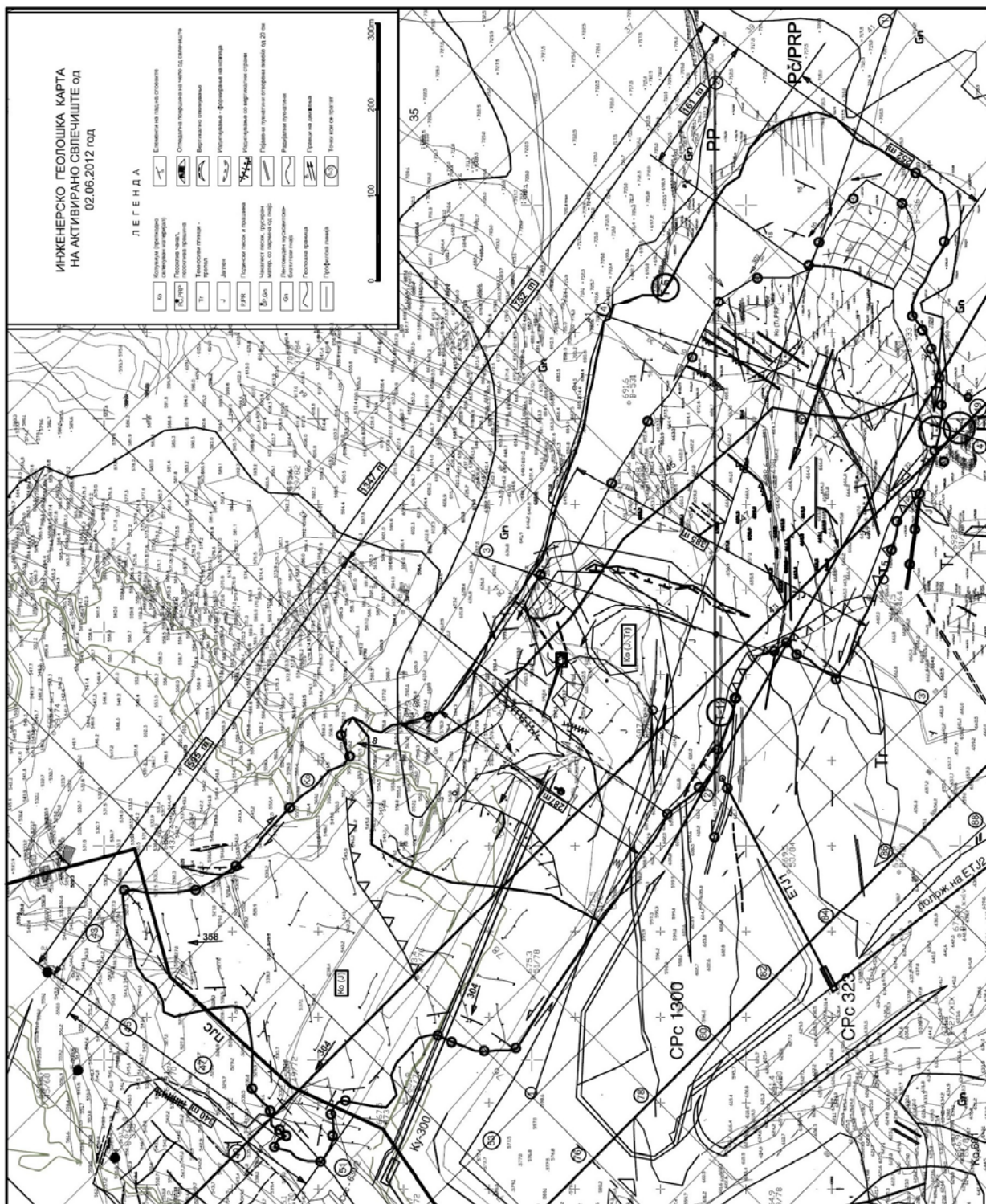


Слика 2. Правци на стриите

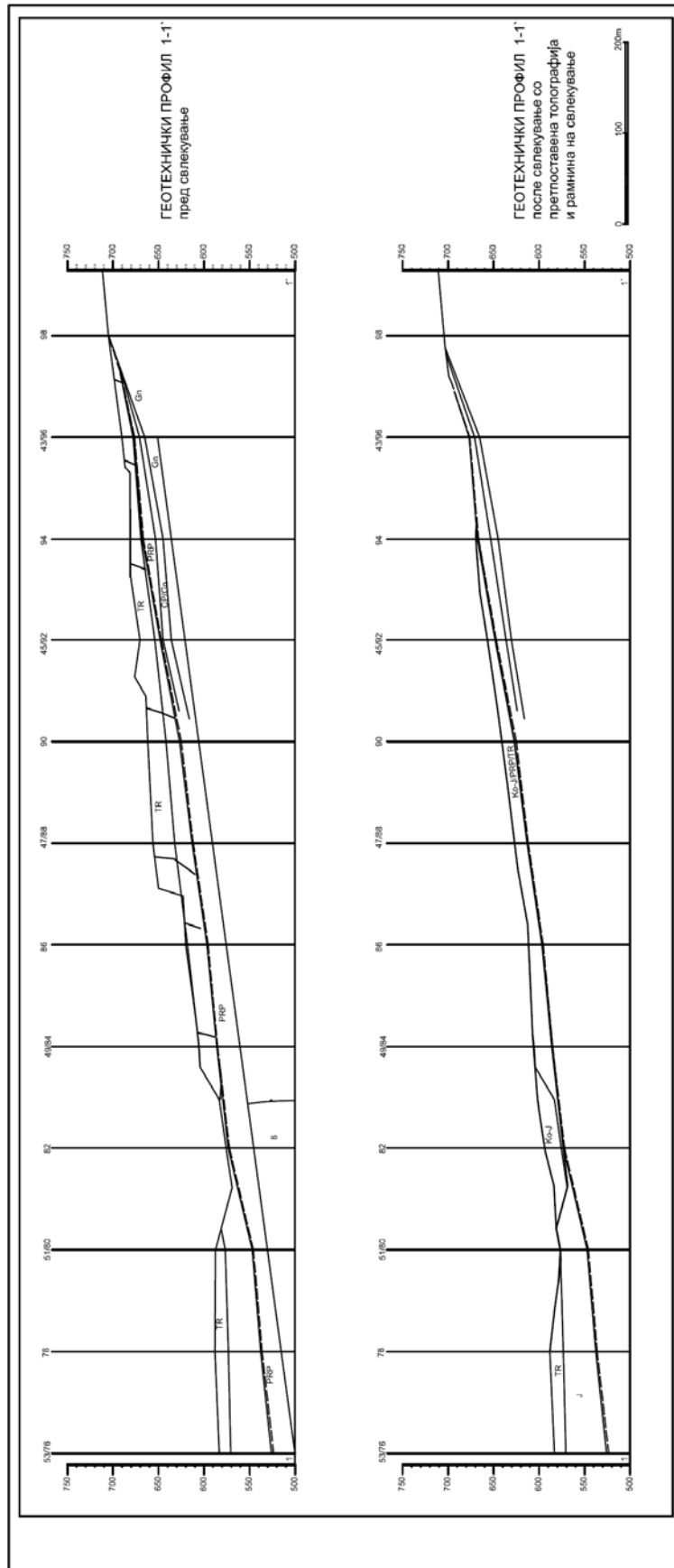


Слика 3. Генерален правец на движење во бокот

Движењето на материјалот од североисточното крило доведува до различни форми од типот на вдлабнување и издигнување на теренот, кој појави се изразени и на левиот бок (Слика 3.). Со зголемување на притисокот во дното на оската на синклиналата доаѓа до формирање на ножица во долните делови и течење на материјалот. Свлечиштето е ножично и зафатен е материјалот од профил 98 до профил 88 од каде од 88 до профил 72 е само навлекуван (споменатите профили се рударско технолошки профили кои се користат за редовно пратење на состојбата на копот). Според морфологијата левиот бок од свлечиштето не е целосно оформен и не ја има задобиено правилната форма, бидејќи притисокот на масите од челна пукнатина не е доволен за да го задвижи и материјалот кој не е пресечен со откопувањето. Затоа во деловите на лев бок има појави на секундарни издигнувања и пукнатини кои го задржуваат правецот на бокот. Во овие делови со текот на времето се очекуваат нови откинувања на одделни блокови. Генерално движењето на масите има приближно исти правец до профил 78 од каде благо заротирува према север –  $358^{\circ}$ . Заротирувањето е последица на отпорот на јагленовиот блок на профил 76 и слободниот простор према север. Ваквите движења условија формирање на ножица од сложен карактер со различна моќност од 0.5 m во сверниот дел профил 45/72 до 20.0 m на профил 76 каде и отпорот на неоткопаниот дел е најголем (Слика 4).



Слика 4. Инженерско-геолошка карта на свлечиштето од 02.06.2012 год. - по свлекувањето



Слика 5. Геотехнички профил 1-1', пред и после свлекување со претпоставена топографија и рамнина на свлекување

## КЛАСИФИКАЦИЈА НА СВЛЕЧИШТЕТО

- Според брзината на процесот дижењето на блоковите од 35 cm/min. до 1.0 m/min. се сврстува во групата на брзи свлечишта
- Според геолошката градба и врстата на стенската маса во делот на рамнината на свлекување, свлечиштето припаѓа во глинен и глиновити стенски маси
- Според зафатената маса се сврстува во примарни свлечишта
- Според начинот на зголемување на процесот свлечиштето е депласивно

## АНАЛИЗА И ПРИЧИНИ ЗА ПОЈАВНОТО СВЛЕКУВАЊЕ

Од анализираните податоци за прикажување на причините за појава и активирање на свлечиштето се издвојуваат две групи на фактори кои доведуваат до активирање на свлечишта. Во овај случај имаме заедничко дејствување на двете групи фактори кои довеле до активирање а тоа се:

- ✓ Фактори на природната средина
- ✓ Фактори на надворешни влијанија

Во фактори на природната средина ги наведуваме:

- Сложена хидрогеолошка состојба на теренот како целина и голема хетерогеност на литологијата, структурно-текстурните карактеристики и нивните односи

- Променлива форма на палеорелјефот во ободните делови, синклинална форма со тонење на оската према северозапад

## ЗАКЛУЧОК

Според наше мислење, реализирањето на проектираните решенија при ископи кои се поврзани со големо и континуирано производство, и кои се остваруваат при специфични геолошки услови, ваквите случаи се секогаш можни со одреден степен на веројатност. Ова треба да резултира кон посериозен пристап во сите фази почнувајќи од истражувањето,

## ЛИТЕРАТУРА

*Дополнителен рударски проект за снабдување на ТЕ Битола со јаглен за период од 2011-2016 година, Д.Г.П.У. "ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнл и др." Д.О.О. – Скопје, септември 2011, Скопје*

- По генезата е регресивно
- Според аголот на теренот е свлечиште со благи падини 8- 10°
- Според обликот на површината на лизгање и геолошката градба на теренот свлечиштето е инсеквентно
- Според длабината на рамнината на лизгање – длабоко свлечиште > 5.0m, а според површината е големо
- Според волуменот на зафатената маса многу големо > 1 000 000 m<sup>3</sup>

- Присуство на јагленова глина и темносива глина со ниски вредности на јакоските параметри

Од надворешните фактори како причини се издвојуваат:

- Технологијата на ископ – напредување на фронтот на откопувањето во однос на структурните карактеристики. Во конкретниот случај напредувањето е спротивно од правецот на тонење на оската на синклиналата.

- Односот на геометриските параметри на челата и платоата во однос на конкретните инженерско-геолошките хидрогеолошките состојби

- Интензивните врнежи

Појавата и активирањето на свлечиштето во својата сегашна форма е последица од заедничко дејство на сите фактори во текот на долг временски период.

проектирањето, а посебно соодветен пристап во фазата на изведба т.е експлоатацијата. Значајно е да се истакне дека покрај постојните геолошко-геотехнички услови во склоп на целата зона на ПК "Суводол" од страна на стручните служби е согледано дека е потребно континуирано доистражување во контактните делови со палеорелјефот.

*Петрески Љупчо, Мартиновиќ Анита-Извештај за свлечиште во Микро 7 од 02.06.2012, интерен извештај- ПЕ "Рудници", јуни 2012*

# МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ИЗРАБОТКА НА ДИГИТАЛНАТА ГЕОЛОШКА КАРТА НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА (РАЗМЕР 1:100000)

Благоја Маркоски<sup>1</sup>, Милорад Јовановски<sup>2</sup>, Свемир Горин<sup>3</sup>, Игор Пешевски<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>Природно татематички факултет, Институт за географија,  
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Гази баба бб, МК-1000 Скопје, Македонија;  
blagojam@iunona.pmf.ukim.edu.mk, svemir@iunona.pmf.ukim.edu.mk

<sup>2,4</sup>Градежен факултет-Скопје, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“,  
Партизански одреди 24, МК-1000, Скопје, Република Македонија,  
jovanovski@gf.ukim.edu.mk, pesevski@gf.ukim.edu.mk

## Апстракт

Геолошката карта на Република Македонија во размер 1:100000 е изработена на 23 картографски секции во периодот на седумдесеттите години на 20-от век. Изработена е од еминентни автори и отпечатена е во реномирани печатарски институции. Ефективната примена на компјутерските техники и технологии како во останатите домени на работа и во оваа сфера се појавија како поволна можност за побрзо, полесно и поефикасно организирано работење и искористување на истите. Поради тоа и поради потребите од ревизија на содржините и нови проектни задачи во Република Македонија се пристапи кон обработка (трансвер) на геолошката карта од аналогна во електронска векторска форма. Во трудот се наведени методолошките постапки и процедури за дигитална обработка на геолошката карта на Република Македонија во размер 1:100000. Согласно упатствата за изработка на геолошка карта е изработено упатство за дигитална векторска обработка на содржините на картата. Според него е оформена целата содржина на геолошка карта во електронска векторска форма, според сите картографски стандарди за картографирање на тематски карти. Картата е геопозиционирана во државен координатен систем, организирана во 525 леери (олеати). Утврдени се слабостите во изворните картографски материјали и предложени се препораки за поправки на истите.

**Клучни зборови:** геолошка карта, картографски стандарди, слабости на картографски материјали

## ВОВЕД

Основната геолошка карта на Република Македонија во размер 1: 100 000, изработена на 23 секции е основа која датира главно од периодот на седумдесеттите години на XX век. Изработена е од еминентни автори од Република Македонија, дизајнирана и печатена истотака во реномирани институции во тогашната Југословенска федерација. Овде пред се се мисли на Војно географскиот институт од Белград и Сојузниот завод за геолошки истражувања.

Основната геолошка карта е отпечатена и во таква аналогна форма се користи целиот период наназад од нејзиното појавување. Меѓутоа, навлегувањето и се почестата примена на компјутерските техники и технологии, како во останатите, така и во оваа сфера се појавува како поволна можност за побрзо, полесно и поефикасно организирано работење и искористување на

истите. Од друга страна релативно подолгиот период од изработката на Основната геолошка карта на Република Македонија се појави како крајно време за ревизија на содржините согласно новите теренски научни и практични сознанија.

Во контекст на наведеното, надлежните институции во Република Македонија пристапија кон постепено организирање во смисла на обработка на Основната геолошка карта од аналогна во електронска векторска форма.

Во продолжение се наведени процедурите за дигиталната обработка на картата, потоа се презентирани констатираните аномалии и соодветно на тоа се дадени насоки за отстранување и решавање на истите.

## **ПРОЦЕС НА ДИГИТАЛНА ОБРАБОТКА НА ОСНОВНАТА ГЕОЛОШКА КАРТА НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА, РАЗМЕР 1: 100 000**

Процесот на трансформација на содржината на Основната геолошка карта од аналогна во дигитална форма е реализиран низ поголем број техничко-технолошки операции кои денес се применуваат во современата компјутерска картографска обработка.

Во конкретниот случај главно се опфатени следните работни постапки и процедури:

- избор на картографски извори во аналогна форма
- воспоставување на електронски растерски форми на листовите на Основната геолошка карта на Република Македонија,
- вметнување на дигиталните електронски растерски форми во софтверскиот пакет AutoCAD Map како фундамент за формирање и дизајн на картографски цртежи (карта),
- ориентација и вразмерување на дигиталните електронски растерски картографски основи,
- геопозиционирање на дигиталната електронска растерска картографска основа,
- изработка на упатство за дигитална обработка,
- дигитална векторска картографска обработка,
- изработка на рамки на картите,
- формирање на географска основа,
- спојување на геолошката електронска векторска картографска форма со географската основа и рамките на картите,
- подредување на леери,
- печатење на пробни примероци.

### **Избор на картографски извори за изработка на дигитална електронска векторска форма на ОГК<sup>1</sup> на Република Македонија**

Картографските извори за изработка на дигитална векторска форма на геолошките содржини во основа ги опфаќаат 23-те секции на ОГК на Р. Македонија во размер 1:100000 и содржини од топографските карти во различни размери кои се искористени за формирање на финалните дигитални векторски форми.

### **Воспоставување на електронски растерски форми на ОГК на Република Македонија**

После изборот на картографските извори на Основната геолошка карта во аналогна форма со помош на скенер е извршена трансформација на аналогните картографски форми во електронски растерски картографски форми за сите 23 секции поединечно и се оформени фајлови со екстензија tiff главно именувани според името на дотичната секција. На тој начин е формирана база од електронски растерски слики за сите 23 секции на Основната геолошка карта во размер 1: 100 000.

### **Вметнување на дигиталните електронски растерски форми во софтверскиот пакет AutoCAD Map**

Софтверскиот пакет Auto CAD Map е избран како технологија која овозможува формирање и дизајн на било каков графички цртеж со големи можности за позиционирање, димензионирање, картографска креација, боење, шрафирање и ред работни постапки и процедури кои се својствени при обработката и дизајнот на било која карта, но и поради компатибилноста со други софтверски пакети.

Од наведените причини во овој пакет според процедурите најпрво се оформени фајлови и во нив се вметнати соодветните секции во електронска растерска форма. Така се создадени основи со екстензија tiff врз кои понатаму следи дигитална картографска обработка според процедурите утврдени во посебно упатство.

### **Ориентација на дигиталните картографски растерски форми во AutoCAD Map**

Непосредно по вметнувањето на растерските форми во AutoCAD Map следи ориентација на истите спрема правецот север. Тоа значи отстранувањето на аномалиите кои евентуално настанале при процесот на скенирање. Оваа операција и во оваа апликација е извршена за сите 23 секции поединечно.

---

<sup>1</sup> Основна геолошка карта

### **Вразмерување на дигиталните картографски форми во AutoCAD Map**

Аналогно со ориентацијата на растерските основи, во зависност од саканиот размер на картографскиот производ **во рамките на софтверскиот пакет AutoCAD Map се извршени операциите за вразмерување на сите 23 секции од ОГК поединечно во размерот 1: 100 000.** Оваа работна процедура е исто така важна со цел да се избегнат аномалиите при процесот на скенирање, но и поради дефинирање (како што е напоменато) на размерот на крајниот картографски производ. Оваа процедура определува и многу други аспекти од процесите на работа кои се тесно врзани со поимот размер.

### **Геопозиционирање на дигиталните картографски растерски форми во AutoCAD Map**

Геопозиционирањето е процедура која овозможува трансфер од произволен локален координатен систем во реален државен координатен систем (ДКС). Во случајот на конкретните работи, векторизацијата на ОГК 1:100 000 **геопозиционирањето е извршено согласно картографската проекција на ОГК, односно во Гаус-Кригеровата проекција.** При тоа содржините од произволниот локален координатен систем во AutoCAD Map се трансформирани во реалниот државен координатен систем базиран на правоаголната координатна мрежа на картографските основи во Гаус-Кригеровата проекција. Соодветно на неа е и поставеноста географската координатна мрежа.

Геопозиционирањето како операција е извршено поради практични причини, така што **на корисниците им е овозможено за било која точка на содржините на дигиталната карта да се отчитуваат реални правоаголни координати од ДКС на Република Македонија.**

Ваквата постапка посредно влијае на димензиите и димензионирањето на разни точкести, линиски и површински објекти на картата и врз база на тоа можност за нивно редизајнирање по облик, големина, ориентација, боја и сл.

### **Изработка на упатство за дигитална векторска обработка на Содржините на ОГК на Република Македонија**

Заради дефинирање на редоследот на работните постапки при процесот на дигиталната векторска обработка **наменски е изработено упатство** кое ги содржи операциите како што се:

- креирање знаци,
- избор на соодветни бои,
- креирање соодветни шрафури и
- непосредна дигитална обработка.

### ***Креирање знаци за ОГК на Република Македонија 1: 100 000***

Во врска со **креирањето знаци за ОГК на Република Македонија при воспоставувањето на дигиталната векторска форма на наведената карта главно како основа е искористено упатството за изработка на ОГК на Република Македонија.** Врз база на него за потребите на конкретната апликација е извршено цртање и дизајн според облик, боја и димензии на сите точкести и линиски знаци. Така припремени истите се формирани во вид на т.н. блокови и нанесувани на соодветната локација на дигиталната векторска карта, и тоа на секоја секција поединечно.

### ***Избор на бои за ОГК на Република Македонија 1: 100 000***

Геолошките содржини како едни од најкомплицираните тематски карти според огромната разновидност на содржините содржат бои според кои може да се раздвојуваат и идентификуваат литолошките единици во просторот односно картата. Големiot број литолошки единици (105 различни бои) неминовно бараше дефинирање, односно избор на бои. За таа цел **се идентификувани сите бои на 23-те секции од ОГК на Република Македонија 1:100 000 и е изработен посебен шифрарник како основа за формирање леери (олеати) за секоја боја на литолошките единици.** Проблемот беше релативно тежок бидејќи секциите од ОГК се работени од различни автори во подолг временски период и печатени истотака во различно време такашто нијансирањето и литолошките



ознаки не секогаш се софпаѓаат. Во контекст на разрешувањето на овој проблем новата дигитална векторска карта на сите секции ќе има идентична и јасно издвоена боја, но проблемот на континуитет на литолошките единици меѓу секциите останува отворен и истиот ќе се решава на експертско ниво.

### ***Креирање шрафури за ОГК на Република Македонија 1: 100 000***

Проблемот на дораздвојување и дообјаснување на литолошките единици на ОГК на Република Македонија 1:100 000 се врши со примена на шрафури во разни комбинации. **На сите 23 секции се идентификувани 179 шрафури, различни по дизајн и боја. Врз основа на извршената идентификација е изработен посебен шифрарник за шрафури, така што врз основа на него се формирани 179 леери за шрафури.**

Особено е изразен проблемот на техничко креирање на толку различни шрафури, дотолку повеќе што во самите софтверски пакети не се присутни толку и такви типови шрафури, така што **работниот тим изнајде технички можности (кои ќе бидат и богато искуство за другите институции и интересенти за слични работи) и успеа високо ефикасно да го надмине проблемот и ги лоцира шрафурите според местото каде ќе припаѓаат.** На картите се идентификувани т.н. шаблонски шрафури и шрафури кои се протегаат орографски. Кај вторите се применети класичните принципи на векторска обработка.

### ***Непосредна дигитална обработка на содржините на ОГК на Република Македонија 1: 100 000***

Во рамките на упатствата за дигитална векторска обработка на содржините како посебна, посложена и пообемна е непосредната дигитална обработка на содржините на ОГК на Република Македонија 1: 100 000. Во врска со тоа се опфатени неколку различни операции:

- дигитализација на границите на литолошките единици,
- дигитализација на линиските објекти,
- дигитализација, односно внесување знаци и натписи,
- боење на површините на литолошките единици,
- изработка на легенди на картографските секции.

### ***Дигитализација на границите на литолошките единици***

Согласно вразмерувањето на картографските секции на ОГК на Република Македонија 1:100 000 најпрво е утврден степенот на зголемување на картографските растерски основи (6 пати зум) и во продолжение **унифицирано е вршена целокупната векторизација на сите 23 секции.** Ова е со цел да се задоволи саканата точност, изедначеност и прецизност на објектите на сите карти.

**Врз основа на така утврдените принципи е пристапено и извршено дигитализирањето т.е. векторизацијата на сите литолошки граници на сите 23 секции.** Притоа се формирани поединечни леери за секоја различна литолошка граница, каде се води сметка за бојата, обликот и димензиите на граничните линии.

### ***Дигитализација на линиски објекти***

По сличен принцип е извршена и дигитализацијата, т.е. векторизацијата на останатите линиски објекти од типот на раседи така што за нив се формирани посебни леери со дефинирани типови на линии според облик, боја, димензии и сл.

### ***Внесување знаци и натписи***

Наменски дизајнираните знаци, ознаки и натписи кои се однесуваат на разни содржини од картираната тематика се внесуваат на нивните соодветни локации, така што се врши целосно пополнување и дообјаснување на геолошките содржини на секоја секција посебно.

### ***Боење на површините на литолошките единици***

Врз основа на претходно спроведената дигитална векторизација на литолошките граници и утврдените бои во посебни леери **е извршено боење на секоја литолошка единица со зададената боја во конкретен леер.** Оваа операција е релативно поедноставна, но во услови на несоодветна хардверска опрема е мошне спора и одзема релативно подолго време за нејзино извршување. Боењето во литолошките единици е извршено до рамката на картата така што при евентуално спојување со соседните листови нема можност за појавување на азори.

### *Шрафирање на површините на литолошките единици*

Слично на постапката на боене е и работната процедура за шрафирање на литолошките единици. Меѓутоа, заради големиот број различни шрафури, потребата од нивно дизајнирање, меморискиот простор кој го зафаќаат и сл., проблемот на нанесување на шрафурите е еден од најтешките. Сепак е **изнајден соодветен метод според кого наменски се дизајнирани бројни шаблонизирани шрафури и во вид на блокови се нанесени врз површините на литолошките единици.** Дел од шрафурите ги пратат орографските карактеристики на земјиштето или одредени гравитациски тенденции на појавите се внесени низ методот на класична векторизација и дизајн.

### *Изработка на легенда на ортографските секции на ОГК на Република Македонија 1: 100 000*

Целокупната содржина идентификувана на сите 23 секции од ОГК на Република Македонија 1: 100 000 согласно упатствата за нејзина изработка логично не се поистоветуваат со одделните содржини на секциите. Токму затоа, како неминовна постапка следи формирањето на легендата на тематските содржини на секоја секција посебно. Така се евидентирани сите точкести, линиски и површински односи, бои, шрафури, исписи и сл. и како такви се поставени и дизајнирани покрај секоја секција.

Со оглед дека се работи за електронска дигитална компјутерска технологија во случајов предност е тоа што (за разлика од аналогни карти) овде сите знаци, исписи, шрафури и особено бои се изедначени и унифицирани кај сите секции.

### **Изработка на рамки на картографски секции на ОГК на РМ 1: 100 000**

Рамките на секциите на ОГК на РМ 1: 100 000 се идентичен приказ со оригиналот соодветни на Гаус-Кригеровата проекција во кои се изработени картите.

На нив се **презентирани сите потребни математички, географски и дополнителни елементи со соодветни односи својствени за ваков вид на научни тематски карти** како што се секциите на ОГК на Р.Македонија.

### **Формирање географска основа за ОГК на РМ 1: 100 000**

Суштинската картографска потреба кај тематските карти да содржат и општо географска основа е почитувана и во случајот на формирање на содржините кај ОГК на РМ 1: 100 000.

Во функција на третираната тематика **општо географската основа се состои од редуциран хипсометриски приказ на релјефот, застапеност на помаркантни висински точки, хидрографска мрежа, геометриски односи на локацијата на населени места и приказ на географски имиња и натписи.** Наведените содржини се во посебен дизајн кој овозможува нивно подискретно прикажување во корист на нагласената тематска содржина.

### **Спојување на геолошката електронска картографска форма со географска основа и рамката на картите**

Процедурите на формирање на комплетните содржини на картите при класичната обработка е нешто поинаку организирана. За картографските секции на ОГК одвоено се дизајнирани тематските содржини, географска основа и рамките на картите. Со оглед на можностите во применетиот софтверски пакет во оваа фаза е **извршено спојување на трите независни, одделни целини во една единствена со комплетирање на сите поединечни леери својствени за секоја одделна секција на ОГК на РМ 1: 100 000.**

### **Подредување на леери**

Обемноста на содржините кај геолошките карти од една и потребата за полесна манипулација со содржините од страна на корисниците од друга страна беа главни одредници **при процесот на дигиталната обработка на картите да се формираат околу 520 различни леери.** Вака големиот број на леери претпоставува неминовна потреба од нивно групирање и **соодветно подредување во смисла на принципот под-над.** Со тоа се овозможува реален и логичен соодветно видлив приказ на содржините на геолошките карти. Наведената операција е неминовна и во смисла на дизајнот на картата при дефинитивната верзија за печатење.

## Печатење пробни примероци

Широкиот дијапазон на применети бои, знаци, шрафури, исписи и сл., нивното логично подредување и естетски изглед претставуваат проверка на изработените содржини низ конкретно испечатени пробни примероци.

Ваквата постапка е спроведена кај одреден број секции кои се печатени на инцет печатачи. Во контекст на добиените резултати работниот тим е задоволен од резултатот на презентирање на применетите бои, димензии и облици на знаците.

## КОНСТАТАЦИИ И ЗАБЕЛЕШКИ КОН СОДРЖИНИТЕ НА ОГК НА РМ 1: 100 000

Низ процесот на работа односно дигиталната векторизација на обемните геолошки содржини се констатирани одредени аномалии кај содржините. Тие во основа се состојат во неизедначеноста на боите, шрафурите и одредени знаци и ознаки кај литолошките единици. Причината за тоа е различниот период на изработка на картите, субјективниот фактор на картографските цртачи, различно време на печатење и сл. Во контекст на ова, бидејќи картите се работени по секции и од различни автори **особено изразен е проблемот на спојот на литолошките единици помеѓу секциите.** Овој проблем предизвикува нејаснотии и двоумење кај корисниците од една страна а кај картографите при процесот на цртање, каде се нарушува принципот на картографскиот континуитет.

Ваквите **аномалии** навидум се релативно мали но се **мошне сериозни во контекстот на картата како целина и како специфично научно дело.**

**Препорака на работниот тим е надлежниот орган односно Министерството за економија на Република Македонија во соработка со стручните институции од сферата на геологијата и картографијата да формира посебен експертски тим кој ќе расправа за проблемот и ќе предложи конкретни решенија.** За таа цел е потребно да се изработи посебен проект преку кого ќе се дефинираат изнајдените решенија.

## ЗАКЛУЧОК

Врз основа на целокупната содржина (проверена низ практични искуства) се констатирани следните методолошки постапки и процедури за дигитална обработка на картографската документација воопшто но и посебно во сверата на непосредната изработка на ОГК на Република Македонија 1:100000.

Непосредните постапки претпоставуваат:

- избор на картографски извори во аналогна форма;
- воспоставување на електронски растерски форми на листовите на Основната геолошка карта на Република Македонија;
- вметнување на дигиталните електронски растерски форми во софтверскиот пакет AutoCAD Map како фундамент за формирање и дизајн на картографски цртежи (карта);
- ориентација на дигиталните електронски растерски картографски основи;
- вразмерување на дигиталните електронски растерски картографски основи;
- геопозиционирање на дигиталната електронска растерска картографска основа;
- изработка на упатство за дигитална обработка (со низа посебни подпроцедури);
  - креирање знаци,
  - избор на соодветни бои,
  - креирање соодветни шрафури и
  - непосредна дигитална обработка (која опфаќа)
    - дигитализација на границите на литолошките единици,
    - дигитализација на линиските објекти (раседи),
    - дигитализација, односно внесување знаци и натписи,
    - боене на површините на литолошките единици,
    - изработка на легенди на картографските секции.

- дигитална векторска картографска обработка;
- изработка на рамки на картите;
- формирање на географска основа;
- спојување на геолошката електронска векторска картографска форма со географската основа и рамките на картите;
- подредување на леери;
- печатење на пробни примероци.

Низ вака спроведената обработка на содржините на ОГК на Република Македонија во размер 1:100000 е оформена целосна електронска векторска форма на наведената карта (23 секции)

### ЛИТЕРАТУРА

- Brukner M., Oluic M., Tomanic S. (1992) *GIZIS geografski i zemljisni informaciski sustav Republike Hrvatske* (методолошка студија), Zagreb.
- Гапковски Н., Јовановски М. (2007) Општа Геологија, ГЕОМАП, Скопје.
- Думурџанов Н., Петров Г. (2005) Геолошко картирање, Скопје.
- Jones C. (1997) *Geographical Information Systems and Computer Cartography*, Singapore.
- Keates J. (1976) *Cartographic design and production*, Norfolk

Kraak .M.J and Ormeling F.J. (1997) *Cartography visualization of spatial data*, Singapore.

Ljesevic M.A. & Zivkovic D.M. (2001) *Kartografija*, Beograd.

Маркоски Б. (1999) Географијата и технологиите на Географските Информациски системи, Географски разгледи **34**, Скопје.

Маркоски Б. (2001) Дигитална картографска техника-картографирање и картометрирање, Зборник на трудови од научен собир „Дигитална картографија, состојби, перспективи и можности за примена во Република Македонија“ Скопје.

Маркоски Б. и др., (2001) Истражувачки пилот проект за изработка на дигитална топографска карта-секција Охрид 4 во размер 1:50000, Зборник на трудови од научен собир „Дигитална картографија, состојби, перспективи и можности за примена во Република Македонија“ Скопје.

Маркоски Б. (2003) *Картографија*, ГЕОМАП, Скопје.

Robinson A., Sale R., Morrison J., Muehrcke P. (1985) *Elements of Cartography*, New York \* Chichester \* Brisbane \* Toronto \* Singapore.

Чолеев. И. (1999) Практическа картографија, Софија.

## METHODOLOGY FOR CREATING OF DIGITAL GEOLOGICAL MAP OF REPUBLIC OF MACEDONIA (SCALE 1:100.000)

Blagoja Markoski<sup>1</sup> Milorad Jovanovski<sup>2</sup> Svemir Gorin<sup>3</sup> Igor Peshevski<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>*Faculty of science, Institute of geography, "Ss. Cyril and Methodius" University,  
Gazi Baba bb, MK-1000 Skopje, Republic of Macedonia,  
blagojam@iunona.pmf.ukim.edu.mk, svemir@iunona.pmf.ukim.edu.mk*

<sup>2,4</sup>*Faculty of Civil Engineering "Ss. Cyril and Methodius" University,  
Partizanski Odredi 24, MK-1000, Skopje, Republic of Macedonia,  
jovanovski@gf.ukim.edu.mk, pesevski@gf.ukim.edu.mk*

### Abstract

Geological map of Republic of Macedonia in scale 1:100.000 is created on 23 cartographic sections in the period of 70<sup>th</sup> years of 20<sup>th</sup> century. It was created and published by eminent authors in high rated publishing institutions. The effective application of computer techniques and technologies also as in other fields of work, in this sphere was founded as suitable possibility for easily and efficiency organizing and working. Therefore and because needs for contents revision it was started project for creating of Digital geological vector map of Republic of Macedonia. In this article methodological steps for digital production of geological map of Republic of Macedonia in scale 1:100.000 are presented. Because of organizing needs, guide for digital mapping was prepared. All map contents were created in electronical vector form, according to all cartographical standards for thematic mapping. The map was geo-referenced in State coordinate system, organized in 525 leers. In the creation process the weaknesses in former cartographical sources were detected, and suggestions and recommendations for their corrections were given.

**Key words:** geologic map, cartographic standards, weaknesses of cartographic material

# **ПЕТРОЛОГИЈА И МИНЕРАЛОГИЈА**



# ГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕПИДОТ – (Pb), ПИЕМОНТИТ – (Pb) ОД „МЕШАНАТА СЕРИЈА“ БЛИЗУ с. НЕЖИЛОВО, МАКЕДОНИЈА

Никита Чуканов<sup>1</sup>, Симеон Јанчев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Problems of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Chernogolovka, Moscow Region, 142432, Russia (e-mail: chukanov@icp.ac.ru)*

<sup>2</sup>*Технолошко-Металуришки факултет, Скопје (e-mail: sijan42@hotmail.com)*

## Апстракт

Во трудот се прикажани општите геохемиски карактеристики (хемиските состави) на извесни минерали од епидотската група (од горенаведениот микролокалитет) во рамките на една континуирана изоморфна серија: епидот – (Pb) – пиемонтиит – (Pb). Прикажаните резултати се темелат на испитувањата со СЕМ – методата. Во трудот посебно се истакнува дека минералот – пиемонтиит – (Pb) de facto представува **нов минерал** од Македонија, **регистриран од IMA под број– No. 2011-087**.

**Клучни зборови:** епидот, епидот – (Pb), пиемонтиит, **пиемонтиит – (Pb) – нов минерал**, Македонија.

## ВОВЕД

Почнувајќи од 1958/59 година, минералите од епидотската група представуваат посебен интерес за испитување од разни автори:

- Љ. Барик (1960) го објавил пиемонтиитот.
- С. Јанчев (1990) укажува дека пиемонтиитот од истражуваниот регион de facto е Pb – пиемонтиит, при што Pb представува микроелемент редовно присутен во истиот минерал.
- V. Bermanec, Th. Armbruster и други автори (1994, 1997) испитале дека освен Pb во третираните пиемонтиити има и зголемени содржини на елементи од ретките земји.
- С. Јанчев (1997) објавил податок за присуство на епидот – (Pb) или hancoskite во испитуваниот регион.
- С. Јанчев (1998) го испитувал епидотот – (Pb) и појавата на еден необичен минерал – пиемонтиит обогатен со високи содржини на Pb (кој de facto представува пиемонтиит – (Pb)), со изјаснување дека постојат простори за докажување на нов минерал.
- С. Јанчев (1999) ги опишал појавите со епидот – (Pb).
- С. Јанчев, Н. Чуканов (2008) поред останатото го имаат третирано епидотот – (Pb) и пиемонтиитот – (Pb).
- Н. Чуканов, Д. Варламов, F. Nestola, D. Belakovskiy, J. Goettlicher, S. Britvim, A. Lanza, С. Јанчев (2012) го опишале пиемонтиитот – (Pb) како нов минерал.

## РЕЗУЛТАТИ

Во овој труд се прикажани резултатите од СЕМ – испитувањата на хемиските состави на минералите од изоморфната серија: епидот – (Pb) - пиемонтиит – (Pb) согласно следното:

**Табела 1. Типични резултати од хемиските испитувања на епидот – (Pb), пиемонтиит – (Pb) – (масени %).**

	1	2	3	4	5	6	7*
SiO <sub>2</sub>	37,01	32,22	28,58	28,34	31,33	30,65	28,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,28	15,73	17,77	15,30	10,73	10,73	14,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,96	11,74	13,77	12,88	10,53	6,98	8,75
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,54	-	0,88	0,22	9,26	11,68	8,61
PbO	3,91	27,48	25,99	31,54	23,48	26,29	26,34
ZnO	1,30	-	-	-	-	-	-
CaO	20,90	10,24	12,34	10,50	14,80	10,21	11,86
K <sub>2</sub> O	-	0,15	-	-	-	-	-
H <sub>2</sub> O	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,47
Вкупно	98,58	99,24	101,01	100,46	101,81	98,22	99,97

\*Стандарден пиемонтиит – (Pb) – холотип примерок

Цитирани податоци:

1. Јанчев С., ЈАМ (1999), Белград
2. Јанчев С., Proceeding (1997), Штип-Дојран
3. Јанчев С., V.Bermanec (1998) *Geologica Croatica*
4. Јанчев С., ЈАМ (1999)
5. Јанчев С., Н. Чуканов (2008) – Охрид I Македонски геолошки конгрес.
6. Чуканов Н. и коавтори (2012) – *Jahrbuch für Mineralogie*.

На основа на класична геохемиска постапка на база на 13 (O, OH) – јони беа пресметани следните кристалохемиски формули:



## I епидот – (Pb)

1.  $(Ca_{1,88}Pb_{0,12})_{2,0}(Fe_{1,01}Mn_{0,19})_{1,20}Al_{1,98}(Si_{2,88}Al_{0,08})_{2,96}O_{12}(OH)$
2.  $(Ca_{1,1}Pb_{0,74})_{1,84}Fe_{0,89}(Al_{1,87}Si_{0,13})_{2,0}Si_{3,04}O_{12}(OH)$
3.  $(Ca_{1,31}Pb_{0,69})_{2,0}Fe_{1,02}Al_{2,0}(Si_{2,83}Al_{0,07})_{2,90}O_{12}(OH)$
4.  $(Ca_{1,17}Pb_{0,69})_{2,06}Fe_{1,01}(Al_{1,88}Mn_{0,02})_{1,90}Si_{2,96}O_{12}(OH)$

## II пиомонит – (Pb)

5.  $Ca_{1,12}(Pb_{0,60}Ca_{0,40})_{1,0}(Mn_{0,67}Fe_{0,23})_{0,90}(Al_{1,21}Fe_{0,53})_{1,74}Si_3O_{12}(OH)$
6.  $Ca(Pb_{0,72}Ca_{0,1})_{0,82}(Mn_{0,9}Fe_{0,1})_{1,0}(Al_{1,51}Fe_{0,43})_{1,94}Si_{3,07}O_{12}(OH)$
7.  $Ca(Pb_{0,73}Ca_{0,30})_{1,03}(Al_{0,65}Fe_{0,34}^{3+})_{1,99}Al(Mn_{0,67}^{3+}Fe_{0,33}^{3+})_{1,0}(Si_{2,96}Al_{0,04})_{3,0}O_{12}(OH)$

## ДИСКУСИЈА

Од прикажаните резултати од Табела 1 и пресметаните кристалохемиски формули се заклучува следното:

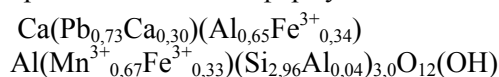
1. Постепен пораст на содржината на Pb од епидотот кон Pb – епидотот (формула 1) до епидотот – (Pb) – (формули 2, 3, 4).
2. Значајно зголемени содржини на Pb (формули 5, 6, 7) во пиомонитот – (Pb) кој представува нов минерал од Македонија во однос на теоретскиот пиомонит кој не содржи Pb.

Новиот минерал – **пиомонит – (Pb)** беше многу подетално (и покомплексно испитан, лит. 2012) па во однос на неговиот хемизам се добиени следните резултати:

**Табела 2.** Хемиски состав на **пиомонит – (Pb)**; (%)

Компоненти	Теж. %	Распон на содржини
CaO	11,86	9,07 – 14,81
PbO	26,34	20,32 – 32,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,04	12,14 – 16,13
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,61	7,17 – 9,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,75	7,53 – 11,21
SiO <sub>2</sub>	28,90	27,27 – 28,90
H <sub>2</sub> O	1,47	
Вкупно	99,97	

Наведените податоци од Табела 2 се средина од 32 анализи и за истите следи кристалохемиската формула:



## ЗАКЛУЧОК

Покрај специјалниот хемиски состав, новиот минерал – **пиомонит – (Pb)** се одликува и со особено карактеристични – сопствени физички (нпр. поголема густина), оптички параметри (нпр. поголеми индекси на прекршување) и рентгенски податоци со кои сосема еднозначно се разликува од нпр. пиомонит, епидот – (Pb), пиомонит – (Sr), епидот – (Sr).

Епидот – (Pb) и пиомонит – (Pb) претставуваат крајни членови на една континуирана изоморфна серија со интермедијарни членови помеѓу прво споменатите.

## ЛИТЕРАТУРА

- Baric, Lj. (1960): Piemontit, Gahnit und Rutil aus dem Fundart der Blei und Zinkerze bei dem Dorfe Nezilovo in Mazedonien. Glasnik Prirod. muzeja u Beogradu ser. A, Geol. Nauke. 13: 200-204.
- Jančev, S. (1990): Pb – пиомонит од рудните појави во мешаната серија на изворишниот дел од р. Бабуна, Македонија, октомври, 1990. II, Минерологија и Петрологија, 62-66.
- Bermanec, V., Armbruster, Th., Oberhänsli, R., Zebec, V. (1994): Crystal chemistry of Pb – and REE – rich piemontite from Nezilovo, Macedonia. Schweiz.Min.Pet.Mitt.74: 321-328.
- Jancev, S. (1997): Pb – epidote – hancockite and Zn – rich pyroxenes from the ore occurrences in the mixed series in the upper part of the Babuna river, Macedonia. Proceedings of the Symp. of plate tectonic aspects of Alpine metallogeny in the Carpatho – Balkan region, Stip – Dojran, 1997. pp. 143-145.
- Jancev, S., Bermanec, V. (1998): Solid solution between epidote and hancockite from Nezilovo, Macedonia. Geol. Croatica 51 (1): 23-26.
- Jancev, S. (1999): Pojave Pb – epidota i henkokita iz mesane serije blizu s.Nezilovo, Makedonija. JAM, Beograd (1999), II, br. 2, 64-71.
- Jancev, S., Chukanov, N.V. (2008): Short review of some rare minerals from „mixed series“ in the pre-cambrian complex near Nezilovo village, Macedonia. Proceedings of the First Congress of Geologists of R.Macedonia, Ohrid, October 10-12: 291-299.
- Cukanov, N., Varlamov, D., Nestola, F., Belakovskiy, D., Goettlicher, J., Britvin, S., Lanza, A., Jancev, S. (2012): Piemontite – (Pb), CaPbAl<sub>2</sub>Mn(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)(SiO<sub>4</sub>)O(OH), a new mineral species of the epidote supergroup, (во штампа).

# GEOLOGY AND MINERALOGY OF ALLCHAR Sb-As-Tl-Au DEPOSIT

Blazo Boev<sup>1</sup>, Gligor Jovanovski<sup>2</sup>, Petre Makreski<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Natural and Technical Sciences, Institute of Geology, "Goce Delcev" University, Goce Delcev 89, P.O.Box 201, MK-2000 Stip, Republic of Macedonia, blazo.boev@ugd.edu.mk

<sup>2&3</sup> Faculty of science, Institute of Chemistry, "Ss. Cyril and Methodius" University, Arhimedova 5, MK-1000 Skopje, Republic of Macedonia, gligor@pmf.ukim.edu.mk, petremak@pmf.ukim.edu.mk

## Abstract

Allchar (Alšar) locality belongs to the group of complex, polychrono-polygenetic volcano-hydrothermal Sb-As-Tl-Au deposits. It is formed in the heterogeneous geological environment and in the complex physico-chemical processes of extraction of ore constituents from the primary sources in the form of hydrothermal solutions and their later deposition. Mobilization, transport and deposition of the ore mineralization as well as the supergeneous transformations of the primary minerals have been influenced and partly accompanied by intense pre- and post-ore structural-tectonic terrain transformations. As a consequence of the mentioned complex processes of formation at Allchar deposit, a large number of morphostructural types of ore bodies as well as different texture-structural ore varieties and complex mineral and element associations are created (produced). The mentioned complexity and diversity of mineral associations, especially the Tl-mineral association, makes Allchar the world-wide unique mineral deposit.

**Key words:** Allchar, polychrono-polygenetic volcano-hydrothermal Sb-As-Tl-Au deposits, diversity of mineral associations

## GEOGRAPHICAL POSITION AND HISTORY OF THE LOCALITY

Allchar deposit is settled on the very South part of the Republic of Macedonia (about 40 km far from Kavadarci) being located on the east part of Mtn. Kozjak (Mariovo region). To the east the area spreads to the very west branches of Mtn. Kožuf (Zelen Breg, 2165 m). The central part of the area spreads between the rivers Majdanska Reka and Bistrica, the tributaries of rivers Bistrica and Crna Reka, respectively.

**Allchar** (derived from the names **Allatini** - banker, owner of the concession and **Charteau** - mining engineer who worked in the mine) or, as it is well known among the people, Majdan (Turkish word for the mine) has a long history which originates from the ancient Macedonia period, and through the Roman and the Ottoman Empire period pass away to nowadays. The Allchar (Majdan) mine history is rather interesting but at the same time very scarcely documented. Here some historical facts which confirm the long tradition of this mine will be quoted. The most curious one among them is that minerals from the Allchar locality are found at the most famous archeological site in the

Republic of Macedonia – the ancient city of Stobi, first mentioned in documents from the 2<sup>nd</sup> century B. C.

In the written documents, the Allchar (Majdan) mine is for the first time mentioned in the Turkish notebooks (originally known as Turkish defters) from 1481 (MILETIC et al., 1927). In this document concerning to the Rožden district (Rožden village is in the close vicinity of Allchar mine), the annual income of the Turkish sultan related to Allchar mine activity is mentioned (SURIN, 1927). Similar data are also given after the population listing in 1519 where the annual production of the Allchar mine is mentioned (KAMCEVSKI, 2001). After population listing in 1528/1529 it is registered that the annual production of Majdan is: 30 kantars (kantar is an old Turkish unit amounting 56,452 kg) pure arsenic; 60 kantars non-pure arsenic. Similar quantities are mentioned for the years 1554/1545 and 1568/1569: 28 kantars pure arsenic; 70 kantars non-pure arsenic. It is evidently that Sultan has registered significant tax income from the production of the arsenic from Allchar mine

reaching about 35 % of the total taxes from the Mariovo district. Next data related to the Allchar mine production come from the documents from 1877 when the mining village Majdan has been established. At that period Allchar mine has been given under concession of the English-French company established in Thessaloniki, the production being controlled by mine engineer Charteau. The number of employed miners coming from the surrounding villages of Mariovo district has reached about 500, most of them being from the Rožden village. In the meantime (1980-1912) the small center for mine grinding and separation of useful minerals has been established at Allchar mine. Using the horses and mules the grinded and separated ore has been transported to village S'botsko and Thessaloniki and later by train to the smeltery in Freiburg, Germany. The ore transported by the mentioned train has been used for the separation and discovering of the first samples of Tl containing minerals from Allchar mine by the end of XIX and beginning of the XX century (VRBA, 1894; KRENNER, 1895; GOLDSCHMIDT, 1899; JANNACH, 1904; LOCZKA, 1904; JEZEK, 1912 & 1913). The exploitation of the Allchar mine during the Balkan Wars (1912-1913) and the First World War (1914-1918) has been stopped, the geological activities being renewed after the Second World War (1939-1945) but not the exploitation. During the geological investigations in 1953-1957 and 1962-1965 periods around 300.000 tons of antimony, arsenic and thallium ores have been discovered (containing 1.5, 2.2 and 0.11-0.22% of Sb, As and Tl, respectively) (IVANOV, 1963). In the early 80-thies of the XX century minerals from Allchar locality, especially lorandite, become rather attractive regarding the idea to use them as neutrino detectors coming from the sun (PAVICEVIC, 1988).

#### **GEOLOGICAL CONSTITUTION OF THE WIDER REGION OF ALLCHAR DEPOSIT**

Allchar locality is in fact settled in the volcanic complex of Mtn. Kožuf having a common frontier with Mtn, Kozjak. This volcanic complex is east-west oriented being about 30 km long. On the east the complex spreads to the Demir Kapija-Gevgelija ophiolitic complex, whereas to the west it reaches the overthrust structure which separates the

Pelagonian metamorphic complex and Vardar zone (BOEV, 1988). The development and evolution of this volcanism is closely related to the development and evolution of the Vardar zone. Thereby the labile geotectonic unit is formed in the period from the Mio-Pliocene to the Quarter (ARSOVSKI, 1962). In the Neotectonic period (from the end of Oligocene to the Pliocene) the territory of the Republic of Macedonia is characterized by the processes of radial tectonics and formations of longitudinal and transferzal grabens structures (KOCHNEVA et al., 2006; VOLKOV et al., 2006). Formation of some of these grabens related to the activation of the neogen magmatism in the territory of the Republic of Macedonia (BOEV, 1988) as well as with the neogen volcanism in the Mtn. Kožuf region. This volcanism is of central type and is localized on the cross section between the transfersal structure Kožuf-Kilikis (E-W) and the structures of Vardar zone (NW-SE to N-S) (IVANOV, 1963). This central type of volcanism is pointed out by the numerous ring structures characteristic for the Mtn. Kozuf region (BOEV, 1988; KOCHNEVA et al., 2006). From the geological point of view, the surroundings of the Allchar locality consists of several geological formations arranged in five stratigraphic complexes (Fig. 1):

- complex of Precambrian metamorphic rocks,
- complex of Mesozoic (Triassic-Jurassic) rocks,
- complex of upper Kreda sediment rocks,
- complex of Pliocene sediments, pyroclastites and volcanic rocks,
- complex of quaternary sediments.

**Complex of Precambrian metamorphic rocks** is presented by albite gneisses and marbles in the metamorphic block of Mala Rupa region (in the Eastern part of Mtn. Kožuf), and by gneisses and mica schists in the tectonic block Elen Šupe (in the Western part of Mtn. Kožuf) (ARSOVSKI, 1962).

**Complex of Mesozoic (Triassic-Jurassic) rocks** consists of rocks with sediment and metamorphic genesis as well as rocks of magmatic genesis. The complex of rocks with sediment and metamorphic genesis is presented by facies of colourful clay schists with intercalations of limestones, and with the facija of limestones and dolomite limestones of Triassic-Jurassic age. The rock series of Jurassic age is presented by facies of plate and

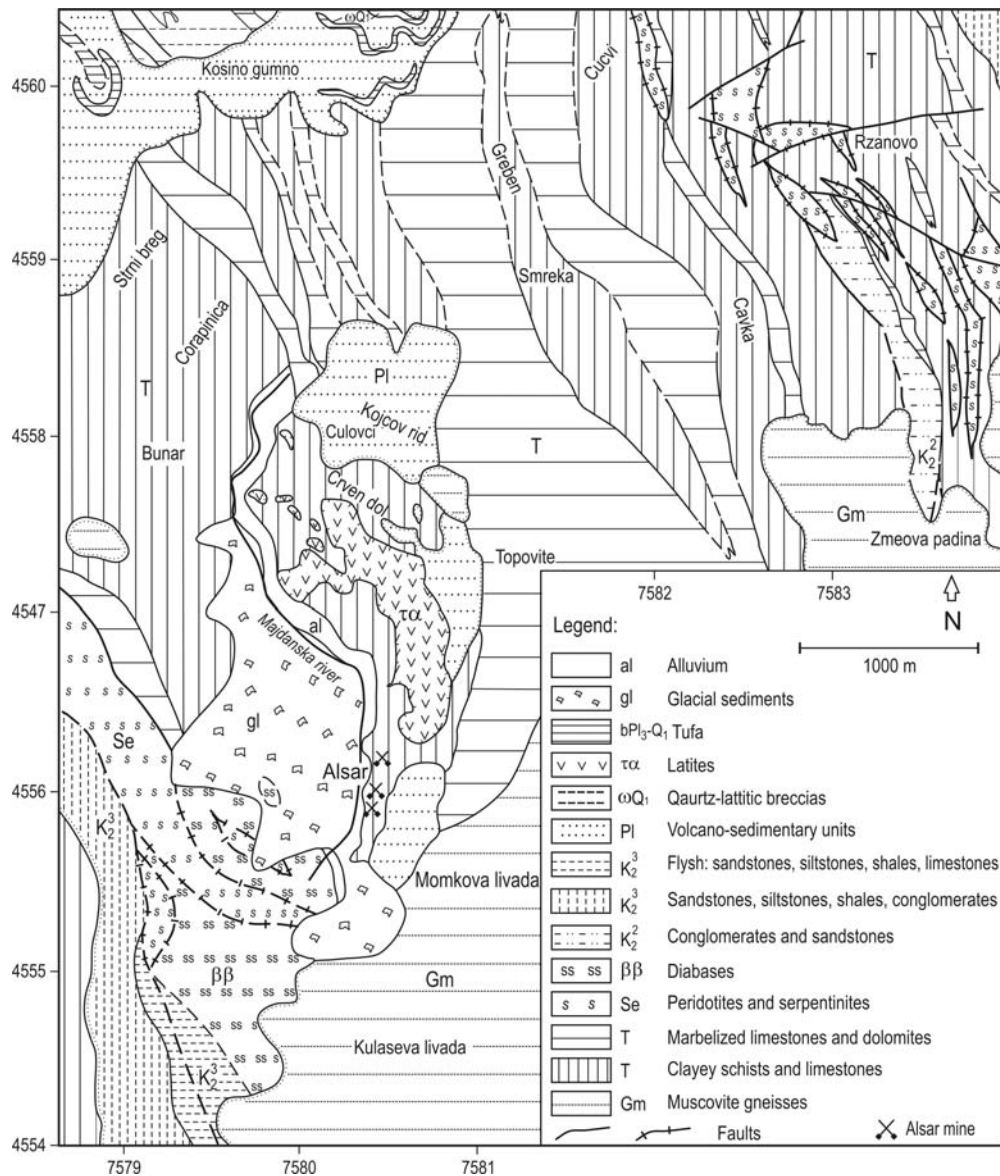
massive limestones and facies of sandstones and clay schists, quartzlites and cherts. The rock series of Triassic age is presented by marbleized limestones and dolomites, clay schists and sandstones with intercalation of diabases and green schists. In this complex of mezozoic rocks the magmatic rocks are also included being presented by ofiolitic rocks (serpentinized dunites, serpentized harzburgites, gabbros, basalts, diabases and gabbropegmatites).

**The complex of Upper-Cretaceous sedimentary rocks** consists of series of sandstones and conglomerates of Alb and Barmian age and series of limestones of Turonian age.

**The complex of Pliocene sediments, pyroclastites and volcanic rocks** consists of lake sediments laying over the sediments of upper Eocene. Pliocene sediments are presented by roughly grained conglomerates and claystone sediments, clay carbonate sediments and marls. In this series

sometimes horizons of diatomaceous earth appear. The complex of Pliocene sediments terminates with the appearance of tufas and travertines overlaid by a series of pyroclastite rocks. This series of pyroclastite rocks is presented by various types of lakustriski tuffs, volcanic agglomerates and volcanic glasses. The volcanic rocks of Pliocene age are widely spread on the Mtn. Kozuf (Republic of Macedonia (BOEV, 1988), and Mtn Voras (Greece) (KOLIOS et al., 1980). This complex of volcanic rocks spreads on about 2000 km<sup>2</sup> and, in general, consists of alkali basalts, andesites, latites, trachites and rhyolites. Their age ranges from 1.8 to 6.5 million years (Boev, 1988).

**The complex of quaterner sediments** consists of various terrace sediments, fluvio-glacial sediments and alluvial sediments.



**Figure 1.** Geological map of the Alsar area

## Local Geological Setting

Deposition of sandstone and claystone, followed by bedded and massive carbonate rocks (limestone, dolomite, marble) took place in the Middle and Upper Triassic. These rocks are the basement of the Alsar deposit (Fig. 2).

The quartz-sericite-feldspar schists are developed along the eastern flank of the deposit, while the central part is built of dolomite, marble, and sporadically limestone.

The dolomite series underlies marbel. Based on fission traces the age of dolomite was determined as 250 m.y. (LEPITKOVA, 1995). The data of trace elements geochemistry shows pronounced negative anomalies (normalized values) of Rb, Ba and Hf, but positive anomalies of U. This data indicates a marine origin of dolomite. In addition, increased contents of metals such as Zn, Hg, Tl, Mn, and Au can be noticed in dolomites affected by hydrothermal solutes.

The Mesozoic rocks are unconformably overlain by Pliocene cover and glacial till. The earliest Tertiary rocks are very likely tuffaceous dolomite. It unconformably overlies the Mesozoic basement rock, particularly in the central, northern and southwest parts of the deposit. This unit is of volcano-sedimentary provenance and commonly mineralized.

The massive tuffaceous dolomite contains sporadically intercalated sequences of fine-grained tuff, water lain ash or volcanic glass. This volcano-sedimentary unit is 100-130 m thick (PERCIVAL & BOEV, 1990).

The basal contact of the tuff and underlying Tertiary tuffaceous dolomite and pre-Tertiary rocks is often marked by an unconformity zone, 2 to 12 m thick. It consists of a mixture of unsorted and ungraded detrital material. This basal unconformity of the tuff unit indicates a discontinuity in the Tertiary stratigraphic section and the beginning of volcanic activity during which dolomite deposition took place (PERCIVAL & BOEV, 1990). The basal contact zone is of particular interest as a preferred environment of hydrothermal alteration and mineralization, particularly in the central and southern parts of the deposit.

The unit of Pliocene felsic tuffs covers a large portion of the Alshar deposit. This volcanic sequence includes ash, crystal tuffs, tuff breccia and lacustrine tuffaceous sediments.

According to PERCIVAL & BOEV (1990) the lowest level of felsic tuffs consists of soft and friable ash tuffs, grading upwards to a crystal lithic tuff and then into a crystal tuff. These tuffs contain sanidine, biotite and quartz phenocrysts in an aphanatic ground mass. The composition of tuff braccia is similar to the crystal tuff. The tuffs deposited in the sublacustrine basins in the southern part of Alshar show bedding and contain tuffaceous sedimentary clay material (a volcano-sedimentary series).

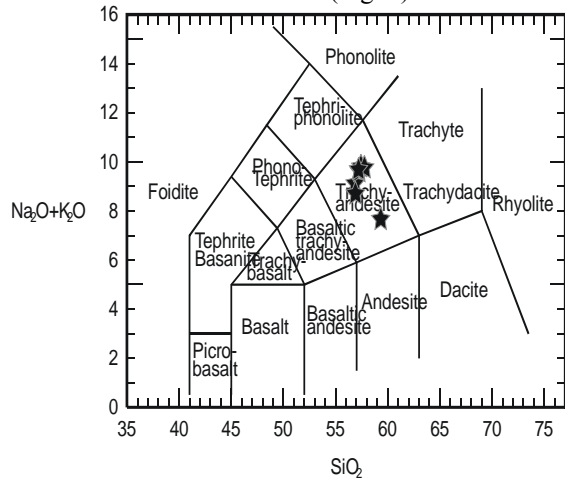
## PETROLOGY AND AGE DETERMINATIONS OF ALSAR VOLCANIC COMPLEX

The Alsar volcanic complex was investigated in detail by BOEV (1988), FRANTZ et al. (1994), and LEPITKOVA (1995). Volcano-intrusive rocks of Alsar include trachy-andesite (Table 1) and (Fig. 2).

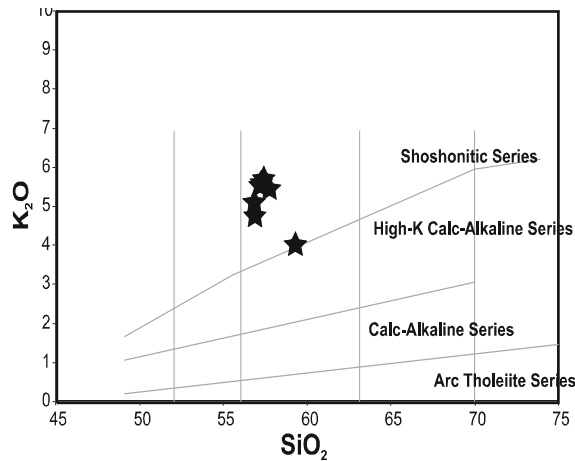
**Table 1.** Chemical and geochemical compositions of the volcanic rocks from Alsar

SiO <sub>2</sub>	56.86	56.9	57.28	57.43	57.77	57.2	59.32
TiO <sub>2</sub>	0.9	0.88	0.72	0.77	0.75	0.68	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.7	17.9	17.29	17.41	17.68	18	17.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.3	5.32	5.6	5.62	5.3	5.62	5.26
FeO	0.37	0.57	0.21	0.19	0.41	0.93	0.93
MnO	0.1	0.1	0.06	0.08	0.06	0.06	0.1
MgO	1.88	1.98	1.89	1.6	2	1.8	1.66
CaO	5.12	4.95	4.42	4.23	5.35	4.68	5.07
Na <sub>2</sub> O	4.01	3.95	4.01	4.1	4.31	4.15	3.65
K <sub>2</sub> O	5.1	4.75	5.6	5.7	5.45	5.53	4.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.48	0.44	0.57	0.51	0.5	0.51	0.52
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2.6	2.9	2.3	2.3	1.1	1.95	1.56
In ppm							
Ba	1750	1650	1560	1650	1680	1700	1650
Rb	201	211	246	252	238	223	233
Sr	1100	1018	1136	1182	1341	964	946
Y	24	34	41	49	49	36	32
Zr	222	347	393	401	384	342	291
Nb	25	28	30	30	28	18	17
Th	33	31	30	31	29	30	28
Pb	85	80	78	86	92	88	90
Ga	22	19	20	21	23	21	20
Zn	57	60	61	54	55	60	58
Cu	48	45	47	44	43	46	48
Ni	20	18	17	14	14	14	16
V	120	117	124	114	129	125	127
Cr	15	14	17	12	15	17	13
Hf	5.98	5.38	4.98	5.3	5.11	4.87	5.21
Cs	31.2	35.6	36.5	33.5	34.5	33.4	34.5
Sc	10	9	9	11	10	11	10
Ta	0.84	0.81	0.78	0.85	0.84	0.8	0.78
Co	10	10	11	10	11	10	12
Li	12	11	10	12	13	11	12
U	9.7	10.1	9.56	10.2	9.8	10.2	9.8
W	3.2	4	4.12	3.5	4.11	4	3.5
Mo	3	2.5	2.7	2.8	3	2.8	3
La	78.5	77.8	79.2	77.5	80.1	80.2	81.1
Ce	157	160	145	158	160	155	160
Pr	7.8	7.6	7.3	7.4	7.2	7.4	7.3
Nd	63	50	58	59	60	60	59
Sm	8.54	7.3	8.21	7.7	8.11	8.2	7.4
Eu	1.71	1.7	1.72	1.7	1.7	1.7	1.7
Tb	0.69	0.68	0.69	0.68	0.69	0.68	0.69
Dy	3.8	3.56	3.45	3.7	3.54	3.65	3.54
Ho	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.4	1.3
Tm	0.32	0.3	0.38	0.35	0.38	0.38	0.38
Yb	1.84	1.85	1.84	1.85	1.84	1.85	1.85
Lu	0.3	0.28	0.28	0.3	0.28	0.3	0.28

On the base of the diagrams of PECCERILLO & TAYLOR (1976) the volcanic rocks of the Alshar area are in the shoshonitic series (Fig.3.).



**Figure 2.** Diagrams of:  $SiO_2/Na_2O+K_2O$  of volcanic rocks in the vicinity of Ashar (La Maitre, 1989)



**Figure 3.** Diagrams of a:  $SiO_2/K_2O$  of volcanic rocks in the vicinity of Ashar

Trachy-andesite of Alshar area. are porphyry volcanic rocks (calc-alkaline) composed of idiomorphous phenocrysts of andesine, sanidine, amphibole, biotite and clinopyroxene (Table 2). The groundmass is microcrystalline composed of microliths and plagioclases. sanidine, biotite and pyroxene. Apatite, ilmenite, rutile, pyrite and magnetite occur as accessory minerals. Chemical and geochemical analyses show that latites are intermediary rocks in which the  $SiO_2$  content ranges from 56.86 to 59.32 %, and that of  $Al_2O_3$  from 17.29 to 17.90 %. It should be mentioned that they have relatively uniform amounts of major oxides such as CaO,  $Na_2O$ , and  $K_2O$  that classifies these rocks as monzonites. The MgO content ranges from 1.60 to 2.00 % which is a characteristic of calc-alkaline rocks (Table 1).

The volcanics of Alshar contain variable amounts of trace elements and REE. Table 1 shows the values of trace elements and REE from seventh samples of trachytes (LEPITKOVA, 1995). Fig.4 (a,b) shows

the distribution of REE in the volcanic rocks of Alshar. It can be inferred that there is certain enrichment in light REE in regard to heavy elements. The relative enrichment in La is characteristic for the volcanic rocks of Alshar, whereas the Ce content (145-160 ppm), as well as Ce/Y (around 6) point to certain impoverishment in heavy elements. The Nd content is also high.

From the analysis it can be inferred that the enrichment in light REE elements indicates that magma originated from the continental crust and that it distinguishes it from toleitic basalts. The slightly pronounced minimum of Eu and the pronounced minimum of Dy indicate to the fractionation processes of primary magma and its contamination by rocks from the upper and lower crust (LEPITKOVA, 1995).

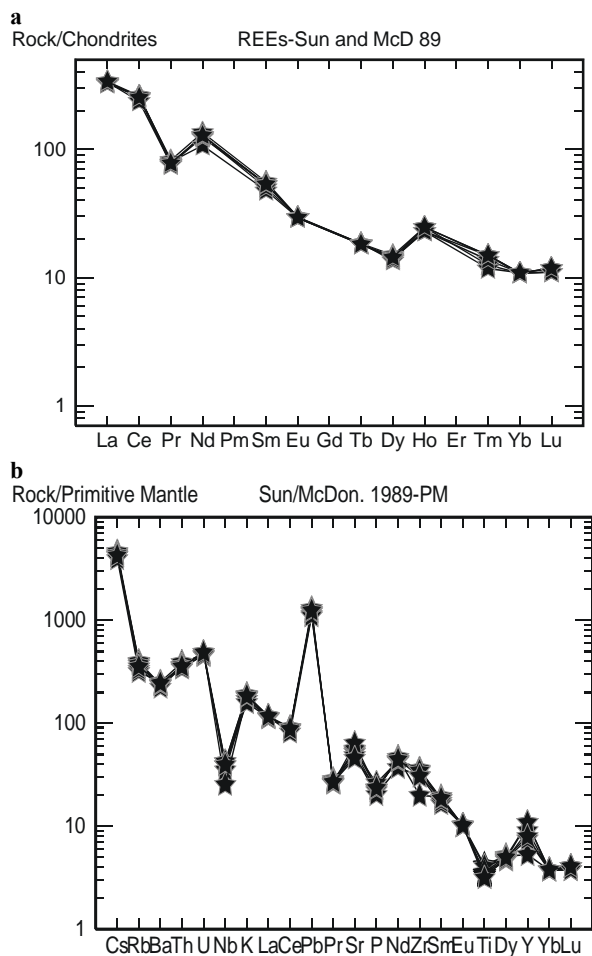
**Table 2.** Chemical composition for clinopyroxene, amphibole, biotite, plagioclase and sanidine determined by EMA analysis (in %) and recalculations showing individual and total moles cation.

Oxides	Clinop <sup>a</sup>	Amp <sup>a</sup>	Bio <sup>a</sup>	Plag <sup>a</sup>	San <sup>a</sup>
SiO <sub>2</sub>	53.483	42.65	38.2	58.712	64.418
TiO <sub>2</sub>	0.490	1.72	3.96		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.823	13.97	14.04	25.977	19.913
FeO	7.673	9.96 <sup>b</sup>	18.1	0.382	0.585
MgO	13.987	14.66	13.84		
MnO	0.367	0.11	0.27		
CaO	20.597	11.97		7.691	1.113
K <sub>2</sub> O	0.013	1.09	9.31	1.184	8.047
Na <sub>2</sub> O	0.757	2.23	0.64	5.903	5.732
<b>Total</b>	<b>100.190</b>	<b>98.36</b>	<b>98.36</b>	<b>99.848</b>	<b>99.808</b>
Element	6(O) <sup>c</sup>	23(O) <sup>c</sup>	22(O) <sup>c</sup>	32(O) <sup>c</sup>	32(O) <sup>c</sup>
Si	1.967	6.187	5.613	10.530	11.684
Ti	0.014	0.188	0.438		
Al	0.123	2.389	2.432	5.493	4.258
Fe	0.236	1.208	2.224	0.057	0.089
Mg	0.767	3.170	3.031		
Mn	0.011	0.014	0.034		
Ca	0.812	1.860		1.480	0.216
K	0.001	0.202	1.745	0.270	1.863
Na	0.054	0.627	0.182	2.055	2.015
<b>Total</b>	<b>3.985</b>	<b>15.845</b>	<b>15.699</b>	<b>19.885</b>	<b>20.125</b>

<sup>a</sup>The obtained results represent average value from three independent measurements.

<sup>b</sup>The content of T(Fe) is determined.

<sup>c</sup>The number of oxygen cations taken for the moles cation calculations.



**Figure 4.** Distribution pattern of rare elements b) and REE a) of the trachy-andesite from Alshar (LEPITKOVA, 1995)

Two principal volcano-intrusive phases have been identified in Alshar based on investigations carried out so far:

(a) Miocene phase of calc-alkaline rocks occurring as dikes. TROESCH & FRANTZ (1992) have determined a Miocene age (14.3 - 8.2 m.y.) for the volcanic phase. The age was determined based on Ar/Ar data obtained for plagioclase from Crven Dol. The volcano-intrusive rocks of this volcanic phase were completely altered by hydrothermal solutes during the Pliocene.

(b) The most significant volcanic rocks in Alshar developed as part of the Kozuf volcano-intrusive activities. Subvolcanic hypoabyssal intrusions formed, based on data from K-Ar investigations, during the period from 4.5 to 5.0 m.y. (LEPITKOVA, 1995; FRANTZ et al., 1994).

Results obtained from determination of age by K/Ar method of trachy-andesites affected by hydrothermal processes indicate to absolute age of 3.9 to 5.1 m.y. (LIPPOLT & FUHRMAN, 1986). It can be inferred that the volcanic activity in Alshar took place in the period between 3.9 to 5.1 m.y.. Based on  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio for trachy-andesites (0.70856) it can be inferred

that parent magma derived from lower continental crust/upper mantle domain (BOEV, 1990/91).

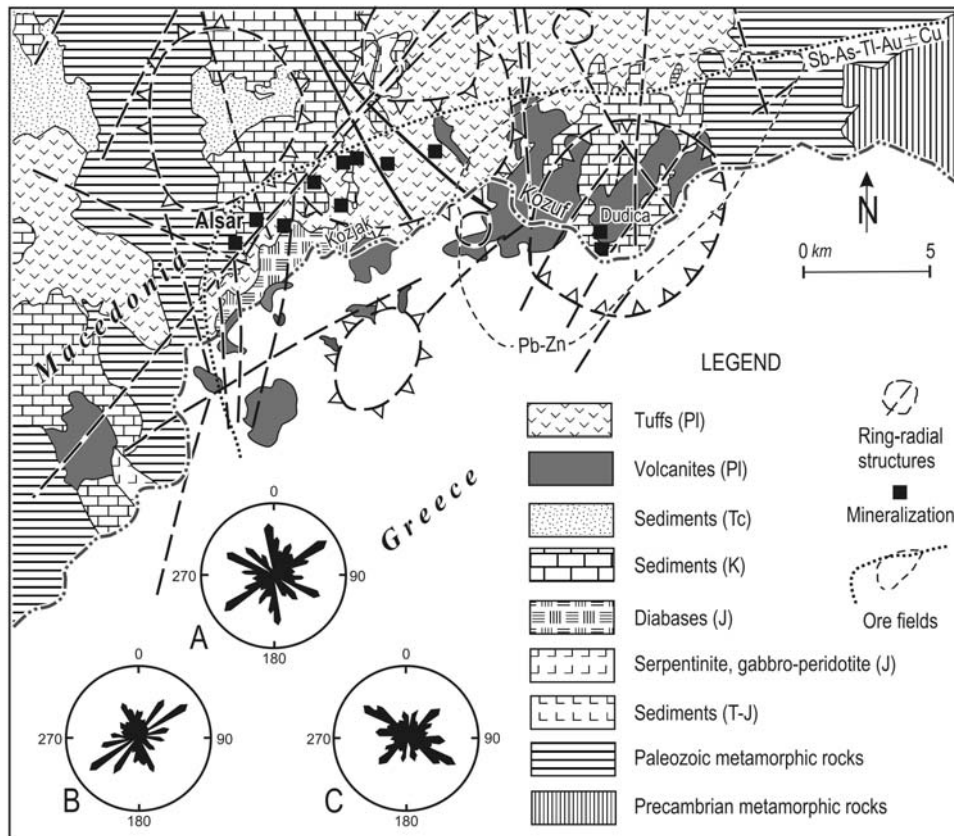
### STRUCTURAL FEATURES

The main structural discontinuances in the region of the Allchar deposit are in close correlation with overthrust structures in the Mtns. Kožuf and Kozjak (Fig. 5). Three main systems of tectonic structures are present in this region (BOEV, 1988):

- System of overthrust structures of Vardar direction (NW-SE to N-S). Thereby, the system of the NW-SE directed overthrust structures is older, whereas the N-S oriented structures (along which the products of the initial and the main volcanic phase of Mtns. Kožuf and Kozjak are located) are younger. Along this overthrust system (N-W) the intense hydrothermal activity of Allchar region is also manifested.

- System of NE-SN to E-W directed overthrust structures. Compared to the system of structures with Vardar direction, this system is younger. Along this system of structures the seismo-tectonic activity of this region is manifested. At the cross-sections of this rasedni structures with the Vardar oriented structures the appearance of the youngest volcanic activity on the Mtns. Kožuf and Kozjak is manifested. The ore mineralization of the Allchar locality is related to this youngest volcanic activity.

Ring structures presented by several morphologically dominant negative structures (collapse caldera in the region of the Allchar and Vasov Grad deposits) and one positive structure in the Dudica region. The faults and fault zones of the Alshar deposit are grouped into three principle sets based on strike orientation (PERCIVAL & BOEV, 1990): N - NE20E, N35-50E, and N40-50W. Only in the southern part a series of E - W faults dominates. Most of the structural features are marked by tectonic brecciation "juxtaposed stratigraphic relationships, topographic discontinuities and by a marked increase in hydrothermal alteration intensities along their traces" (PERCIVAL & BOEV, 1990). A major structural zone is developed along the northerly trending of the valley of the River Majdan. On the east side of this structure cliff-like outcrops of extensively silicified rocks (i.e. tuffaceous dolomite a.a.), sporadically mineralized, are developed (Fig.1). In the underground antimony mine workings several NE-trending faults are identified, reaching the surface of the terrain. These fractured zones control localization of antimony mineralization. Many of the structures exhibit a strip-type shearing movement, whereby the fault trace is actually a zone of sheared and broken rocks in a fine-grained gougy matrix. They contain large clay component (PERCIVAL&BOEV,1990).



**Figure 5.** Schematic morphostructural map of the Kozuf district (BOEV, 1988)

**Environments of mineralization.** The localization of mineralization is partially associated with environments characterized by increased porosity and permeability, typically related to fractures and fractured zones in the vicinity of subvolcanic intrusive bodies. Such steeply dipping ore-bearing structures resulted from slip-type shearing movements represented by brecciated rocks often in a fine-grained gougy matrix. The increased porosity and composition of tuffs are a favourable environment for hydrothermal fluid migration and for introduction of sulphides and gold. A second favourable environment is a porous and permeable basal zone developed as a stratabound along the Triassic erosion surface. It is 5 - 10 m thick and several metres long (PERCIVAL & BOEV, 1990). Carbonate rocks such as dolomite and marble are also favourable environment for deposition of mineralization in the Alshar deposit. In conclusion, complex Sb-As-Tl-Au mineralization is hosted by the Triassic carbonates (dolomites and marble), the Tertiary volcanics and volcano-sedimentary sequence (tuffaceous dolomite).

**Structural control.** The position of ore bodies is strongly controlled by high-angle faults, along which hydrothermal fluids moved upwards and subsequent mineralization took place. It is not certain whether one or more faults served as pathways for the movement of hydrothermal ore-bearing fluids into

favourable lithologic environment where precipitation took place.

**Magmatic control.** Although a spatial relationship between the subvolcanic intrusions and mineralization has been evident in the central part of the Alshar deposit, still the timing between the intrusive events and the Sb-As-Tl-Au mineralization has not been reliably established. It is only certain that some phases of mineralization, particularly pyrite, occur along the contact of the hydrothermally altered intrusive latite, and it postdates the intrusions. This is revealed by underground antimony workings. But it is very likely that mineralization is genetically related to multi phase subvolcanic-hypabissal intrusive activities.

**Wall-rock alteration.** Hydrothermal alteration of host rocks and the distribution facies of alteration are described in detail by PERCIVAL & BOEV (1990). The most significant alteration facies are silicification and argillitization. The silicification mostly prevails in the central part of the deposit, while argillization along slight silicification occurs mainly in the northern part, i.e. the Crven Dol ore body.

Various forms of *silica* were deposited at different times during the lifetime of the hydrothermal system.



- Complete replacement of dolomite and tuffaceous dolomite by microcrystalline silica. Decalcification is characterized by removal of calcite and dolomite by acidic solutions in a pyrite stable field. Apart from widespread replacement of carbonate rocks, crystalline silica filled the open space. This precipitation of silica took place during cooling of the hydrothermal fluids. Silification is mostly of strong intensity often grading into jasperoids.
- Formation of quartz veins, veinlets and stockwork-veinlets (in previously silicified rocks, jasperoids and in silicified tuffs) where fractures were easily formed (the stage of ore mineralization).

**Argillization** is mainly developed above and lateral of tuffs and tuffaceous dolomite. The lateration intensity ranges from weak clay replacement to complete destruction of the parent rock textures in the pervasively altered host rock. The latered tuffs contain mixtures of kaolinite, illite, fine-grained quartz and jarosite, iron oxide and gypsum.

Small occurrences of **ankeritization** are found sporadically in dolomite (the Crven Dol ore body (BALIĆ ŽUNIĆ et al., 1993)).

Distribution of the hydrothermal alteration facies is characteristically zoned from a silicified core grading laterally into argillized rocks. Locally silicification is intermixed with argillically altered rocks.

Introduction of disseminated pyrite (marcasite into volcanic rocks and tuffaceous dolomite e.g. Crven Dol - level 800 m) may be considered as a specific facies of hydrothermal alteration.

**Supergene alteration.** This type of alteration is widespread in the Alsar deposit, involving the following processes and products:

(i) *Oxidation of iron* and to some extent antimony, arsenic sulphides, locally thallium sulphosalts resulted in the formation of gossans, composed of ochreous limonite-manganese oxides mixed with argillic clays. Some of the gossane zones are silicified. They are developed in the vicinity of mineralization.

Limonite and jarosite derive from primary iron sulphides, while stibnite was transformed into cervantite, stibiconite etc., As-sulphides into scorodite, arsenolite etc. intermixed with limonite, sporadically manganese oxides, argillic clays and microcrystalline quartz. Some of the recently identified thallium minerals such as dor-allcharite were formed in the process of supergene alteration of primary Tl-mineral (BALIĆ ŽUNIĆ et al., 1993).

(ii) *Argillic alteration* is mostly a follow-up process of oxidation of primary sulphides, when sulphuric acid, as a by-product affected the host rocks. The products of these processes are represented by clays containing abundant limonite and manganese oxides, locally concentrations of residual sulphides.

(iii) *Weak lateritic weathering* of igneous and sedimentary rocks (predominantly developed in tuffs and tuffaceous dolomite) indicates the hot and humid climate after mineralization.

## MINERALIZATION

The Alsar deposit consists of several ore bodies and numerous occurrences, each characterized by specific associations of metals and mineral assemblages.

**Morphostructural types of mineralization.** Several distinct types of mineralization occur in the Alsar deposit including

(i) Mineralized brecciated zones developed along the contact between the subvolcanic intrusions, with dolomite and/or tuffaceous dolomite or along shear zones in the carbonate rocks and/or silicified tuffs.

(ii) Massive lenses of realgar ore occurring in the carbonate rocks and grading into stockwork-type mineralization. Massive sulphide mineralization, mainly pyrite/marcasite occupies sporadically steeply-dipping fault/shear zones. Massive sulphide-bearing jasperoids occur sporadically only as small pods.

(iii) A Mineralized systems of veinlets and fractures occur in the tuffaceous dolomite and the Triassic dolomite.

(iv) Disseminated mineralization, mostly stibnite, pyrite/marcasite, gold occurs (a) as stratabound bodies along the contact between the basal portion of volcano-sedimentary tuffaceous dolomite and/or tuffs, and underlying Triassic carbonate rocks, (b) in silicified volcanics (with variable amounts of argillization), and (c) as abundant finely disseminated pyrite-marcasite and stibnite in the jasperoids, locally accompanied by arsenic sulphides and Tl-minerals.

Ore bodies occur most frequently as steep-dipping lenses, irregular in shape, sporadically as ore-shoots. The size and shape of these ore bodies depend on cut-off grades.

(v) system of thin, up to 10 cm wide, subparallel veins of orpiment are identified in the Crven Dol ore body at 800 m level.

**Association of metals.** The major elemental components of the Alsar deposit are Sb, As, Tl, Fe, S and Au, accompanied by minor Hg and Ba and traces of Pb, Zn, Cu, U and Th.

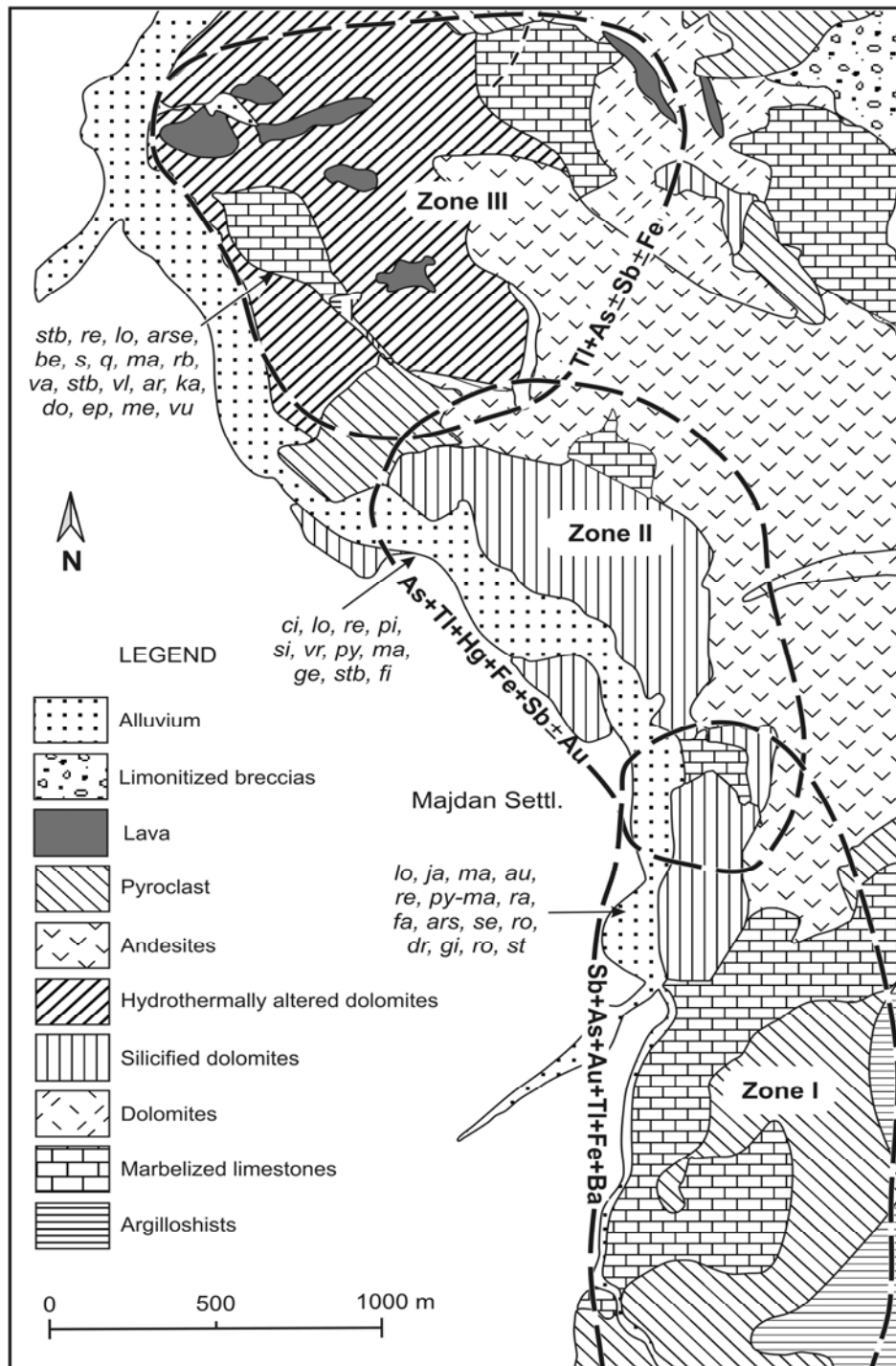
Enrichment in gold in the Alshar deposit is closely associated with enrichment in silica, while enrichment in Tl is related to increased concentrations of volatiles, such as As, Sb, Hg, S. The distribution of ore metals and their concentration rates display a lateral zoning (Fig.6). These zones are not sharply defined and typically a gradual transition exists between zones.

- In the northern part of the deposit (zone III) As and Tl prevail, accompanied by minor Sb, locally traces of Hg and Au. The average grade of mineralization in the Crven Dol ore body is 6% As, 0.3% Tl, 0.08% Sb and 0.2 ppm Au (JANKOVIC & JELENKOVIC, 1994).

- The central part of the deposit (zone II) is dominated by Sb and Au. but it also contains significant amount of As. Tl. minor Ba. Hg. and traces of Pb. The ore bodies contain 2 - 3% Sb. 2% As. up to 0.4% Tl. up to 3.5 ppm Au and 435 ppm Ba. Fig. 48 shows variation of thallium, antimony and arsenic contents within some ore bodies explored

by underground workings in the central part of the deposit.

- The southern part of the deposit (zone I) is characterized by dominance of gold mineralization accompanied by variable amounts of antimony and arsenic.



**Figure 6.** Zonal distributions of metals and minerals in the Alsar area

Stb-stibnite; re-realgare; lo-lorandite; arse-arsenolite; be-bernardite; s-native sulphure; q-quartz; ma-marcasite; rb-rebulite; va-vaisbergite; vl-valentinite; ar-aragonite; ka-calcite; do-dolomite; ep-epsomite; me-melanterite; vu-vulfenite; ci-cinabarite; picopolite; si-simonite; vr-vrbaite; py-pyrite; ge-getite; fi-fibroferite; ja-jankovicite; au-orpiment; py-ma-pyrite-marcasite; ra-raguinite; fa-fangite; ars-arsenopirite; se-senarmontite; ro-romeite; dr-doralsarite; gi-gypsum; st-stibiconite;

## MINERAL ASSOCIATIONS

**Table 3.** Minerals present at the Allchar deposit

No	Mineral	Formula	Studied		
			IR	Raman	XRPD
	<i>Elements</i>				
1	Gold	Au			
2	Sulfur	S			
	<i>Sulfides and Sulfosalts</i>				
3	Pyrite	FeS <sub>2</sub>			
4	Marcasite	FeS <sub>2</sub>	+	+	+
5	Orpiment	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	+	+	+
6	Realgar	As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	+	+	+
7	Pararealgar	AsS	+	+	+
8	Cinnabar	HgS			
9	Stibnite	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	+	+	+
10	Arsenopyrite	FeAsS			
11	<b>Lorandite</b>	TlAsS <sub>2</sub>	+	+	+
12	<b>Raguinite</b>	TlFeS <sub>2</sub>	+	+	
13	<b>Weissbergite</b>	TlSbS <sub>2</sub>			
14	<b>Picotpaulite<sup>b</sup></b>	TlFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>			
15	<b>Fangite</b>	Tl <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>			
16	<b>Simonite<sup>b</sup></b>	TlHgAs <sub>3</sub> S <sub>6</sub>			
17	Bernardite <sup>a</sup>	Tl(AsSb) <sub>5</sub> S <sub>8</sub>			
18	<b>Parapierrotite</b>	Tl(Sb,As) <sub>5</sub> S <sub>8</sub>			
19	<b>Vrbaite</b>	Tl <sub>4</sub> Hg <sub>3</sub> As <sub>8</sub> Sb <sub>2</sub> S <sub>20</sub>	+	+	
20	<b>Rebulite<sup>b</sup></b>	Tl <sub>5</sub> Sb <sub>5</sub> As <sub>8</sub> S <sub>22</sub>			
21	<b>Jankovcite<sup>b</sup></b>	Tl <sub>5</sub> Sb <sub>9</sub> (AsSb) <sub>4</sub> S <sub>22</sub>			
	<i>Oxidex and hydroxides</i>				
22	Arsenolite	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
23	Valentinite	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
24	Cervantite	Sb <sub>2</sub> O <sub>4</sub>			
25	Goethite	FeO(OH)	+	+	+
26	Stibiconite	Sb <sub>3</sub> O <sub>6</sub> (OH)			
27	Roméite	(Ca,Fe,Mn,Na) <sub>2</sub> (Sb,Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O,OH,F)			
	<i>Carbonates</i>				
28	Calcite	CaCO <sub>3</sub>			
29	Aragonite	CaCO <sub>3</sub>			
30	Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>			
	<i>Sulfates and Molybdates</i>				
31	Barite	BaSO <sub>4</sub>			
32	Gypsum	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O			
33	Starkeyite	MgSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O			
34	Rozenite	FeSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O			
35	Epsomite	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	+	+	+
36	Melanterite	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O			
37	Jarsoite	KFe <sup>3+</sup> <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>			
38	<b>Dorallcharite<sup>b</sup></b>	Tl <sub>0.8</sub> K <sub>0.2</sub> Fe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>			
39	Fibroferrite	FeSO <sub>4</sub> (OH)·5H <sub>2</sub> O			
40	Wulfenite	PbMoO <sub>4</sub>			
	<i>Arsenates</i>				
41	Pharmacolite	CaHAsO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O			
42	Picropharmacolite	Ca <sub>4</sub> Mg(AsO <sub>3</sub> OH) <sub>2</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·11H <sub>2</sub> O	+	+	
43	Hörnesite	Mg <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O			
	<i>Silicates</i>				
44	Quartz	α-SiO <sub>2</sub>			

<sup>a</sup>Allchar thallium minerals are marked in bold. <sup>b</sup>Endemic thallium minerals.

### **1. Gold**

The presence of gold in the Sb-As-Tl association at Alšar has been suggested (STAFILOV, 1985; IVANOV, 1986; STAFILOV & TODOROVSKI, 1987). Between 1986 and 1989, gold mineralisation was systematically explored. It was shown that the geological, geochemical, mineralogical and hydrothermal alteration features are similar to those that characterise the Carlin-type mineralisation of the western United States (PERCIVAL & RADTKE, 1990 & 1994; PERCIVAL et al., 1990).

### **2. Sulfur**

Sulfur at Allchar locality forms small bright yellow well-developed crystals reaching 1 mm in size. It also appears in the form of earthy yellow masses. On the exposure to sunlight it is unstable and tends to become milky earthy. Most frequently, it is associated with gypsum (JANKOVIC et al., 1997).

### **3. Pyrite**

Pyrite crystals, mainly found as corroded grains and in the core of marcasite nodules, are morphologically unattractive. This mineral has been established as the first crystallized sulfide from Allchar being of high importance in the process of formation of some rare iron-bearing thallium sulfosalts. As in the other Carlin-type deposits, pyrite is responsible for the precipitation of gold (JANKOVIC et al., 1997).

### **4. Marcasite**

Marcasite is found within the polymetallic ore mineralisations related to Tertiary volcanism. Excellent marcasite samples can be seen in the central parts of the Alšar deposit where large marcasite crystals have been found on horizon 754 m. Here, it is often associated with realgar and stibnite and contains rather high quantities of arsenic (JANKOVIC et al., 1997).

### **5. Orpiment**

Orpiment appears predominantly in its northern parts close to the village of Majdan. It was mined as early as the Turkish Empire. Arsenic production (orpiment) was first mentioned in 1481 when the production of arsenic ore was mentioned in the annual revenue of the sultan of Rožden. The best orpiment crystals in Alšar can be seen in the Crven Dol locality, particularly on the horizons of 800 and 780 m. There, orpiment crystals reach sizes of over 10 cm. Orpiment has been described as a stoichiometrically pure mineral (PALME et al., 1988), although it does contain traces of K, Cl, Cr, Mn, Fe and Cu. It

occurs mainly as compact masses sometimes weighing several hundred kilograms. Bright yellow, elongated idiomorphic crystals with adamantine lustre faces are very rare. Orpiment usually forms fan-shaped aggregates or hemispheres, mainly having a brownish yellow colour and dull lustre. The crystal size of a few millimetres is typical. The presence of lorandite near the realgar and orpiment zones has been observed.

### **6. Realgar**

Realgar, as one of the most widespread minerals in this locality, occurs as nice crystals, particularly in the northern part of the Crven Dol site. In the dolomite series, large realgar crystals occur along with lorandite and orpiment. The physical and chemical characteristics of realgar were first described at the beginning of the 20<sup>th</sup> century (FOULLON, 1904). It occurs as crystals of up to 2 cm in size, which are elongated red-coloured prisms that (exposed to light) decompose and transform to yellow pararealgar. Realgar is the host for the mineral lorandite.

### **7. Pararealgar**

Pararealgar occurs in the Alšar deposit, particularly in the northern part of the Crven Dol site when realgar, one of the most widespread minerals in the Alšar locality in Macedonia, is exposed to light (DOUGLASS et al., 1992). The mineral appears as very tiny yellow-coloured crystals or in the form of a powder.

### **8. Cinnabar**

Cinnabar is very rare mineral detectable only in polished sections appearing in the form of grains up to 150 micrometers in size (RIECK, 1993). Occasionally, inclusions in realgar belong to cinnabar as well. Among the samples deposited in the Croatian Natural History Museum in Zagreb are single crystals of cinnabar up to 2 mm in size.

### **9. Stibnite**

The best stibnite crystals can be found in the central parts of the Alšar mine, particularly horizon 754 m. There, stibnite crystals occur as ring-radial aggregates with well-developed elongated prismatic crystals with high lustres. They can reach a length up to 10 cm. The most attractive specimens of stibnite are often accompanied by small realgar crystals (BOEV et al., 1993).

## 10. Arsenopyrite

A unique occurrence of arsenopyrite has been mentioned in the northern part of the As-rich deposit (FOULLON, 1904). The occurrence was reported as small lustrous crystals embedded in massive orpiment.

## 11. Lorandite

Lorandite is a world-famous mineral described as the first thallium-bearing mineral. It occurs only in this locality, particularly in its northern part called Crven Dol (KRENNER, 1895). It occurs in silicified dolomites associated with realgar and orpiment. Since its first discovery in Alšar in 1884 smaller quantities have been found in only a few other localities worldwide. The monoclinic tabular aggregates of lorandite are typically dispersed throughout realgar and orpiment hosts. Well-developed crystals are much rarer and show many different forms. Lorandite can easily be distinguished from realgar by its darker red colour, its semimetallic lustre and its perfect cleavage on {001}, {201} and {110}. Some crystals are coated by a brownish yellow crust. Lorandite crystals of 1 cm are typical for this locality, although single crystals up to 5 cm in size have occasionally been found. Lorandite is named after the Hungarian physician Lorand Eötvös (1848–1919).

The investigations in connection with the LOREX program have revealed some interesting features. The Alšar lorandite is pure, containing only traces of K, Cr, Fe, Cu and Zn (PALME et al., 1988). The ore-grade in the richest zone contains about 18,000 m<sup>3</sup> of ore with an average Tl content of 0.35%. Microprobe analyses in recent investigations have shown the presence of Hg. Scientists became interested in the mineral at the beginning of 1980s when the American physicist M. S. Freedman proposed that it could be used to detect solar neutrinos (FREEDMAN et al., 1976).

## 12. Raguinite

Raguinite is found in the central zone of the Alšar thallium ore body (HOFMANN, 1891), associated with orpiment, realgar and lorandite. Raguinite crystals are elongated in the form of fibres. Such bundles of fibres have a brilliant bronze colour. Usually it is intimately intergrown with pyrite. In reflected light, it is a grey white to pinkish white. The mineral shows very strong polarisation colours with a dominant orange. Only small quantities of this mineral have been recovered to date. Holotypes have been deposited in the mineral collection of the École nationale supérieure des mines de Paris.

## 13. Weissbergite

Weissbergite from Alšar was first reported in 1993 (RIECK, 1993) and is the second known location for this mineral after it has been firstly described in the Carlin mine (DICKSON & RADKE, 1978). The mineral was identified on a single specimen of realgar, in the form of elongated prismatic crystals with a maximum size of 0.5 mm. It is steel grey and has a metallic lustre, with deeply striated faces. Its well-developed cleavage in four different directions helps distinguish it from the other thallium sulfosalts.

## 14. Picotpaulite

In the lorandite-bearing zone of the Alšar deposit, picotpaulite was found as inclusions mainly up to 0.5 mm. Its color is bronze but under reflected light it appears creamy white showing a very strong anisotropic character. Picotpaulite is rhombic (BALIĆ-ŽUNIĆ et al., 2008), but the crystals are usually pseudo-hexagonal because of its common twinning penetration (JOHANN et al., 1970). Holotypes have been deposited in the mineral collection of the École nationale supérieure des mines de Paris. Allchar is the type locality for this mineral.

## 15. Fangite

This mineral has so far only been identified using reflected light microscopy and microprobe analysis (EL GORESI & PAVICEVIC, 1988). It forms rims around lorandite. Its chemical composition for the first time has been confirmed in 1994 (FRANTZ et al., 1994), later a mineral with the same chemical composition being found in the Mercur gold deposit in Utah, USA (WILSON et al., 1993).

## 16. Simonite

The small orange-red crystals of simonite were found only as inclusions in rebulite. The crystal structure of this new sulfosalt mineral was solved in 1982 (ENGEL et al., 1982). The crystals have an irregular shape reaching in size from 0.1 to 0.2 mm. Its light orange-red colour can easily be confused with realgar. Allchar is the type locality for this mineral.

## 17. Bernardite

A detailed description of the physical, chemical and structural characteristics of bernardite were reported in 1989 (PASAVA et al., 1989). It forms thick tabular crystals – the largest reported being 4 mm in size. The mineral has black colour with occasional dark red internal reflections and

a red streak. The mineral occurs in associations with orpiment and realgar. Holotype specimens have been deposited in the NarodniMuseum in Prague and the NaturhistorischesMuseum in Vienna.

### 18. Parapierrotite

The single elongated crystals of parapierrotite (3 mm in size) most frequently appear as in cavities of massive realgar (JOHANN et al., 1975). They are black with a semimetallic lustre. The mineral is named on account of its relationship to pierrotite. Holotypes have been deposited in the mineral collection of the École nationale supérieure des mines de Paris.

### 19. Vrbaite

Vrbaite, described as a new mineral and named in honour of his teacher Karl Vrba (1845–1922) (JEZEK, 1913), for the first time was noticed in 1912 (JEZEK, 1912). It was found in a small cavity of realgar, the major constituents of the samples being thallium, arsenic, antimony and sulfur. Vrbaite occurs as dark grey minute tabular or flat bipyramidal crystals with a bluish sheen and a semimetallic lustre. In thin sections, vrbaite is dark red translucent. Its good cleavage on {010} is usually observable and can be used for identification. The preliminary composition determined as  $TlAs_2SbS_5$  or  $Tl(As, Sb)_3S_5$  was found to be incomplete (KREHLIK, 1912 & 1913). Later, the results of microprobe work (CAYE et al., 1967; NOWACKI, 1968) have shown that Hg is a major constituent of the composition, leading to the now commonly accepted chemical formula of  $Tl_4Hg_3As_8Sb_2S_{20}$  (OHMASA & NOWACKI, 1971).

### 20. Rebulite

This mineral is named in honour of well-known geologist Boris Rebula from Macedonia who has hardly worked on Alšar mineral characterisation. The crystals of rebulite are dark grey with a metallic lustre and a brownish red streak. Well-developed crystals up to 2 mm in size are associated with realgar and simonite. Rebulite chemical composition was established by means of EDX analysis, and X-ray powder patterns were calculated according to the crystal structure (BALIĆ-ŽUNIĆ & ŠČAVNIČAR, 1982). Later, the contribution towards the crystal chemistry of rebulite was given (MAKOVICKY & BALIĆ-ŽUNIĆ, 1998) Allchar is the type locality for this mineral.

### 21. Jankovičite

This mineral was named in recognition of Professor S. Janković for his work on the mineralogy and geology of Alšar. As a new sulfosalt mineral from the Alšar deposit, it was described in 1995 (LIBOWITZKY et al., 1995; CVETKOVIC et al., 1995). The crystal structure determination has confirmed that the As sites are partially substituted by Sb. Its structure shows close resemblance with the rebulite structure. Later, a contribution towards the crystal chemistry of rebulite was given (MAKOVICKY & BALIĆ-ŽUNIĆ, 1998). Allchar is the type locality for this mineral.

### 22. Arsenolite, $As_2O_3$

The chemical composition of this mineral at the Alšar locality was determined in 1994 (FRANTZ et al., 1994). It has been detected in the form of a small vein between the realgar grains. Which of the two minerals (arsenolite or claudetite) with this composition ( $As_2O_3$ ) is present remains unknown. The presence of both mineral forms is included. Owing to the small quantities that have been found this question is still open.

### 23. Valentinite, $Sb_2O_3$

The occurrence of this antimony oxide mineral was predicted in 1890 (FOULLON, 1890) and found in 1892 (FOULLON, 1892) after studying the material given by a mine engineer. No further description of Alšar valentinite has been given by any other author (RIECK, 1993).

### 24. Cervantite, $Sb_2O_4$

This mineral appears on stibnite crystals as a yellow glassy coating designated as “antimony ochre”. It was revealed that their major component in most cases is cervantite,  $Sb^{3+}Sb^{5+}O_4$ , with small subordinate amounts of roméite  $(Ca, Fe, Mn, Na)_2(Sb, Ti)_2O_6(O, OH, F)$  and stibiconite  $Sb_3O_6(OH)$  (STIEGLITZ, 1990).

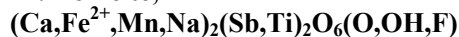
### 25. Goethite

Goethite appears like a dark brown to earthy masses and minute crystals in association with limonite and pyrite. In the past, this mineral from Allchar deposit has been considered as a new mineral being consequently described as “allcharite” (JEZEK, 1913; CECH & JOHANN, 1967). Pseudomorphs after pyrite crystals consist almost entirely of this mineral.

### 26. Stibiconite, $\text{Sb}_3\text{O}_6(\text{OH})$

An earthy yellow to brown coatings and powdery masses of stibiconite occur in association with the massive stibnite. Rarely, stibiconite forms pseudomorphs after stibnite (STIEGLITZ, 1990).

### 27. Roméite,



Roméite forms glassy coatings on stibnite, which consist predominantly of cervantite  $\text{Sb}^{3+}\text{Sb}^{5+}\text{O}_4$  and yellow powdery coatings (STIEGLITZ, 1990). This mineral appears as an alteration product of stibnite.

### 28. Calcite

Calcite is widely spread in the form of marble as a part of the host rock. Calcite has been also found in grains and veins of dolomite where it appears as fine-grained masses of minute scalenohedral crystals (RIECK, 1993).

### 29. Aragonite

Aragonite crystals occur in association with stibnite and realgar. In the Allchar's mineral paragenesis it usually appears in the form of white crusts consisting of fibrous tiny crystals (RIECK, 1993).

### 30. Dolomite

Massive dolomite forms have been established as the major host rock of the Allchar deposit. The crystals are usually brownish colored by iron-bearing weathering. Mostly they are small and do not exceed 1 mm in size. Dolomite is partly or wholly replaced by silica by later hydrothermal processes (RIECK, 1993).

### 31. Barite

In the Alšar mine, barite occurs as lodes in association with quartz and stibnite ((STIEGLITZ, 1990; BARIĆ, 1958). It appears as platy, colourless clear to milky coloured crystals up to a maximum size of 6 mm. Barite is commonly associated with calcite, dolomite, quartz and pyrite.

### 32. Gypsum

Nice gypsum crystals are found in the Alšar site, predominantly in its northern portion. Very nice 1 m thick gypsum crystals of variable sizes (white to transparent) develop because of the large amount of sulfides in dolomites after rainfall. Gypsum at the Alšar locality is spread over all types of ore and host rock. Single crystals are rather small with a typical flat habit. In large quantities, it appears as efflorescence on

wall rock and even on timbering. Stalactitic masses sometimes exceed 25 cm (RIECK, 1993).

### 33. Starkeyite, $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Starkeyite appears in the form of fibrous aggregates partly filling the space between realgar crystals (RIECK, 1993). The crystals have white colour with a silky sheen.

### 34. Rozenite, $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Rozenite occurs either in the form of white crusts of prismatic crystals or stalactitic aggregates. It is spread throughout the deposit on altered host rock and ore in association with other sulphate and arsenate minerals (melanterite, gypsum, fibroferrite and hornesite) (ZEBEC et al., 1993). Rozenite is the product of the decomposition of melanterite, pyrite and marcasite.

### 35. Epsomite

Beautiful present day epsomite crystals in the form of the white fibrous aggregates can be seen in the Alšar deposit (BERMANEC, 1999). In the old mine pits, because of the large presence of magnesium carbonates (dolomites) and sulfides in mutual reaction with water, very nice epsomite stalagmites have developed with the appearance of cave jewellery. It is associated with gypsum and with various sulfides and iron sulfates.

### 36. Melanterite, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

The mineral has been described as green crusts and stalactitic aggregates without observing the crystals (BARIĆ, 1958; ZEBEC et al., 1993). The crystals are greenish-blue, transparent and from 2 to 3 mm in size. In atmospheric conditions, melanterite decomposes in rozenite by losing three molecules of water. The authenticity of the studied mineral was confirmed by chemical analyses and X-ray investigations (ZEBEC et al., 1993).

### 37. Jarosite, $\text{KFe}^{3+}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

Jarosite occurrence in the Allchar locality is related to iron and sulfide mineralization. It is related to the transformation processes of iron minerals. Goethite often occurs in association with jarosite. It is usually associated with other sulfate minerals (MAKRESKI et al., 2005).

### 38. Dorallcharite, $(\text{Ti}, \text{K})_2\text{Fe}^{3+}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$

Dorallcharite appears as yellow earthy masses of submicroscopic crystals being found in the oxidation zone of the ore body (BALIĆ-ŽUNIĆ et al., 1993 & 1994). As a member of the alunite-jarosite family, it is isomorphous with jarosite. It

is often associated with an amorphous Fe-Mn sulfate–arsenate free of Tl. The mineral specimen is deposited in the Geological Museum of Copenhagen. Allchar is the type locality for this mineral.

#### 39. Fibroferrite, $\text{FeSO}_4(\text{OH})\cdot 5\text{H}_2\text{O}$

This mineral in Alšar paragenesis has been described as hemispheres of yellow fibres (RIECK, 1993). It is associated with hornesite, rozenite and gypsum on altered host rock in the vicinity of realgar veins.

#### 40. Wulfenite, $\text{PbMoO}_4$

Wulfenite was the first lead-bearing mineral discovered in the Alšar deposit (ŠOUFEK et al., 1998). Several authors have investigated the Pb content in Alšar minerals. Wulfenite crystals have been observed on one sample built of microcrystalline quartz aggregates that fill the cavities in stibnite–realgar ore bodies. Orange-yellow crystals of wulfenite up to 8 mm in size together with well-developed crystals of realgar have crystallised over such microcrystals of quartz. Wulfenite is obviously a very late mineral in this part of the ore body. The lead present in wulfenite is because of a previous decay of U and Th and not as a result of the transformations of  $^{205}\text{Tl}$  to  $^{205}\text{Pb}$  caused by neutrino interaction with Tl.

#### 41. Pharmacolite, $\text{CaHAsO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$

The presence of pharmacolite in this deposit was first reported in 1993 (RIECK, 1993). The

mineral was described as radiating an acicular coating on realgar, orpiment and host rock. Single crystals are rarely observed.

#### 42. Picropharmacolite, $\text{Ca}_4\text{Mg}(\text{AsO}_3\text{OH})_2(\text{AsO}_4)_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$

Picropharmacolite occurs as dense coatings with a maximum thickness of 0.5 mm along fracture surfaces (RIECK, 1993). Crystal sizes up to 50  $\mu\text{m}$  are bladed and give the specimen a silky white or colourless sheen. Occasionally, it appears in association of realgar and vrbaita.

#### 43. Hornesite, $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$

The crystals of hornesite are prismatic and elongated (RIECK, 1993). They are usually aggregated to crusts and stalactites being associated with other efflorescent minerals. It is sometimes intimately intergrown with gypsum.

#### 44. Quartz

Clear to milky crystals of quartz are found in the central zone of Allchar deposit. They are associated with stibnite and realgar reaching up to 2.5 cm in size. An appearance of quartz in the form of chalcedony and jasper is also evidenced (RIECK, 1993).

### REFERENCES

ARSOVSKI, M. (1962): Nekoi karakteritiki na tektonskiot assembly od centralniot del na Pelagonian horst-antiklinorium i negovata povznanost so Vardarskata zona [*Some characteristics of the tectonic assembly of central part of Pelagonian horst-antiklinorium and its relations with Vardar zone* – in Macedonian].– Geološki Zavod Skopje, Book of Papers, 7, 37–63.

BALIĆ-ŽUNIĆ, T., KARANOVIC, L., POLETI, D. (2008): Crystal Structure of picotpaulite,  $\text{TlFe}_2\text{S}_3$ , from Allchar, R. Macedonia.– Acta Chim. Slov., 55, 801–809.

BALIĆ-ŽUNIĆ, T., MÖELO, Y., LONČAR, Ž., MICHELSEN, H. (1994): Dorallcharite,  $\text{Tl}_{0.8}\text{K}_{0.2}\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_2$ , a new member of the jarosite-alunite family.– Eur. J. Mineral., 6, 255–263.

BALIĆ-ŽUNIĆ, T. & ŠČAVNIČAR, S. (1982): The crystal structure of rebulite,  $\text{Tl}_5\text{Sb}_5\text{As}_8\text{S}_{22}$ .– Z. Kristallogr., 160, 109–125.

BALIĆ ŽUNIĆ, T., STAFILOV, T., TIBLJAŠ, D. (1993): Distribution of thallium and the ore genesis at the Crven Dol locality in Alšar.– Geol. Maced., 7, 45–52.

BARIĆ, Lj. (1958): Neuuntersuchungen des loranditvorkommens von Mazedonien vergleicht der mineralvergesellschaftungen in den beiden bisher unbekannt fundorten des lorandits.– Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt., 38, 247–253.

BERMANEC, V. (1999): Sistematska mineralogija – mineralogija nesilikata [*Systematic Mineralogy – Mineralogy of Non-silicates* – in Croatian], Targa, Zagreb, 264 p.



- BOEV, B., STOJANOV, R., DENKOVSKI, G. (1993): Geology of Alshar polymetallic deposit, Geol. Maced., 7, 35–39.
- BOEV, B. (1988): Petroloski, geohemiski i vulkanski karakteristiki na vulkanskiti karpi of planinata Kozuf [*Petrological, geochemical and volcanological features of volcanic rocks of the Kozuf Mountain* – in Macedonian]. PhD Thesis, Faculty of Mining and Geology, Štip, SS. Cyril and Methodius University, Skopje, 195 p.
- BOEV, B. (1990/1991): Petrological features of the volcanic rocks from the vicinity of Alshar. – Geol. Maced., 5, 15–30.
- CAYE, R., PICOT, P., PIERROT, R., PERMINGEAT, F. (1967): Nouvelles donnees sur la vrbaite, sa teneur en mercure.–Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr., 90, 185–191.
- CECH, F. & JOHANN, Z. (1967): Indetite de l'allcharite et de la goethite.–Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr., 92, 99–100.
- CVETKOVIĆ, L., BORONIKHIN, V.A., PAVIĆEVIĆ, M.K., KRAJNOVIĆ, D., GRŽETIĆ, I., LIBOWITZKY, E., GIESTER, G., TILLMANN, E. (1995): Jankovičite,  $Tl_5Sb_9(As,Sb)_4S_{22}$ , a new Tl-sulfosalt from Allchar, Macedonia.–Mineral. Petrol., 53, 125–131.
- DICKSON, F.W., RADKE, A.S. (1978): Weissbergite,  $TlSbS_2$ , a new mineral from the Carlin-gold deposit, Nevada.– Am. Mineral., 63, 720–724.
- DOUGLASS, D. L., SHING, C.C., WANG, G. (1992): The light-induced alteration of realgar to pararealgar.– Am. Mineral., 77, 1266–1274.
- EL GORESY, A. & PAVICEVIC, M.K. (1988): A new thallium mineral in the Alshar deposit in Yugoslavia – Mineralogy, mineral chemistry and genetic relations of the Thallium-rich Mineral Associations.–Naturwissenschaften, 75, 37–39.
- ENGEL, P., NOWACKI, W., BALIĆ-ŽUNIĆ, T., ŠCAVNICAR, S. (1982): The crystal structure of simonite,  $TlHgAs_3S_6$ .–Z. Kristallogr., 161, 159–166.
- FOULLON H. Von (1890): Über antimonit und schwefel aus Macedonien.– Verh. der K.K. Geol. Reichs. Erschein., 1890, 318.
- FOULLON H. von (1892): Schwefel und realgar von Allchar.– Verh. der K.K. Geol. Reichs. Erschein., 1892, 171.
- FOULLON, H. von (1904): Realgar von Allchar in Macedonien.– Z. Kristallogr.Mineral., 39, 113–121.
- FRANTZ, E., PALME, H., TODT, W., EL GORESY, A., PAVIĆEVIĆ, M. K. (1994): Geochemistry of Tl-As minerals and host rocks at Allchar (Macedonia).– Neues Jahrb. Mineral., Abh., 167, 359-399.
- FREEDMAN, M.S., STEVENS, C.M., HORWITH, E.D., FUCHS, H., LERNER, J.S., GUDMAN, L.S., CHILDS, W.J., HESSLER, J. (1976): Solar neutrinos, proposal for a new test.– Science, 193, 1117–1118.
- GOLDSCHMIDT, V. (1899): Über lorandit von Allchar in Macedonien.– Z. Kristallogr., 30, 272–294.
- HOFMANN, R. (1891): Antimon- und arsenerzbergbau “Allchar” in Macedonien.–Öest. Zeitsch. Berg- Hütten., 39, 167–173.
- IVANOV, T (1963): Zonal Distribution of elements and minerals in the deposit Allchar.– Proceedings of the Symposium Problems of Postmagmatic Ore Deposition with Special Reference to the Geochemistry of Ore Veins, Prague, 2, 186–191.
- IVANOV, T. (1986): Allshar the richest ore deposit of Tl in the world.– The Feasibility of the Solar Neutrino Detection with  $^{205}Pb$  by Geochemical and Accelerator Mass Spectroscopical Measurements, Proceedings. Munich, Report GSI, 86–89.
- JANKOVIC, S., BOEV, B., SERAFIMOVSKI, T. (1997): Magnetism and tertiary mineralization of the Kozuf metalogenetic district, the Republic of Macedonia with particular reference to the Alshar Deposit.– University “St. Kiril and Metodij”, Skopje, 262 p.
- JANKOVIĆ, S., JELENKOVIĆ, R. (1994): Thallium mineralization in the Allchar Sb–As–Tl–Au deposit.– Neues. Jahrb. Mineral., Abh., 167, 283–297.
- JANNASCH, P. (1904): Analyse des lorandit von Allchar.– Z. Kristallogr., 39, 122–124.
- JEŽEK, B. (1912): Sur la vrbaite, un nouveau minérale du thallium d'Allchar en Macédoine.– Bull. Int. Acad. Sci. Bohème, ??, 1–12.
- JEŽEK, B. (1912): Vrbait, novi thallnaty mineral z Allcharu v Macedonii.–Rozpr. Čes.Akad. Věd Umění, 21, 1–12.

- JEŽEK, B. (1913): Allcharit, ein wahrscheinlich neues mineral.– Z. Krystallogr. Mineral., 51, 275–278.
- JEŽEK, B. (1913): Vrbait, ein neues thalliummineral von Allchar in Macedonien.– Z. Krystallogr. Mineral., 51, 365–378.
- JOHANN, Z., PICOT, P., HAK, J., KVACEK, M. (1975): La parapirotite, un nouveau mineral thallifere d'Allchar (Yougoslavie).–Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt., 22, 200–210.
- JOHANN, Z., PIERROT, R., SCHUBNEL, H.-J., PERMINGEAT, F. (1970): La picotpaulite,  $TlFe_2S_3$ , une nouvelle espèce minérale.– Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr., 93, 545–549.
- KRENNER, J.A. (1895): Lorandit, ein neues thallium-mineral von Allchar in Macedonien.– Math. és Term. tud Értesítő, 13, 258–263.
- Kamcevski, 2001: Кавадарци во делата на странските патописци, Кавадарци, 2001, 94-125
- KOCHNEVA, N. T., VOLKOV, A. V., SERAFIMOVSKI, T., TASEV, G., TOMSON, I. N. (2006): Tectonic position of the Alshar Au-As-Sb-Tl deposit, Macedonia.–Dokl. Earth Sci., 407, 175–178.
- KOLIOS, N., INOCENTI, F., MANETI, P., PECERRILLO, A., GIULIANI, O. (1980): The Pliocene volcanism of the Voras Mts.– B. Volcanol., 43, 553–568.
- KREHLIK, F. (1912): Analyza Vrbaitu.–Rozpr. Čes.Akad. Věd Umění, 21, 38–39.
- KREHLIK, F. (1913): Chemische Untersuchungen des Vrbait.–Z. Kristallogr.Mineral., 51, 379–383.
- KRENNER, J. A. (1895): Lorandit, ein neues thallium-mineral von Allchar in Macedonien.– Math. es term tud Ertesítő, 13, 258–263.
- LE MAITRE, R.W. (1989): A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the systematics of igneous rocks, Blackwell, Oxford, 193 p.
- LEPITKOVA, S. (1995): Petrološki karakteritiki na vulkansite karpí vo okolinata na Alšar so poseben osvrt na izotopite na olovo [*Petrologic features of the volcanic rock in the vicinity of the Allchar deposit with particular reference to lead isotopes* – in Macedonian]. MSc Thesis, Faculty of Mining and Geology, Štip, SS. Cyril and Methodius University, Skopje, 139 p.
- LIBOWITZKY, E., GIESTER, G., TILLMANN, E. (1995): The crystal structure of jankovičite,  $Tl_5Sb_9(AsSb)_4S_{22}$ .– Eur. J. Mineral., 7, 479–487.
- LIPPOLT, H.J., FUHRMANN, U. (1986): K-Ar age determination on volcanics of Alshar mine/Yugoslavia.– The Feasibility of the Solar Neutrino Detection with  $^{205}Pb$  by Geochemical and Accelerator Mass Spectroscopical Measurements, Proceedings. Munich, Report GSI, 86-89.
- LOCZKA J. (1904): Chemische analyse des lorandit von Allchar in Macedonien und des claudetit von Szomolnok in Ungara.– Z. Krystallogr., 39, 520–525.
- MAKOVICKY, E. & BALIĆ-ŽUNIĆ, T. (1998): Contributions to the crystal chemistry of thallium sulfosalts. IV. Modular description of Tl–As–Sb sulfosalts rebulite and jankovičite.– Neues Jahrb. Mineral., Abh., 174, 181–210.
- MAKRESKI, P., JOVANOVSKI, G., DIMITROVSKA, S. (2005): Minerals from Macedonia. XIV. Identification of some sulfate minerals by vibrational (infrared and raman) spectroscopy.– Vib. Spectrosc., 39, 229–239.
- MILETIC et. al, 1927: Тиквеш и Мариово-Спомени, Македонски преглед, Том 3, 35-45, Софиа
- NOWACKI, W. (1968): Über hatchit, lengenbachit und vrbait.– Neues Jahrb. Mineral., Monatsh., 102, 69–75 (1968).
- OHMASA, M. & NOWACKI, W. (1971): The crystal structure of vrbait,  $Hg_3Tl_4As_8Sb_2S_{20}$ .– Z. Kristallogr., 134, 360–380.
- PALME, H., PAVIĆEVIĆ, M.K., SPETTEL, B. (1988): Major and trace elements in some minerals and ore from Crven Dol, Allchar.– Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. Sec. A, 271, 314–319.
- PASAVA, J., PERTLIK, F., STUMPFL, E.F., ZEMANN, I. (1989): Bernardite, a new thallium arsenic sulphosalt from Allchar, Macedonia, with a determination of the crystal structure.– Mineral. Mag., 53, 531–538.
- PAVIĆEVIĆ, M. K. (1988): Lorandite from Allchar – A low energy solar neutrino dosimeter.– Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. Sec. A, 271, 287–296.

- PECCERILLO, A. & TAYLOR, S.R. (1976): Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey.–Contrib. Mineral. Petr., 58, 63–81.
- PERCIVAL, T.J. & RADTKE, A. (1990): Carlin-type gold mineralization in the Allchar district, Macedonia, Yugoslavia.– 8<sup>th</sup> Symposium of International Association on the Genesis of Ore Deposits, Book of Abstracts, Ottawa, 108.
- PERCIVAL, T.J. & RADTKE, A. (1994): Sedimentary rock-hosted disseminated gold mineralization in the Allchar district, Macedonia.– Can. Mineral., 32, 649–655.
- PERCIVAL, T.J., RADTKE, A., JANKOVIC, S., DICKINSON, F. (1990): Gold mineralization of the Carlin type in the Allchar district, Macedonia.– 8<sup>th</sup> Symposium of International Association on the Genesis of Ore Deposits, Book of Abstracts, Ottawa, 637–646.
- PERCIVAL, T. & BOEV, B. (1990): As-Tl-Sb-Hg-Au-Ba mineralization, Allchar District, Yugoslavia; A unique type of Yugoslavian ore deposit, Int. Symposium On Solar Neutrino Detection with <sup>205</sup>Tl., Yug. Soc. Nucl. Elemen. Pert. Phys., Dubrovnik, Book of Abstracts, 36-37.
- RIECK, B. (1993): Famous mineral localities: Allchar, Macedonia.– Mineral. Rec., 24, 437–449.
- STAFILOV, T. (1985): Zastapenost na retki i blagorodni metali vo arsen-antimonskata ruda od Alšar i možnost za nivno koncentriranje [*Representation of some rare and noble metals in arsenic-antimony ore from Alšar mine and the possibility of their concentration – in Macedonian*].– PhD Thesis, Faculty of Science, SS. Cyril and Methodius University, Skopje, 161 p.
- STAFILOV, T. & TODOROVSKI, T. (1987): Determination of gold in arsenic-antimony ore by flameless atomic absorption spectrometry.– At. Spectrosc., 8, 12–14.
- STIEGLITZ, H. (1990): Abenteuer Allchar.– Lapis, 15, 11–19.
- Surin N, 1927: Тиквеш и Мариово-Спомени (албум), 15-20 Софиа
- ŠOUFEK, M., BILLSTRÖ, K., TIBLJAŠ, D., BERMANEC, V. (1998): Distribution of lead isotopes in wulfenite from Allchar, Macedonia.– Neues Jahrb. Mineral., Monatsh., 10, 462–468.
- TROESCH & FRANTZ (1992): <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Alter der Tl-As Mine von Crven Dol, Allchar (Macedonia). Eur J Mineral 4: 276.
- VOLKOV, A. V., SERAFIMOVSKI, T., KOCHNEVA, N. T., TOMSON, I. N., TASEV, G. (2006): The Alšar Epithermal Au-As-Sb-Tl Deposit, Southern Macedonia.– Geol. Ore Deposits, 48, 175–192.
- VRBA, K. (1894): O nekterych mineralech z Allcharu v Macedonii.– Vestnik kr. České Spol. Nauk, Tr. Math. Prir. Pojedn., 48, ??–??.
- WILSON, J.R., GUPTA, P.K.S., ROBINSON, P.D., CRIDDLE, A.J. (1993): Fangite, Tl<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>, a new thallium arsenic sulfosalt from the mercur Au-deposit, Utah, and revised optical data for Gillulyite.– Am. Mineral., 78, 1096–1103.
- ZEBEC, V., BERMANEC, V., TIBLJAŠ, D. (1993): Melanterite and rozenite from Allchar mine, Macedonia.– Nat. Croat., 2, 83–88.

# МИНЕРАЛОШКИ И ХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА КЕРАМИЧКИТЕ ГЛИНИ ОД НАОЃАЛИШТЕТО ГРАДЕЦ, ВИНИЦА, Р. МАКЕДОНИЈА

Миле Илиев<sup>1</sup>, Орце Спасовски<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тондах, АД Македонија, Веница

<sup>2</sup>Факултет за природни и технички науки – Штип  
Универзитет Гоце Делчев

## Апстракт

Керамичките глини од наоѓалиштето Градец претставуваат една од најзначајните сировини на фабриката Тондах за производство на груба керамика. Имајќи го во предвид претходно споменатиот факт во последните неколку години извршени се бројни испитувања и истражувања со цел дефинирање на квалитетот на керамичките глини. Имајќи го во предвид значењето на керамичките глини од наоѓалиштето Градец во трудот ќе бидат прикажани резултатите од најновите истражувања на нивниот минералоски и хемиски состав.

**Клучни зборови:** Керамички глини, наоѓалиште Градец, груба керамика, минералоски состав, хемиски состав, квалитет.

## ВОВЕД

Наоѓалиштето Градец се наоѓа во источниот дел на Република Македонија јужно од градот Веница ограничен со река Осојница од северна и источна страна, линијата што ги поврзува селата Лески, Градец, Липец и Блатец од јужната страна и градско поле, односно долината на реката Брегалница од западната страна (Слика 1).

Наоѓалиштето просторно припаѓа во атарот на с. Градец, на оддалеченост од околу 10 km од Веница и на околу 1,0 km источно од селото Градец во рамките на плиоценските седименти.

Први геолошки испитувања на поширокиот терен датираат од времето на Турската империја во вид на географски и петрографски податоци (Ами Буе 1891). Во почетокот на дваесеттиот век значајни се трудовите на Цвијик (1906 – 1911), а покасно во времето на Првата светска војна на овој терен работат исклучиво Германски геолози. Во овој период значајни се работите Космат (1918 – 1924), Бончев (1920), Томиќ (1929 – 1940) и Павловиќ (1939 – 1940), Ивановски (1955), Пенџерковски и Ѓузеловски (1958), Кекиќ (1959) и Христов (1960). Ракичевиќ и Думурџанов (1958 – 1959) го картираат листот Штип, со кој во еден дел е опфатена и Веничка Општина. Авторите на овој лист детално го обработуваат литолошкиот состав на карпите од листот Штип, каде го

опишуваат составот на карпите со што се опфатени и глините од околината на Општината Веница.

Во текот на 1974 година од страна на Геолошки завод Скопје за потребите на фабриката Пролетер од Веница се вршени геолошки истражни работи и притоа се изучувани глините што се развиени во неогените седименти на површина од околу 30 km<sup>2</sup>

Како резултат на тие истражувања се оценети глините како перспективни за понатамошно подетално истражување, а особено наоѓалиштето Градец.

## ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

Во геолошката градба на наоѓалиштето Градец учествуваат микашисти, кварц – хлорит серицитски шкрилци, плиоценски седименти (глини, суглини и песоци) и пролувијални седименти (Слика 1).

Микашистите имаат мало распространување и главо се сретнуваат во средишните делови од истражуваниот терен.

Кварц-хлорит серицитските шкрилци се најмалку застапени и истите се сретнуваат само во југозападните делови од теренот.

Плиоценските седименти (глини, суглини и песоци) имаат најголемо

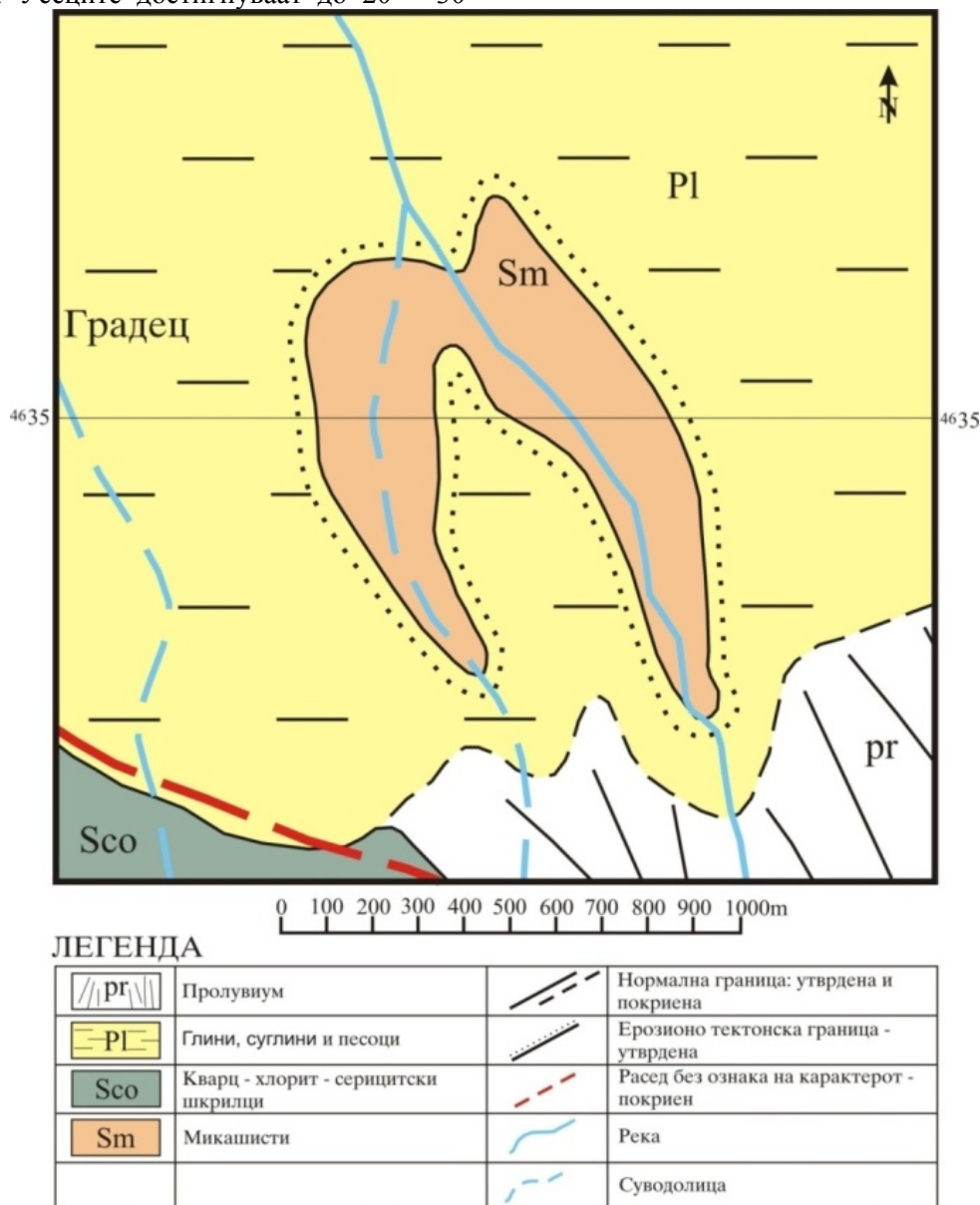
распространување од кои најмногу се застапени глините.

Глините од наоѓалиштето “Градец“ – с. Градец припаѓаат на плиоценските седименти распространети на северните падини на планината Плачковица. Овие глини претставуваат езерски седименти кои лежат трансгресивно и дискордантно преку еоценските седименти. Развиени се доволно широко на теренот особено во околината на Винаца и селата Липец, Градец и Блатец.

Југоисточно од селото Градец широко се распространети црвени полумасни глини измешани со пращиња на кварцни зрна и шкрилци. Глините се откриени во длабоките усеци и во некои вдлабнатини од каде месното население вадело глина за свои потреби. Усеците достигнуваат до 20 – 30

метри височина и истите се изградени од црвени и кафеаво црвени глини. Во профилот на овие глини во долните делови насекаде се забележуваат чакалесто-песокливи слоеви со дебелина 1–2 метри (Слика 8).

Североисточно од селото Градец на растојание од 1-1,5 km. во потокот што се влива во Виначка река, во усекот од десната страна на потокот се откриени три слоја од чиста полупластична кафеава глина. Дебелината на слоевите варира од 1-1,5 метри. Слоевите се наклонети кон североисток со паден агол од 30°. Слоевите на глина во профилот лежат преку чакалите и песоците чија општа дебелина изнесува 8-10 метри.



Слика 1. Геолошка карта на наоѓалиштето Градец

Во истиот поток на местото каде потокот се соединува со Виничка река постојат сиви и сиво-жолти карбонизирани глини со дебелина од 4 метри измешани со ситнозрнест песоков материјал (Слика 2).

Во околината на с. Липец се сретнуваат темно и светло-кафеави до светло жолти и црвени глини кои ги покриваат гнајсевите и микашистите. Откриени се полумасни и полупластични глини со мала дебелина, особено широко распространување имаат на локалитетот Иловица (северно од с. Липец). На локалитетите Раковица и Меанска река се откриени светло обоени песоков глини.



**Слика 2.** Профил на црвени и црвено - кафеави глини североисточно од селото Градец

Северно и североисточно од с. Блатец се развиени плиоценски наслаги претставени со различни типови на глини и песоци. Глините по боја се темно-кафеави, светло-кафеави и кафеаво-црвени. Глините припаѓаат на групата на полупластични и песоков глини помешани со песоков материјал и парчиња од цврсти карпи (кварц, гнајс и микашисти). На локалитетот Говедарски пат е откриена кафеаво - црвена, полумасна и песоков глина со присуство на кварцни зрна со големина од 0.5-2 mm. Во подлабоките делови на откриените профили сретнуваме песоков глини кои постепено поминуваат во ситнозрнести песоци.

Кафеави и темно - кафеави полупластични и песоков глини се откриени на локалитетот Грнчарка. Дебелината на глините од оваа локалност е поголема од 3 метри бидејќи во ископаниот истражен бунар од 3 метри е констатирано дека истите продолжуваат и во подлабоките делови.

## Минерален состав на глините

Минералниот состав на глините го сочинуваат: Глинестата супстанца, акцесорните минерали и примесите.

Примесите ги загадуваат глините. Тие можат да присуствуваат во значителни количини, како во крупните така и во ситните фракции и влијае на квалитетот на глините, често ја ограничуваат можноста за употреба на полседните во низа производи. Минералите-примеси настануваат или истовремено со глините или пак се секундарни и сврзани со процесите што се вршат после формирањето на глините. Некој примеси како на пример оксидите на железото можат да се примарни и секундарни.

Најраспространети примеси се:

**Кварц** – во вид на песок, или расеан во општата маса

**Хидрооксиди на железо** – лимонит, хидрогетит и хидрохематит кој се среќаваат во глините во вид на жички и гнезда, оолити и дендрити.

**Сулфиди на железо** – пиритот и маркезитот се обично во вид на кристали и конкреции од различна величина и ситна прашинаста состојба. Овие минерали прават пращаи и им придаваат на глините зелена нианса.

**Сферосидеритот** – прави во глините лоптици.

**Карбонатите** – на Ca и Mg често стварат во глините различни облици на тврди каменести парчиња, а се среќаваат и во прашинаста состојба.

**Гипс** – се среќава во облик на кристали, влакнести маси (селенит) и во прашинаста состојба.

**Огрански материи** – се среќаваат во глините често. Тие обично имаат билно потекло.

Од акцесорните минерали во глините се среќаваат: Турмалин, циркон, рутил, кријанит, магнетит, гранат, дистен, сфен, глауконит, илменит, топас, хематит, а исто така фелдспат, амфиболи, пироксени, лискуни и др. Овие минерали обично присуствуваат во глините во грубо – дисперзната фракција во количини во делови од процентот. Квалитетот на глините од нив не зависи.

Спектарот од бои кои ние го гледаме во глините е сврзано со содржината на

примесите претставени од соединенијата од железото, манганот и органските материи.

Железните оксиди во зависност од обликот на оксидот и неговата концентрација, им придаваат на глините розе, црвена, или кафеава боја. Оксидите на манганот ги бојат оксидите во кафеаво, а органските материи ги бојат глините во сиви-темно сиви и црни бои.

Како што погоре беше нагласено, во процесот на изведувањето на геолошката перспекција, освен изучувањето на глините од геолошка гледна точка, односно одредувањето на нивната геолошка позиција и материјален состав, глините се опробуваа со цел да им се изучи гранулометријата и

хемизмот, како и другите нивни физичко-механички особини.

### Хемиски состав на глините

Хемискиот состав на глините е одреден врз база на 10 направени хемиски анализи (Табела 1). Хемиски анализи има вршено од пробите на глините земени од наоѓалиштето Градец.

Глобално хемискиот состав на глините варира: SiO<sub>2</sub> од 53.92 до 64.46%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> од 17.42 до 24.42%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> од 6.78 до 11.60%; Na<sub>2</sub>O од 2.0 до 3.00; K<sub>2</sub>O од 1.10 до 1.80%; CaO од 1,06 до 3,75% и губиток при жарење од 1,88 до 5,81%

**Табела 1.** Хемиски состав на испитуваните проби во мас. %.

Пр.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	З.Ж.
1	60.0	19.32	9.58	2,35	0,12	1.20	2.5	5,02
4	55.92	20.80	11.60	2,16	0,68	1.40	3.0	4,02
6	55.40	23.32	8.78	3,08	1,31	1.10	2.0	5,00
7	53.92	24.42	9.60	2,82	0,14	1.20	2.0	5,81
10	64.46	17.42	7.18	2,50	1,02	1.30	2.0	4,12
16	62.32	24.12	6.78	1,06	0,04	1.40	2.40	1,88
19	59.00	19.32	8.78	3.10	0,31	1.60	2.0	5,80
26	61.00	19.62	7.98	2,19	1,42	1.40	2.40	3,54
28	58.64	20.82	6.98	3,75	1,16	1.60	2.40	4,45
29	60.56	19.80	7.98	2,34	1,20	1.80	2.50	3,92

Од хемиските анализи се гледа, дека глините имаат зголемена содржина на SiO<sub>2</sub> до 64.46% (теоретската содржина на SiO<sub>2</sub> изнесува за глините од 46 – 55% ). Спрема содржината на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> глините можат да се класифицираат кон полукиселите (до 24.42% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Зголемена е содржината на железните оксиди. Во некои проби содржината на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> достигнува и до 11.60%. Од тука е разбирлива обоеноста на глините во темно – кафеаво и црвено.

Содржината на вкупните карбонати (CaO) не е висока. Основно таа се движи до 3,75% што е во допуштени норми. Но ако се земе во предвид дека карбонатите се во дисперзна состојба, дури и зголемената содржина на карбонатите од над 3% нема да има некое поголемо влијание на печените производи. Главно е дека глините не содржат некои поголеми парчиња, гнезда или зрна од карбонати кои би

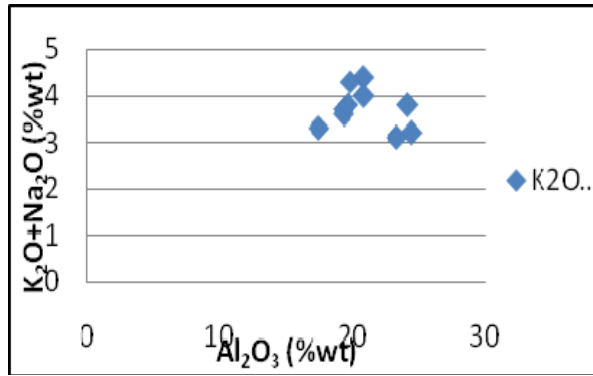
можеле штетно да влијаат врз печената глина.

Врз основа на резултатите од хемиските анализи од Табела 1 направени се следните

дијаграми за содржините: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

На двокомпонентните дијаграми се прикажани вистинските вредности на содржините на оксидите, за споредување е користена содржината на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, како една од основните компоненти како за генетските така и за технолошките особини.

На дијаграмот (слика 3) се забележува групирање на податоците во делот кој одговара на илитските глини со содржини на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> во границите од 17.42 до 24.42%, и алкалии под 4.5%. Ваквиот сооднос на овие компоненти укажува на зголемено присуство на илитската компонента, као и можно присуство на фелдспати.

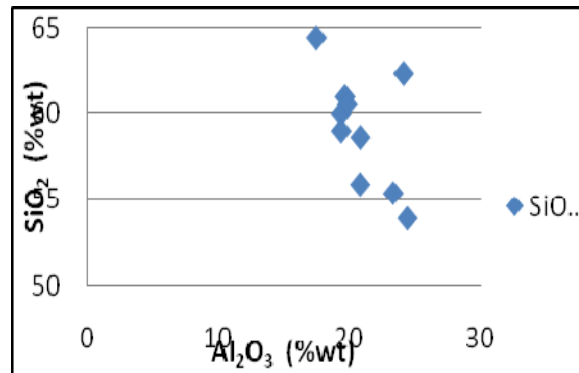


Слика 3. Двокомпонентен дијаграм  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  за содржините на основните хемиски елементи

Односот  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  покажува одредени варирања кои веројатно се резултат на различното присуство на илитот, но и мусковитот, како и фелдспатот.

Од дијаграмот  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  (слика 4) генерално можат да се издвојат две врсти на глини и тоа глини со содржина на

алуминиум од 17.42 до 20.82 и содржини на силициум 58.64 до 64.46%, и глини со содржина на алуминиум 20.80 до 24.42 и содржини на силициум од 53.92 до 55.92%.



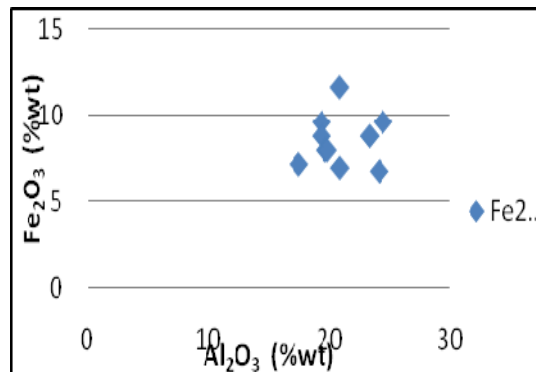
Слика 4. Двокомпонентен дијаграм  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  за содржините на основните хемиски елементи.

Зголемените содржини на силициумот во глините веројатно е резултат на присуството на значајни количини на кварц.

Односот  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$  покажува неуедначени вредности што веројатно се должи на различното присуство на кварц и минерали на глината.

Од приложениот дијаграм  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  (слика 5) генерално може да се констатира

дека не постојат поголеми варијации по однос на содржините на анализираните соединенија. Имено содржината на  $\text{Al}_2\text{O}_3$  се движи во границите од 17.42 до 24.42%, додека содржините на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  се движат во границите од 6.78 до 11.60%. Високите содржини на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  веројатно се поврзани за седиментационите услови.



Слика 5. Двокомпонентен дијаграм  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  за содржините на основните хемиски елементи.



## ЗАКЛУЧОК

Минералниот состав на глините го сочинуваат: Глинестата супстанца, акцесорните минерали и примесите.

Најраспространети примеси се: кварц, хидрооксиди на железо, сулфиди на железо, гипс и органски материи.

Од акцесорните минерали во глините се сретнуваат: турмалин, циркон, рутил, кријанит, магнетит, гранат, дистен, сфен, глауконит, илменит, топаз, хематит, а исто така фелдспат, амфиболи, пироксени, лискуни и др.

Хемискиот состав на глините варира:  $\text{SiO}_2$  од 53.92 до 64.46%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  од 17.42 до 24.42%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  од 6.78 до 11.60%;  $\text{Na}_2\text{O}$  од 2.0 до 3.00;  $\text{K}_2\text{O}$  од 1.10 до 1.80%;  $\text{CaO}$  од 1,06 до 3,75% и губиток при жарење од 1,88 до 5,81%

Глините имаат зголемена содржина на  $\text{SiO}_2$  до 64.46% (теоретската содржина на  $\text{SiO}_2$  изнесува за глините од 46 – 55% ). Спрема содржината на  $\text{Al}_2\text{O}_3$  глините можат да се класифицираат кон полукиселиците (до 24.42%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Зголемена е содржината на железните оксиди. Во некои проби содржината на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  достигнува и до 11.60%. Од тука е разбирлива обоеноста на глините во темно – кафеаво и црвено.

Содржината на вкупните карбонати ( $\text{CaO}$ ) не е висока. Основно таа се движи до 3,75% што е во допуштени норми.

## ЛИТЕРАТУРА

Бончев, Г., 1920: Петрографско-минерални изучувања во Македонија. Сборник на Българската Академија на науките. Кн. 13 – Софија.

Вакањац, Б., 1992: Геологија лежишта неметаличних минералних сировина. Рударско – геолошки факултет Београд, Катедра економске геологије, Посебна издања бр. 4, Београд, 323 стр.

Думурџанов, Н., Христов, С., Павловски, Б., Иванова, В., 1976: Толкувач за основната геолошка карта на Република

Македонија за листот Штип, ОГК СФРЈ 1 : 100 000, Геолошки завод Скопје;

Илиќ, М., 1995: Истражување лежишта неметала - граѓевинских материјала. Друго изменено и допуњено издање. Рудаско – геолошки факултет, Београд.

Илиќ, М., 2003: Методите истражувања лежишта неметаличних минералних сировина. Рудаско – геолошки факултет, Београд.

Kossmat, F., 1918: Mittellungen uber den geologischen bau von Mittelmazedonien. Verh, Sachs. Ges. Wiss., Leipzig.

Мирчовски, В., Спасовски, О., Ковачевска Л., 2000: Огноотпорни и керамички глини од наоѓалиштето “Подуово” во близина на Пехчево, Источна Македонија. ИИ конференција о минералним сировинама, нивовој експлоатацији, керамичкој и опекарској производњи, Комсеко, Будва.

Мирчовски, В., Спасовски, О., Илиев, М., 2003: Керамички глини од оризовите ниви во атарот на Јакимовско поле во околината на Веница, Источна Македонија. III Конференција о минералним сировинама, нивовој експлоатации, керамичкој и опекарској производњи. Кањица.

Пенџерковски, Ј., Ѓузелковски, Д., 1958: Извештај за геолошкото картирање на теренот Плачковица (листови 1 и 3). Стручен фонд на Геолошки завод – Скопје.

Ракичевиќ Т., Ковачевиќ, М., 1973: Основа геолошка карта на СФРЈ 1 : 100 000 лист Делчево, Геолошки завод Скопје;

Ракичевиќ, Т., Думурџанов, Н., Петковски, П., 1976: Основа геолошка карта на СФРЈ 1 : 100 000 лист Штип, Геолошки завод Скопје;

# IR SPECTROSCOPICAL CHARACTERISTICS OF METAMICT ALLANITE-(CE)

Andrea Čobić<sup>1</sup>, Nenad Tomašić<sup>1</sup>, Vladimir Bermanec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Science, Institute of Mineralogy and Petrology, Horvatovac 95, Zagreb, Croatia, [ancobic@geol.pmf.hr](mailto:ancobic@geol.pmf.hr)

## Abstract

Metamict samples of allanite-(Ce) were recrystallized in hydrothermal conditions at 150°C for 2, 5 and 24 h. The recrystallization of metamict samples was rapid and complete, without the appearance of additional phases when heated for 2 and 5 h, but when heated for 24 h, the structure is disturbed. The disturbance can be attributed to enhanced oxidation of different elements, most notably Fe<sup>2+</sup> and Ce<sup>3+</sup>. Infrared spectroscopy and X-ray powder diffraction methods were coupled in investigating untreated and treated samples of crystallized epidote and metamict allanite-(Ce).

**Key words:** allanite, metamictization, hydrothermal recrystallization, IR, XRPD

## INTRODUCTION

Allanite is a mineral of the epidote group, allanite subgroup (general formula: A<sub>2</sub>M<sub>3</sub>[T<sub>2</sub>O<sub>7</sub>|TO<sub>4</sub>](O,F)(OH,O), with A=Ca, REE, Mn, Fe<sup>2+</sup>, Pb, Sr, Th and U; M=Al, Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Mn<sup>3+</sup>, Ti and Mg; T=Si, Al) (Armbruster *et al.*, 2006 [1]). The structure of allanite consists of M2 octahedra chains and complex M1-M3 octahedra chains parallel to crystallographic axis *b* which are interconnected to SiO<sub>4</sub> and Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> groups. Vacancies are formed between M chains and silicate groups where big cations can accommodate: A1 in coordination 9 and A2 in coordination 10 (Dollase, 1971 [2]) (fig. 1).

Members of allanite subgroup are usually metamict due to decay of radioactive elements and their complex chemical composition and structure (Čobić *et al.*, 2010 [3]). Metamict allanite recrystallizes at 650°C when heated in air, but decomposes to simple oxides and silicates (Berman, 1955 [4]) due to the loss of structurally bonded OH groups at temperatures above 1000°C, also when heated in air. Hydrothermal recrystallization of metamict allanite-(Ce) yields a rapid and complete recovery of structure at low temperatures (150°C) and in short periods of heating (2 and 5 h) which is related to the retention of OH groups available because of the aqueous environment (Čobić *et al.*, 2010 [3]). The aim of this study is to determine the behavior of samples when heated for longer periods of time (24 h) at the same temperature

(150°C) using IR spectroscopy and XRPD methods and to compare IR spectra of crystallized sample of epidote and metamict sample of allanite-(Ce).

## EXPERIMENTAL METHODS

Samples of metamict allanite-(Ce) (MEX2\_RT) from ElMuerto pegmatite, Oaxaca, Mexico and sample of natural epidote from Ivančica Mountain, Croatia (Ep\_RT) were ground in agate mortar and treated in Perkin\_Elmer autoclave. The samples of allanite-(Ce) were heated together with distilled water at 150°C for 2 (MEX2\_AK1), 5 (MEX2\_AK2) and 24 h (MEX2\_AK3).

X-ray powder diffraction analyses were collected using Philips PW 3040/60 X'Pert PRO diffractometer with a Cu tube used at 45 kV and at a current 40 mA. The step size was 0.02° and the counting time per step was 2sec. XRPD pattern analyses were performed using X'Pert HighScore Plus software (Panalytical, 2004 [5]).

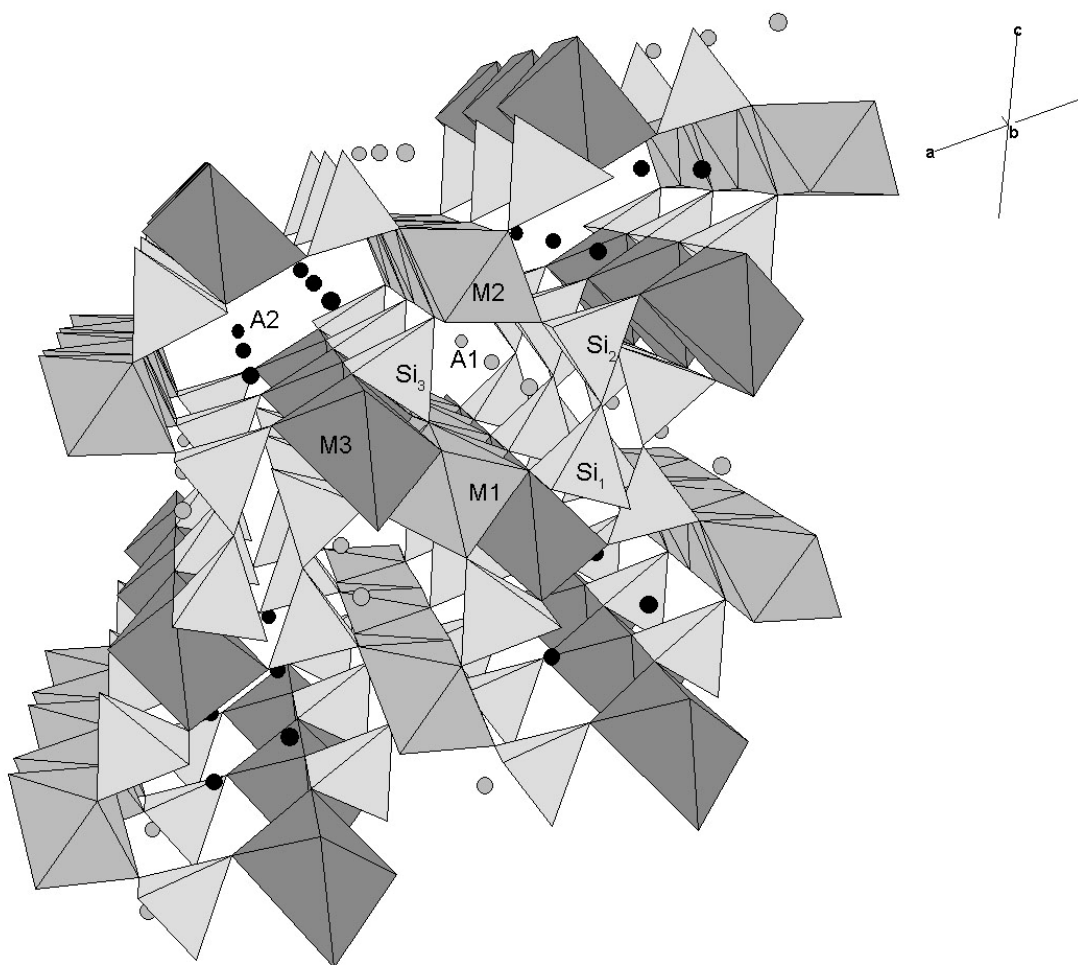
Infrared transmission spectra of powdered samples embedded in KBr pellets were collected using Bruker TENSOR 27 FT-IR spectrometer in the range 4000 – 375 cm<sup>-1</sup>. IR spectra were analyzed using OPUS 6.5 software. Atmospheric compensation and baseline corrections were performed for every spectrum. Additionally, a spectrum of KBr was subtracted from each sample spectrum.

## RESULTS AND DISCUSSION

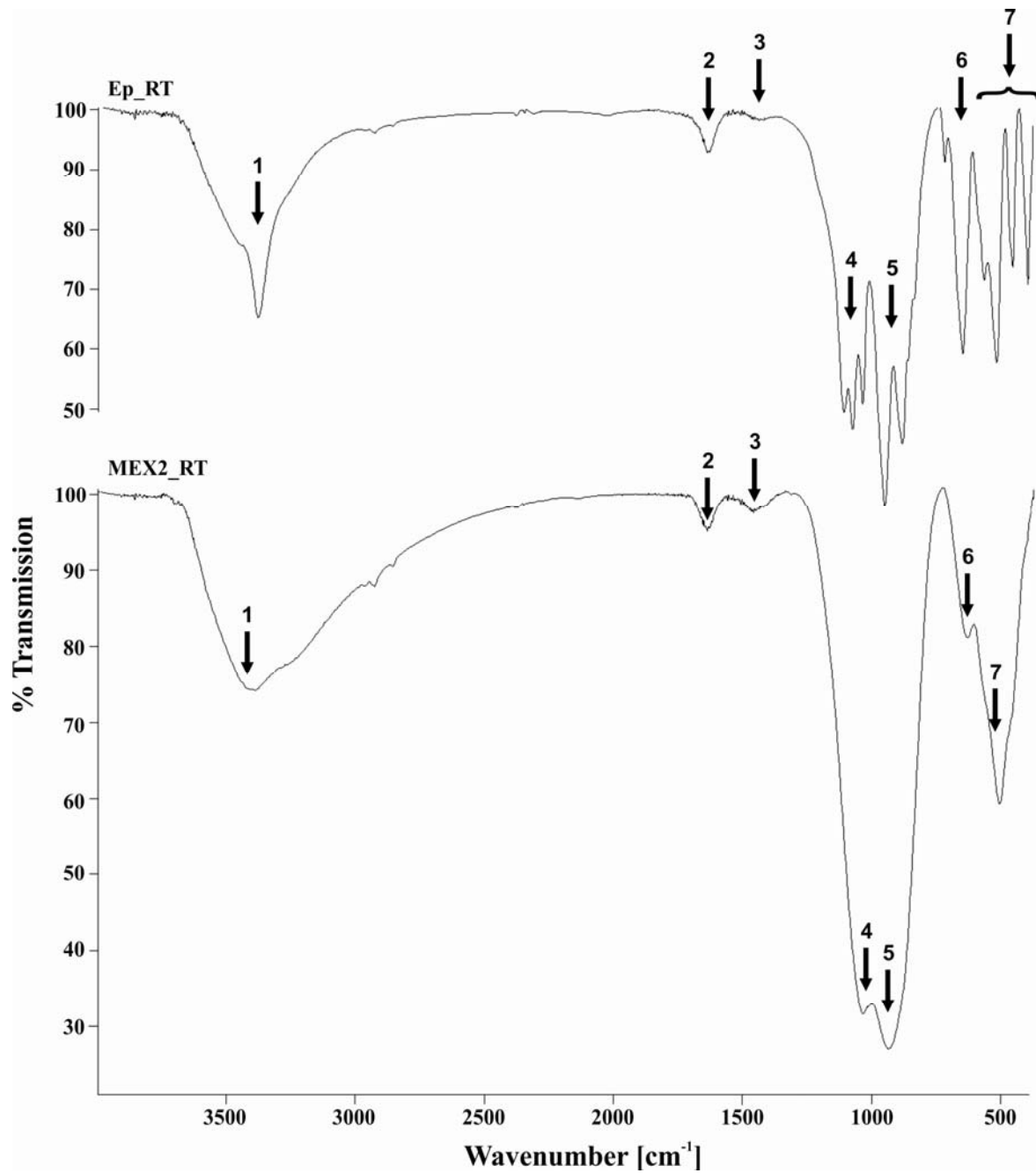
The IR spectra of epidote and allanite-(Ce) samples are similar, but allanite-(Ce) (MEX2\_RT) spectra show broader bands on the contrary to epidote spectra (fig. 2). All observed bands in allanite-(Ce) spectra are much broader than in epidote. Broad bands in allanite-(Ce) are split in very sharp multiple bands in epidote spectra. These broad bands, which appear in allanite spectra, are a consequence of metamictization.

No rigorous band assignment of epidote group minerals has been performed so far (Liebscher, 2004 [6]), but nevertheless, some bands have been assigned to particular vibrational groups (Langer & Raith, 1974 [7]; Bradbury & Williams, 2003 [8]). Following their band assignment and similarities of epidote and allanite crystal structure, IR bands could be assigned according to the same pattern (Figs. 2

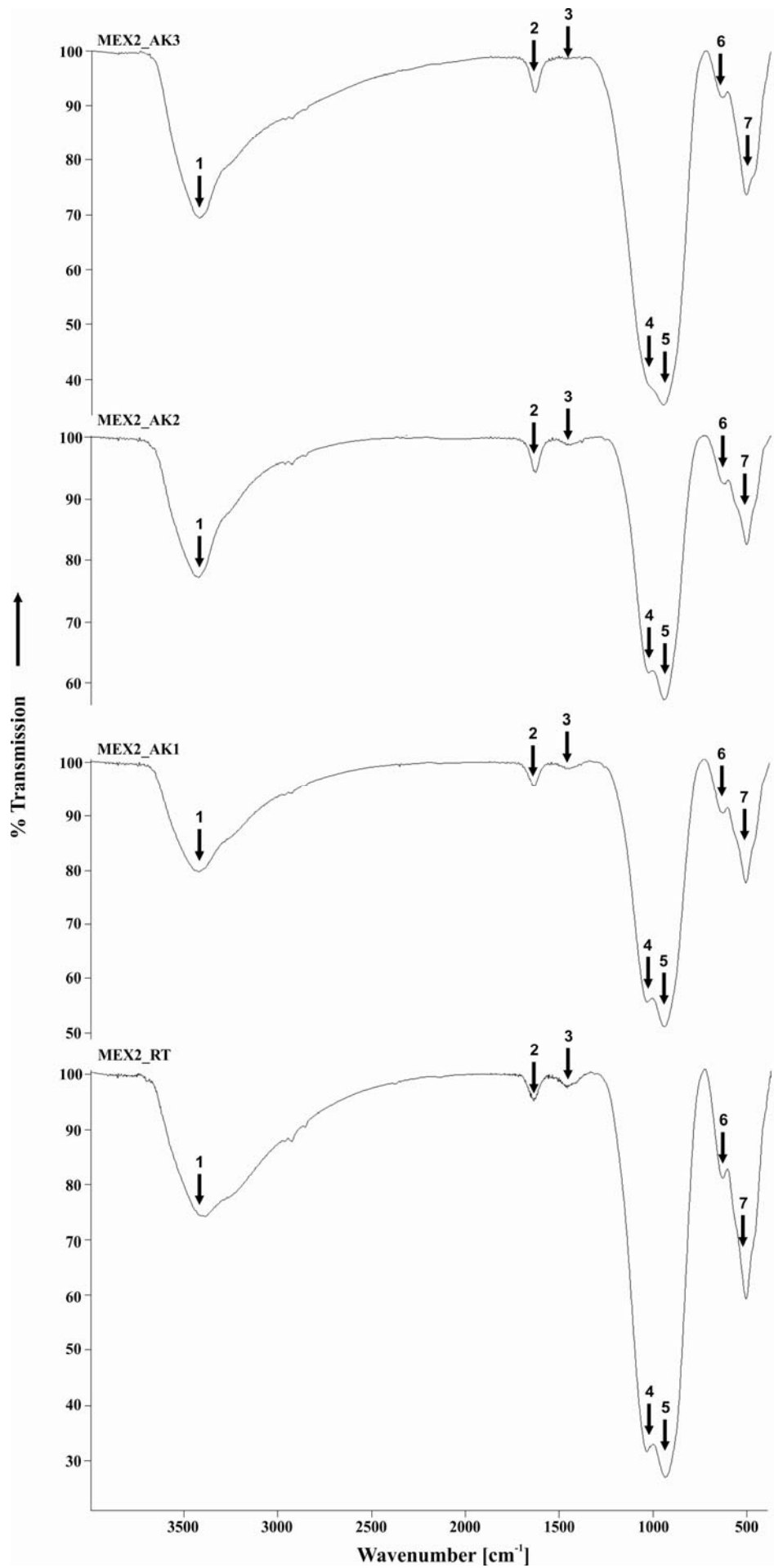
and 3, table 1). The main OH<sup>-</sup> vibrational band (band 1) is in the 3500-3300 cm<sup>-1</sup> region. Bands 4 and 5 (in region 1050-900 cm<sup>-1</sup>) can be assigned to Si-O vibrations of the Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> group and the single SiO<sub>4</sub> tetrahedron. Band 6, in region ~650 cm<sup>-1</sup>, could be assigned also to Si-O vibrations although Bradbury & Williams (2003) [8] assign it either to Si-O vibration or Al-O stretching. Band 7 (~505 cm<sup>-1</sup>) is probably due to M-O vibrations within different octahedral chains. Bands 2 (~1630 cm<sup>-1</sup>) and 3 (~1450 cm<sup>-1</sup>) could be assigned to H-O-H scissoring. This water appears in metamict minerals as adsorbed water. If the IR spectra of epidote (Ep\_RT) and allanite (MEX2\_RT) are compared, it is obvious that the most distorted positions in structure are M and T positions (fig. 1) which is evident by the lack of sharp bands in allanite spectra (fig. 2).



**Figure 1.** Crystal structure of epidote group minerals (Dollase, 1971)



**Figure 2.** Comparison of IR spectra of natural, crystallized epidote sample (Ep\_RT) and metamict sample of allanite-(Ce) (MEX2\_RT) at room temperature



**Figure 3.** Comparison of IR spectra of untreated (MEX2\_RT) and hydrothermally treated allanite-(Ce) samples (MEX2\_AK\_1, MEX2\_AK\_2 and MEX2AK\_3). Band numbers refer to those in table 1.

**Table 1.** Position of bands (in  $\text{cm}^{-1}$ ) in IR spectra of allanite and epidote samples

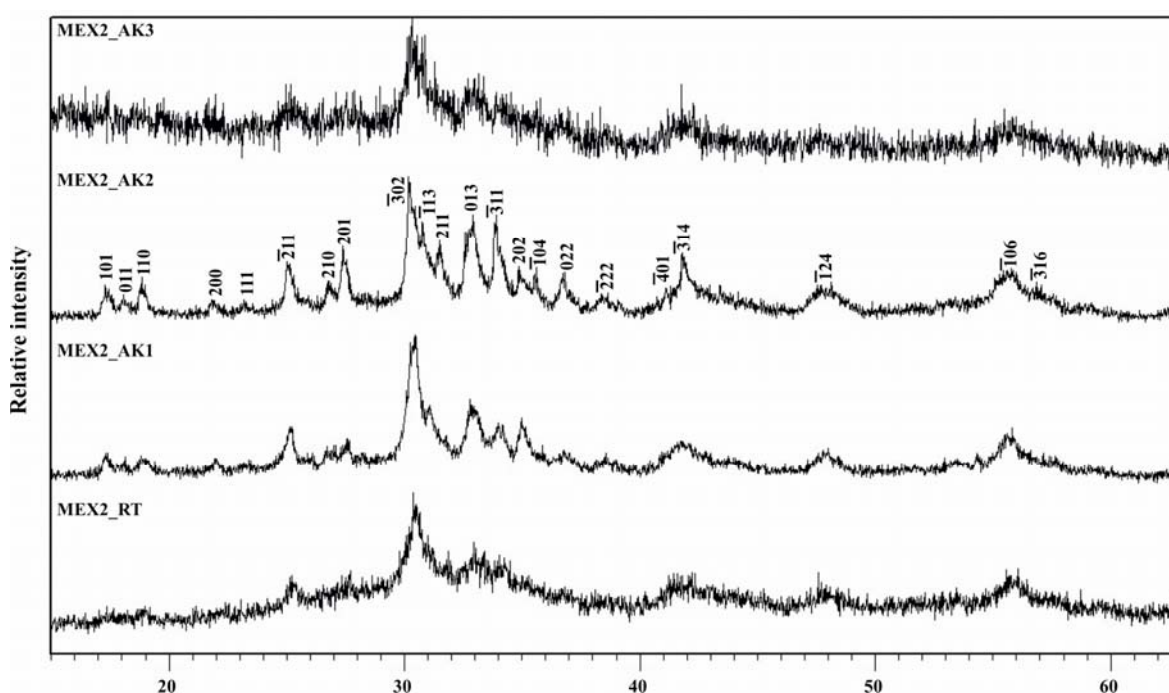
Sample	MEX2_RT	MEX2_AK1	MEX2_AK2	MEX2_AK3	Ep_RT
Band 1	3385.80	3418.44	3424.81	3423.56	3375.82
Band 2	1636.18	1632.41	1631.73	1630.50	1636.25
Band 3	1457.64	1452.09	1452.09	-	1429.58
Band 4	1033.96	1032.36	1029.77	-	1107.76 1074.19 1034.85
Band 5	935.33	940.47	946.20	947.50	950.25 881.54
Band 6	630.16	628.99		629.86	717.81 647.54
Band 7	505.00	506.39	508.48	506.25	565.46 516.58 454.30 395.89

IR spectra of hydrothermally treated allanite for 2 (MEX2\_AK1) and 5 h (MEX2\_AK2), when compared to untreated metamict allanite sample (MEX2\_RT; fig. 3), show slight recrystallization of the crystal structure. This is evident by narrowing of bands, especially bands 1 and 2. Contrary to that, allanite sample hydrothermally treated for 24 h at the same temperature (MEX2\_AK3) shows broadening (bands 4, 5, 6 and 7) (fig. 3). This implies that the crystal structure becomes imperfect again, probably due to oxidation of certain elements which occupy M and T positions. Since these bands can be attributed to Si-O, Al-O or M-O stretching, the elements which can readily be oxidized are most probably  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Ce}^{3+}$  in M3 and A2.  $\text{Fe}^{2+}$  occupies M3 position and  $\text{Ce}^{3+}$  A2 position which are directly linked in

the crystal structure of the epidote group minerals (fig. 1) and thus oxidation of both elements influence the stability of the crystal structure.

XRPD patterns confirm the conclusions which are drawn from the IR spectra (fig. 4). The hydrothermal treatment of samples for 2 (MEX2\_AK1) and 5 (MEX2\_AK2) hours induces recrystallization of allanite structure yielding sharper diffraction maxima of higher intensities. Diffraction pattern of samples treated for 24 h (MEX2\_AK3), in the same hydrothermal conditions, depict diffraction maxima which are broader and of less intensity (fig. 4).

Thus, hydrothermal recrystallization at low temperatures (as low as  $150^\circ\text{C}$ ) and for shorter periods of time (2 and 5 h) yields rapid recovery of the crystal structure, but

**Figure 4.** Comparison of XRPD spectra of untreated and hydrothermally treated allanite samples

treatment for a longer period of time (24 h) at the same temperature provokes oxidation of different elements and disruption of the crystal structure. Further steps in investigating processes of complete recovery of metamict minerals which contain either OH<sup>-</sup> groups or crystal water would be to treat them in controlled redox conditions employing higher temperatures during shorter periods.

## REFERENCES

- (Armbruster *et al.*, 2006): Armbruster, Thomas, Bonazzi, Paola, Akasaka, Masahide, Bermanec, Vladimir, Chopin, Christian, Giere, Reto, Heuss-Assbichler, Soraya, Liebscher, Axel, Menchetti, Silvio, Pan, Yuanming, Pasero, Marco 2006: Recommended nomenclature of epidote – group minerals. *European Journal of Mineralogy*, 18, 551 – 567.
- (Dollase, 1971): Dollase, Wayne A. (1971): Refinement of the crystal structures of epidote, allanite and hancockite. *American Mineralogist*, 56, 447 – 464.
- (Čobić *et al.*, 2010): Čobić, Andrea, Bermanec, Vladimir, Tomašić, Nenad, Škoda, Radek 2010: The hydrothermal recrystallization of metamict allanite-(Ce). *The Canadian Mineralogist*, 48, 513-521.
- (Berman, 1955): Berman, Joseph 1955: Identification of metamict minerals by X-ray diffraction, *American Mineralogist*. 40, 805 – 827.
- (Panalytical, 2004): Panalytical 2004: X'Pert High Score Plus, version 2.1, Panalytical, Almelo, The Netherlands.
- (Liebscher, 2004): Liebscher, Axel 2004: Spectroscopy of Epidote Minerals. In: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Epidotes*, Mineralogical Society of America. 56, 431 – 493.
- (Langer & Raith, 1974): Langer, K. & Raith, Michael 1974: Infrared Spectra of Al-Fe(III)-Epidotes and Zoisites,  $\text{Ca}_2(\text{Al}_{1-p}\text{Fe}^{3+}_p)\text{Al}_2\text{O}(\text{OH})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]$ . *American Mineralogist*, 59, 1249-1258.
- (Bradbury & Williams, 2003): Bradbury, Scott Edwin & Williams Quentin 2003: Contrasting bonding behaviour of two hydroxyl-bearing metamorphic minerals under pressure: Clinozoisite and topaz. *American Mineralogist*, 88, 1460-1470.

# COLLOIDAL ORIGIN OF COLLOFORM-BANDED TEXTURES IN THE LOW-SULFIDATION, SEDIMENTARY ROCK-HOSTED AU-AG KHAN KRUM (ADA TEPE) DEPOSIT, SE BULGARIA

Irina Marinova<sup>1</sup>, Rositsa Titorenkova<sup>1</sup>, Valentin Ganev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Mineralogy and Crystallography, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 107, 1113 Sofia, Bulgaria, irimari@gmail.com*

## Abstract

The paper presents data on both colloform-banded macro- and micro-texture from the Au-Ag Khan Krum deposit. The macro-texture characterises with obscured boundaries of bands, a finer inner banding, a strongly prevailing random-grain fabrics of quartz and adularia, re-crystallization of quartz and adularia, pores of syneresis lined with comb quartz and adularia, and presence of feathery and fibrous quartz that is why we presume formation from colloidal solutions resulted most probably from intense boiling of fluids. For the micro-banding of bonanza electrum we suppose deposition from more concentrated colloidal solutions than that in the macro-bands, most likely due to extreme boiling of fluids in open or quasi open hydrothermal system. The dendrite- and chain-like electrum aggregates, as well as the oval clots are related to reorientation of aggregated electrum globules during plastic deformation of a mixed ore-silicate gel for the high angles of the veins. Electrum has not been deposited into pores and cracks of syneresis, what indicates that it had been a sol. For the dense sprinkles of electrum globules on the surfaces of some bands, we infer condensation of gaseous phase separated during the boiling of fluids.

**Key words:** colloform-banded textures, cracks and pores of syneresis, electrum, adularia, vein quartz

## INTRODUCTION AND PROBLEM

The detailed studies of colloform textures by Grigor'ev [1], Lebedev [2], Roedder [3], etc., have revealed that these textures could form either via crystallization from true solutions or via crystallization and re-crystallization from gels. Additionally, it is well known that the crystallization and diagenesis of gels erase their colloidal stage. Thus, when the colloform textures have been formed by a primary deposition of opal or chalcedony it is very difficult to decipher their origin due to the crystallization of opal and chalcedony into the more stable quartz (Herdianita et al. [4]). In these cases only some textural and morphological features of the metacolloidal minerals testify to their colloidal origin.

First illustrations of colloform-banded textures from the Khan Krum deposit have been presented by Marchev et al. [5] and Jeleu [6], who outlined their bonanza gold grades and displayed visible gold. Marchev et al. [5] have accepted colloidal origin of these textures based on the presence of opal and dendritic gold. Later, Marinova [7] has pointed that high-grade electrum in the colloform-banded textures is deposited in their finest quartz-adularia bands, forms aggregates without own

crystal faces, and can be related to intense boiling of hydrothermal fluids.

The objective of this paper is to describe the mineral composition, textural and morphological features of colloform-banded textures from the Khan Krum deposit, as well as to advance reliable arguments in favour of their colloidal origin.

## MATERIAL AND METHODS

The studied hand specimens of colloform-banded textures were collected in 2007 and 2008, and came from 10 bonanza high-angle veins cropping out mainly on the summit of the Ada Tepe ridge. The textural and morphological investigations were fulfilled with a stereomicroscope, a conventional polarizing optical microscope, and a scanning electron microscope (SEM) in secondary electrons at a voltage of 25 kV. For identifying the silica phases, powder samples were investigated using the powder X-ray diffraction method by a Dron-3M diffractometer operating at  $\lambda=0.17903$  nm (cobalt radiation), 35 kV, 25 mA and with an iron filter for the range from 8 to 70° 2 $\theta$ . For identifying the micro-sized apparently isotropic silica vibration spectroscopy was applied on polished thin sections. Micro-



Raman spectra were recorded by a LabRam Jobin-Ivon spectrometer equipped with an Olympus BX41 microscope and a He-Ne laser at wavelength of 633 nm. The beam power on the sample surface was 0.7 W, while the spectral resolution was 2  $\mu\text{m}$ . For identifying of water in bonanza micro-bans we used Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) by FTIR Tensor-37 spectrometer coupled with Hyperion 2000 infrared microscope. Specular reflectance spectra in the range 4000-500  $\text{cm}^{-1}$  from 100x100  $\mu\text{m}$  selected areas of the sample surface were measured using a Schwarzschild objective (x15).

## GEOLOGY

The Khan Krum deposit is located in the Eastern Rhodope Mountain, SE Bulgaria. The deposit has been discovered and explored by Balkan Mineral and Mining. The Khan Krum deposit comprises most of the precious-metals reserves of the Krumovgrad goldfield: 25 t gold at 5.07 g/t grade and 13 t silver at 2.7 g/t grade, amounts intended to be taken-by using open-pit mining (Jeleu [6]). The regional and local geology are described in detail by Marchev et al. [5], Jeleu [6], Marinova [7], Marton et al. [8]. That is why here are cited only the main characteristics of the deposit and some newly published data. The Khan Krum deposit is situated on the summit of the Ada Tepe ridge, in the upper plate of the regional low-angle Tokachka detachment fault (Bonev [9]). The host rocks are Maastrichtian-Paleocene breccia-conglomerates, breccias and sandstones filling the East-Rhodopian Paleogene Depression (Goranov et al. [10]), which lies on the northern periphery of the extensional Kessebir gneiss dome (Bonev [11]). The Au-Ag mineralization is covered by non-mineralized Upper-Eocene sediments (Jeleu, Hasson [12]). The Kessebir dome comprises metamorphic rocks of two structural complexes – lower and upper (Bonev [11]). The age of protoliths of the upper complex (amphibolites, gneisses, schists, marbles, ultramafites), determined by U-Pb LA-ICP/MS zircon geochronology, is Ordovician (Bonev et al. [13]). The Rb-Sr ages of  $328 \pm 25$  Ma (Carboniferous) were obtained for the lower complex, dominated by igneous protoliths (Peycheva et al. [14]). The isotopic ratio  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  for metamorphic rocks from

the lower complex indicates a cooling process via exhumation through detachment faulting down to 350° C, happened in a period between  $37.28 \pm 0.19$  Ma and  $36.90 \pm 0.16$  Ma. The sedimentary rock-hosted gold-silver mineralization had developed from  $35.36 \pm 0.021$  Ma to  $34.71 \pm 0.016$  Ma. Thus, the earliest known calc-alkaline type magmatism at the near-by Iran Tepe volcano ( $33.97 \pm 0.36$  Ma to  $34.62 \pm 0.46$  Ma) almost coincides with the end of the hydrothermal mineralization (Marton et al. [8]). A study of Bonev et al. [15] has presented similar values for the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages.

The mineralization of the Khan Krum deposit is epithermal, low-sulfidation, with electrum being the only economic mineral (Kunov et al. [16]; Marchev et al. [5]; Jeleu [6]; Marinova [7]). The fluids have been of temperature 250-220° C; of low salinity (Marton et al. [17]), and dominated by meteoric water, partly re-equilibrated with metamorphic and magmatic basement rocks (Moritz et al. [18]). The hydrothermal alteration of the host rocks is of fault-controlled adularia-sericite type (Kunov et al. [16]).

The styles of mineralization include: 1) low-angle layer-like bodies of replacement; 2) stockwork bodies, and 3) high-angle open-space filling veins.

## RESULTS AND DISCUSSION

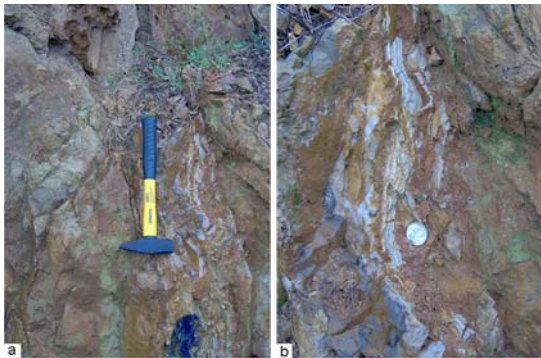
### Colloform-banded macro-texture

#### *Field, macroscopic, and stereomicroscopic observations*

The studied colloform-banded veins reach maximum width of 50 cm, but usually they are only a few centimetres wide, and are presented by alternating bands coloured milky, water-clear, pale-grey, and pale-beige. The width of the individual bands varies commonly from a few millimetres up to several centimetres (Fig. 1, 2). When observed by naked eye, the bands display clear, sharp boundaries, which are healed and sealed, and porcelain-like appearance. The colloform-banded veins are highly cracked as the filled cracks are healed and sealed reflecting the significant role of hydraulic fracturing (Phillips [19]) in the development of the colloform-banded veins; the multiple cross-cutting relations of veinlets being an evidence for multiple episodes of hydraulic fracturing and mineral deposition. Stockwork cracks of some bands do not pass

into the next bands, thus displaying the formation of individual bands one after another (Fig. 2).

A characteristic feature of the colloform-banded texture is the rounded, botryoidal surfaces of the individual bands. The bands differ significantly in texture from one another: there are both massive bands and such with a finer inner banding due to the alternation of differently coloured bands. In some places, this finer banding shows periodic features (Fig. 2). In the studied colloform-banded textures, everywhere there are voids that look like oval primary millimetre-scaled pores, centimetre-scaled empties, and cracks of exfoliation up to 1 mm wide.



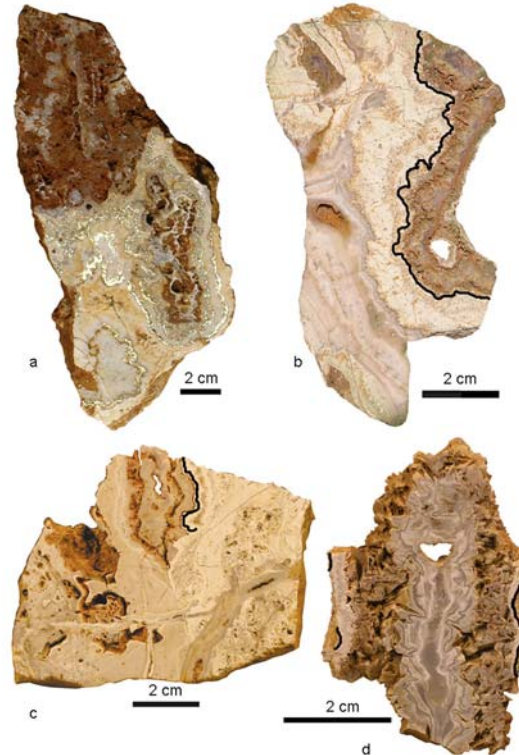
**Figure 1.** High-angle vein on the summit of the Ada Tepe ridge: **a** colloform-banded vein; **b** detail from a – clearly seen colloform shapes of individual bands.

Some bands are entirely composed of the lattice-bladed texture (Fig. 2d) (presumable replacement of quartz and adularia after platy calcite; Simmons, Christenson [20]; Dong et al. [21]). The substantial differences in the texture of bands are an additional evidence for their formation from individual hydrothermal pulses one after another.

#### *Observations under optical microscope*

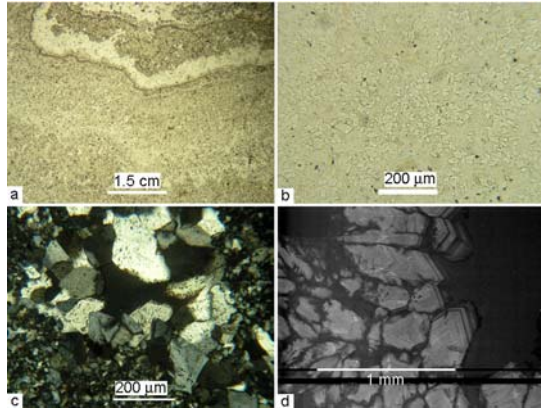
In transmitted light, the boundaries of the individual colloform macro-bands are seen of various degree of contrast. At small magnifications, with contrast boundaries are visualized the bands differing significantly in the intensity of brown pigmentation, in the abundance of scattered dusty opaque micro-inclusions, in the quartz-to-adularia ratio, and in their grain size. At higher magnifications, the band boundaries are unclear and uneven (Fig. 3a). Further, in the bands, there is a random growth of the constituent minerals on the host rocks or on the preceding band. The main minerals (quartz and adularia) of the band matrix are arranged in spots, indicating

re-crystallization (Fig. 3b). Additionally, one observes a lot of micro-pores, lined with quartz and adularia microdruses considerably coarser than the matrix, where both quartz and adularia crystals show geometrical selection, that is a feature characteristic of crystallization from true solutions (Fig. 3c).



**Figure 2.** Hand specimens of colloform-banded macro-texture. The black lines in b, c, and d are not properly scaled and are superimposed over submillimetre-wide bands of bonanza electrum grades: **a** quartz-adularia vein containing visible electrum (white bands) (by courtesy of D. Jevl). There seen are a lot of oval voids. Filled hair-line joints are seen in the lowest quarter of the specimen. Supergene goethite (black); **b** colloform-banded vein containing a submillimetre-wide electrum-rich band. The colour of the middle band is due to abundance of adularia. In the left band, there is an alternation of milky-coloured, pale-grey and water-clear bands forming finer inner banding. In both bands one sees stockwork hair-line quartz veinlets, missing in the right end; **c** colloform-banded vein with a submillimetre-wide bonanza electrum band and a few cracks of exfoliation. The right half of the specimen contains abundant adularia. A quartz veinlet down in the right; **d** in the central part, there is a colloform band of finer inner banding whose milky-coloured bands contain dispersed electrum clots, outwards symmetrically bands of a lattice-bladed texture are seen, followed by quartz-adularia bands, both ending with a submillimetre-wide colloform band of bonanza electrum grades (black).

The colloform macro-bands are composed of microcrystalline, nearly equigranular quartz and adularia, whose ratio and grain-size vary from band to band. One recognizes almost adularia, almost quartz, and mixed quartz-adularia bands. The macro-bands contain as well as disseminated electrum and pyrite, feathery and fibrous quartz, and dusty opaque micro-inclusions.



**Figure 3.** Photomicrographs of colloform-banded macro-textures (a-c in transmitted light, d in SEM-CL): **a** boundaries of bands displaying different contrast. //N; **b** spotty distribution of quartz and adularia (pseudorhombic). //N; **c** a pore lined with quartz and adularia (rhombic outlines) crystals, displaying geometrical selection. +N; **d** SEM-CL of euhedral quartz crystals (lining a micro-pore) displaying clear oscillatory zonation of growth.

Adularia is pale-beige and its abundance varies over a wide range, from 3 to 50 vol. % (commonly being 30-50 vol. %). Approximately equigranular adularia grains of anhedral and isometric outlines, sized below 20-30  $\mu\text{m}$ , sharply prevails in the macro-bands, inter-grown with coarser, predominantly geometrically selected adularia grains of subhedral and euhedral shape of rhombic outlines, and with a size up to 200-300  $\mu\text{m}$ , that occur in thin bands and spots or deposited in micro-pores (Fig. 3c). Pseudorhombic adularia is an indicator of boiling of fluids (Browne [22]; Dong, Morrison [23]).

Quartz in the colloform macro-bands is presented by milky, pale-grey, and water-clear varieties and a quantity from 50 up to 97 vol. %. Commonly, likely adularia, it is sized up to 20-30  $\mu\text{m}$ , and is anhedral and isometric, with its coarser grains reaching about 200  $\mu\text{m}$ , and being of subhedral or euhedral habit. Generally, in all coarser quartz grains, one observes arrangement in spots, finer bands, and lining micro-pores (Fig. 3c). In the latter

case, the quartz crystals often display feathery texture, zonation, a growth at high angle to the substrate, and a geometrical selection. The feathery texture is due to abundance of fluid inclusions sized below 1  $\mu\text{m}$  that occur as oriented trails, and is typical for the epithermal quartz (Dong et al. [22]). The zoned quartz from micro-pores displays in the cathodoluminescence (CL) images a clear oscillatory zonation of crystallographic orientation, drawn by alternating dark-grey and light-grey luminescent bands (Fig. 3d). Occasionally, contacting quartz crystals display areas of pervasive fibrous texture, thus revealing their formation via re-crystallization of a fibrous precursor. Feathery and fibrous textures of quartz are commonly accepted as indicative of re-crystallization, chalcedony being the most suspected primary mineral (Lebedev [2]; Sander and Black [24]; Dong et al. [21], etc.).

As shown above, the major volume of colloform macro-bands is of quartz-adularia composition and of random-grain fabrics both within the bands and on their boundaries. Thus, the missing comb texture there, combined with random-grain fabrics, a finer periodic banding in some macro-bands, and obscured boundaries indicate that the macro-bands can hardly be formed from true solutions rather speaks in favour of crystallization from a silicate gel. The differentiation of quartz and adularia from one another into almost mono-mineral spots could be explained with re-crystallization characteristic of crystallization from gels (Lebedev [2]).

The overall distribution of millimetre- to sub-millimetre-sized pores, lined with relatively coarse comb, euhedral and subhedral quartz and adularia, and the lack of feeding channels (cracks) for fluids, all means that the former are pores of syneresis. Thus, it is reasonable to conclude that true solutions, being separated during the drying of, and the crystallization from a silicate gel, have passed through the gel like through a semi-permeable membrane (Quincke [25]), entered the pores, and then deposited coarser quartz and adularia under conditions of geometrical selection.

In the studied colloform-banded macro-textures electrum (sized below 20-30  $\mu\text{m}$ ) and pyrite (up to 50  $\mu\text{m}$  in size and up to 3 vol. %) form dispersed grains, interstitial to and intergrown with quartz and adularia, together with scarce flakes of sericite (below 1 vol. %).

### **Colloform micro-banding**

#### *Observations under optical microscope*

The micro-banding is of millimetre- to sub-millimetre range, appearing as a series of micro-bands with a total width of 1-2 mm, but mostly being of a sub-millimetre width. Commonly, these series are concordant to the neighbouring macro-bands (Fig. 2), but there are such of discordant position. The series appear an alternation of about 10-30 individual quartz-adularia micro-bands, varying in width from 10 to about 500  $\mu\text{m}$ . Commonly, quartz and adularia grains are sized below 3-5  $\mu\text{m}$  and are of isometric, anhedral outlines. In many hand specimens, some micro-bands are composed of adularia and apparently isotropic silica (Fig. 4a). As a rule these micro-bands are rich in electrum of quantity up to 50 vol. %, which aggregates occasionally are visible by naked eye. The micro-bands rich in electrum contain also dense dusty opaque micro-inclusions, which seem to be also of electrum. Adularia in the electrum-rich micro-bands is also of high abundance (50-80 vol. %). Besides mixed silica-adularia micro-bands, almost mono-mineralic quartz micro-bands occur as well. Somewhere in the micro-banding, sub-millimetre spheres occur (Fig. 4b), corresponding to quartz according to the powder X-ray diffraction data, together with unfilled cracks parallel to the bands. The micro-banding forms contrast margins with the neighbouring macro-bands, thus indicating formation from an individual hydrothermal pulse. At the same time, its margins are uneven and without clear marks of partition (Fig. 4a-b).

Like the macro-bands discussed so far, the individual micro-bands differ in their grain size, porosity, quartz-to-adularia ratio, the quantity of scattered dusty opaque micro-inclusions, abundances of electrum and pyrite, and the presence/absence of brown pigmentation. Besides the prevailing contrasted boundaries of the micro-bands, an unclear micro-banding is also observed, named by Saunders [26] "pseudo-sedimentary texture", with textures presented in our thin sections by diffusive and gradational margins (Fig. 4c). These features are indicative of a primary gel consistency of the matter forming the major part of the colloform-banded micro-textures.

Two types of orientation of the quartz and adularia crystals occur in the micro-bands: 1) randomly oriented grains that characterize the major part of the micro-banding, and 2) grains oriented approximately perpendicularly to preceding band, thus forming a comb texture that plays a subordinated role. We suppose that the random-grain fabrics of quartz and adularia (just like in the macro-bands) reflects a colloidal origin. In the second type of orientation, a geometrical selection has acted, revealing that the crystals have been deposited via direct crystallization.

Sporadically, in the millimetre-to-submillimetre-wide banding, there arise spherulites which usually display a radial texture in their outer parts, while their central parts are built up of anhedral quartz (Fig. 4d). Quartz of some spherulites is co-grown with fine pseudorhombic adularia crystals. We interpret these shapes as coming from former chalcedonic spherulites.

Similarly to the colloform-banded macro-textures, in individual micro-bands, fibrous quartz occurs in quartz-adularia matrix in quantity, which commonly does not exceed 3 vol. %, occasionally reaching to 10 vol. %. Most probably, the fibrous quartz is a transformation of chalcedony into quartz with preservation of the former fibrous texture in places.

Electrum in the bonanza micro-bands forms: 1) micron-sized dendrite-like aggregates or closely disposed oval aggregates that form tree- and chain-like shapes, orientated most often transversely or obliquely to the banding; 2) relatively coarse clots along the banding and in places reaching sizes visible by naked eye; 3) disseminated micron-sized grains, and 4) dense sprinkles of micron-sized electrum globules deposited in open space on surfaces of micro-bands.

The transverse electrum aggregates are predominantly located in protruded parts of colloform micro-bands and everywhere intersecting only a few neighbouring micro-bands, never the entire banding, being covered by the next bands, without any feeding cracks. These observations mean that the source of electrum is not external for the micro-banding, but is internal. In reflected light, it is plainly visible that the colloform micro-banding is breached by material containing electrum dendrites, being developed transversely (Fig. 4e). The absence of clear margins between the

transverse in-filling and host micro-bands means that during breaching the matrix was not solidified but being still viscous.

The electrum clots, tracing the micro-banding, occur as oval aggregates concentrated in a few neighbouring quartz-adularia micro-bands, the largest of them lie on the bands bottom. Somewhere, euhedral quartz crystals are covered by bended globular electrum aggregate, a fact suggesting that during the quartz crystallization the electrum aggregate was still viscous (Fig. 4f - insert).

In places, electrum is inter-grown with pyrite in the sense that it overgrows pyrite but occurs also in the pyrite therein as small grains. These observations reveal a crystallization of electrum and pyrite from an ore-silicate gel.

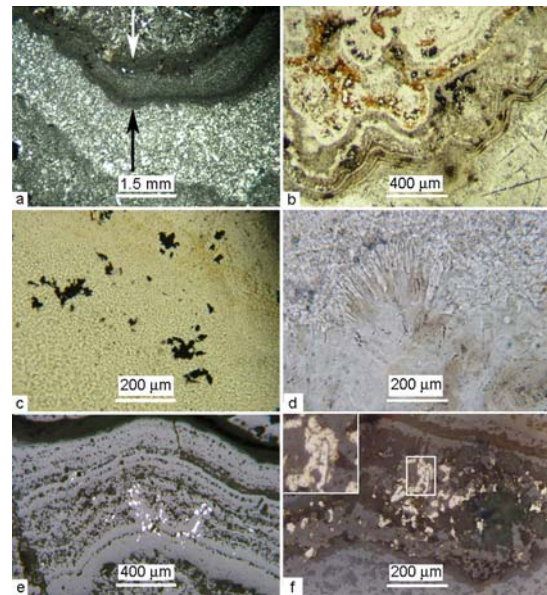
#### *Vibration spectroscopy*

We studied micro-banding containing apparently isotropic silica by micro-Raman spectroscopy and obtained the typical Raman spectrum of  $\alpha$ -quartz, which contains in the spectral range  $100\text{--}600\text{ cm}^{-1}$  seven pronounced peaks at about 126, 204, 262, 353, 400, 463, and  $511\text{ cm}^{-1}$  (Kingma and Hemley [27]). The FTIR-investigations have shown that the  $\text{H}_2\text{O}$  and OH characteristic bands typical for opals were not observed in the MIR region. The results obtained from the vibration spectroscopy revealed that the silica in the micro-banding is presented only by quartz.

#### *Observations in secondary electrons*

In secondary electrons, the images of millimetre-to-submillimetre-wide colloform-banded texture, cut perpendicularly to the banding, exhibit an alternation of poorly crystalline micro-bands and such of clear crystallinity. The first ones appear with a varying crystallinity, looking in secondary electrons like vitreous, and black or dark grey in colour, shortly denoted vitreous-like. The second ones look light grey, denoted crystalline (Fig. 5a-b). Besides crystalline micro-bands there exist also crystalline micro-pores. The crystalline micro-bands and micro-pores are lined with quartz and adularia crystals, which display geometrical selection and well-developed faces.

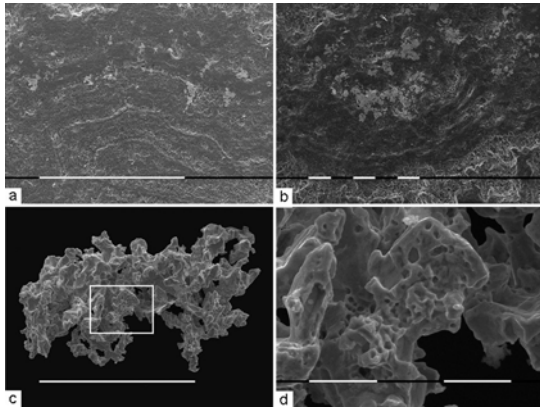
The electrum aggregates, cut near their base, exhibit a lace-like texture due to the abundance of angular pores occupied by quartz and adularia.



**Figure 4.** Photomicrographs of colloform-banded micro-textures (a-d in transmitted light, e-f in reflected light): **a** series of micro-bands (between the arrows); the outer micro-bands (black) consisting of apparently isotropic silica. +N; **b** quartz-adularia micro-bands very rich in electrum spots and micro-layers along the banding (black). A spherical texture composed of quartz and electrum (black) in the upper left part, and linear voids of dissolved platy calcite in-filled with black opaque material in the lower right corner. //N; **c** grain-size gradation, random-grain fabrics of quartz and adularia, and transverse electrum dendrite-like aggregates (black). //N; **d** quartz spherulite covered by quartz-adularia micro-bands. //N; **e** transverse fan-like electrum aggregates (white) developed only in several micro-bands in their protruded portion. +N; **f** electrum clots in micro-banding. Insert – euhedral quartz crystal covered by bended globular electrum aggregate. +N.

The optical observations and the SEM-images of colloform-banded micro-textures allow us to conclude that: (i) the crystalline micro-pores and micro-bands are, respectively, pores and cracks of syneresis, (ii) the quartz and adularia micro-crystals, deposited on their walls, have been deposited from true solutions which have passed through the silicate gel like through a semi-permeable membrane, and (iii) the overall absence of electrum within the crystalline micro-pores and micro-bands reveals that electrum has not been deposited from true solutions rather from colloids.

As afore-mentioned, in some instances, there are sprinkles of globular electrum observed on the surface of some micro-bands, which are obviously grown in open space. Most likely, the electrum sprinkles appear condensates of gasses separated during the boiling of fluids.



**Figure 5.** Electrum in secondary electrons: **a** alternation of clearly crystalline (grey) and vitreous-like (black) micro-bands with transverse electrum aggregates (light grey); **b** alternation of vitreous-like micro-bands (black) and crystalline ones (light grey), and electrum clots occurring only in vitreous-like micro-bands on the bottom of a concave portion of the banding; **c** electrum aggregate abundant in oval micro-concavities; **d** detail from (c). Scale bar: a 1 mm, b-c 100 µm, d 10 µm.

Electrum liberated from the silicate matrix with hydrofluoric acid, shows platy shapes with very uneven surface. At high magnifications, the surface of plates looks like dough with a lot of oval voids visible on their surface, which are negative prints of the globular shape of silicate gel (Fig. 5c-d).

## CONCLUSIONS

1. The main differences between the macro- and the micro-texture are in the abundances of adularia and electrum, and in their grain size; in the extent of re-crystallization and of the participation of cracks of syneresis.
2. We relate the greater extent of re-crystallization of the macro-texture than that of the micro-texture to the formation of the former from colloidal solutions of a larger water amount and the respective richer in water gel, than those responsible for the formation of the latter. The colloform-banded macro-texture we relate to intense boiling of fluids in closed or quasi closed hydrothermal system, while the bonanza colloform micro-banding – to open or quasi open system.
3. On the base of the textural analysis performed, we describe schematically the formation of the bonanza of electrum colloform-banded texture into a few generalized stages: (i) Filling of millimetre-to-submillimetre-wide joints with an ore-silicate sol; (ii) Coagulation of the sol and

precipitation of a banded silicate gel. Electrum aggregation into micron-sized globules and coarser clots disseminated within the silicate gel; (iii) Drying and compaction of the banded gel and formation of pores and cracks of syneresis. Formation of colloform surfaces; plastic deformation of the gel under the action of gravity for the high angles of the joints. Simultaneous reorientation of aggregated electrum globules in transverse dendrite- and chain-like shapes into the protruded parts of the gel, and flowing down of coarse electrum clots into the concave parts, resulting from the huge difference between the specific weight of electrum and that of quartz and adularia; (iv) Crystallization of chalcedony, quartz and adularia and formation of their crystals into the still viscous electrum and its further reorientation forced from the crystallization of silicates. Lining of pores and cracks of syneresis with relatively coarse quartz and adularia crystals deposited from true solutions passing through the gel like through a semi-permeable membrane. Crystallization of electrum; (v) Diagenesis (re-crystallization and erasing of the gel textures).

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the colleagues from Balkan Mineral and Mining for their assistance during the work on the deposit. This study was financially supported in part by the National Science Fund of Bulgaria (DO-02-82/2008 project). This report is presented with the help of the project No BG051PO001-3.3-05/0001 (Science and Busyness), financed by the “Development of public relations” Operative Program.

## REFERENCES

- [1] Grigor'ev D., 1965: Ontogeny of minerals. Israel Program for Scientific Translations Ltd, Jerusalem.
- [2] Lebedev L., 1967: Metacolloids in endogenic deposits. Plenum Press, New York.
- [3] Roedder E., 1968: The Noncolloidal Origin of “Colloform” Textures in Sphalerite Ores. *Econ. Geol.*, 63, 451-471.
- [4] Herdianita N., Browne P., Rodgers K., Campbell K., 2000: Mineralogical and textural changes accompanying ageing of silica sinter. *Miner. Deposita*, 35, 48-62.
- [5] Marchev P., Singer B., Jelev D., Hasson S., Moritz R., Bonev N., 2004: The Ada Tepe deposit: a sediment-hosted, detachment fault-controlled, low-sulfidation gold deposit in the Eastern Rhodopes, SE Bulgaria. *Schweiz. Mineral. und Petrogr. Mitt.*, 84, 59-78.

- [6] Jelev D., 2007: Khan Krum gold deposit, Ada Tepe prospect. Gold deposits in Bulgaria. *Zemlya '93*, Sofia, 104-115 (in Bulg.).
- [7] Marinova I., 2008: Morphology of electrum from Khan Krum gold deposit, Krumovgrad goldfield, Eastern Rhodope Mountain, SE Bulgaria. *Geol. Macedonica*, 2, 111-120.
- [8] Marton I., Moritz R., Spikings R., 2010: Application of low-temperature thermochronology to hydrothermal ore deposits: Formation, preservation and exhumation of epithermal gold systems from the Eastern Rhodopes, Bulgaria. *Tectonophysics*, 483, 240-254.
- [9] Bonev N., 1996: Tokachka shear zone southwest of Krumovgrad in Eastern Rhodopes, Bulgaria: an extensional detachment. *Ann. Univ. Sofia, 1-Geology*, 89, 97-106.
- [10] Goranov A., Kozhoukharov D., Boyanov I., Kozhoukharova E., 1995: Explanatory note to the geological map of Bulgaria at 1:100 000 scale, Krumovgrad and Sape map sheets. Avers, Sofia (in Bulg., abstract in Eng.).
- [11] Bonev N., 2002: Structure and evolution of the Kessebir gneiss dome, Eastern Rhodope. *Dissertation, Univ. Sofia* (in Bulg.).
- [12] Jelev D., Hasson S., 2002: Geology of Khan Krum gold deposit. In: "Modern Problems of the Bulgarian Geology", Sofia, 58-59.
- [13] Bonev N., Marchev P., Ovtcharova M., Moritz R., Ulianov A., 2010: U-Pb LA-ICP/MS zircon geochronology of metamorphic basement and Oligogene volcanic rocks from the SE Rhodopes: inferences for the geological history of the Rhodope crystalline basement. In: "Nat. Confer. Bulgarian Geol. Soc.", Sofia, 115-116.
- [14] Peycheva I., Ovtcharova M., Sarov S., Kostitsin Y., 1998: Age and metamorphic evolution of metagranites from Kessebir reka region, Eastern Rhodopes – Rb-Sr isotope data. In: "XVI Congress CBGA", Vienna, p. 471.
- [15] Bonev N., Spikings R., Moritz R., Marchev P., 2010: Timing of extensional exhumation of the Eastern Rhodope high-grade basement (Bulgaria):  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  constraints. In: "Nat. Confer. Bulgarian Geol. Soc.", Sofia, 117-118.
- [16] Kunov A., Stamatova V., Atanasova R., Petrova P., 2001: The Ada Tepe Au-Ag-polymetallic occurrence of low-sulfidation (adularia-sericite type) in the Krumovgrad district. *Minno delo i geologia*, 4, 16-20 (in Bulg.).
- [17] Marton I., Moritz R., Marchev P., Vennemann T., Spangenberg J., 2006: Fluid evolution within Eastern Rhodopian sedimentary rock-hosted low-sulfidation epithermal gold deposits, Bulgaria. In: "Au-Ag-telluride-selenide deposits, the IGCP 486 2006 field workshop", Izmir, 116-123.
- [18] Moritz R., Marton I., Chambefort I., Noverraz C., 2007: Diversity of epithermal gold ore formation in southeastern Europe: a record of a protracted 60 m.y.-long geodynamic and metallogenic evolution of the Tethyan arc. In: "Advances in Regional Geological and Metallogenic Studies in the Carpathians, Balkans, Rhodope Massif and Caucasus (Romania, Serbia, Bulgaria and Georgia)", SE Europe Geosci. Found., Bor.
- [19] Phillips W., 1972: Hydraulic fracturing and mineralization. *J. Geol. Soc. London*, 128, 337-359.
- [20] Simmons S., Christenson B., 1994: Origins of Calcite in a Boiling Geothermal System. *Amer. J. Sci.*, 294, 361-400.
- [21] Dong G., Morrison G., Jaireth S., 1995: Quartz Textures in Epithermal Veins, Queensland – Classification, Origin, and Implication. *Econ. Geol.*, 90, 1841-1856.
- [22] Browne P., 1978: Hydrothermal alteration in active geothermal fields. *Ann. Rev. Earth and Planet. Sci.*, 6, 229-250.
- [23] Dong G., Morrison G., 1995: Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin. *Miner. Deposita*, 30, 11-19.
- [24] Sander M. and Black J., 1988: Crystallization and Re-crystallization of Growth-Zoned Vein Quartz Crystals from Epithermal Systems – Implications for Fluid Inclusion Studies. *Econ. Geol.*, 83, 1052-1060.
- [25] Quincke G., 1902: Die Oberflächenspannung an der Grenze wasseriger Colloidlösungen von verschiedener Concentration. *Annalen der Physik*, 314, 969-1045.
- [26] Saunders J., 1990: Colloidal transport of gold and silica in epithermal precious-metal systems: Evidence from the Sleeper deposit, Nevada. *Geology*, 18, 757-760.
- [27] Kingma K., Hemley R., 1994: Raman spectroscopic study of microcrystalline silica. *Amer. Min.*, 79, 269-273.

# ELECTRON BACKSCATTER DIFFRACTION–BASED IDENTIFICATION OF MICROPHASES IN ALTERED MONAZITE

Mihail Tarassov<sup>1</sup>, Eugenia Tarassova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Mineralogy and Crystallography, BAS, Acad. G. Bonchev Street 107, 1113 Sofia, Bulgaria, mptarass@dir.bg, etarassova@mail.bg*

## Abstract

The research aims performing the identification and characterization of microphases formed during the fluid-mediated alteration of monazite from the Igralishte granite pluton (Southwestern Bulgaria) by using the electron backscatter diffraction (EBSD) technique in the scanning electron microscope (SEM). It is shown that: (i) EBSD patterns are readily recorded and indexed for xenotime, zircon, apatite, uraninite and the matrix monazite, (ii) the quality of the obtained EBSD patterns worsens essentially in the sequence: xenotime > zircon > initial monazite >> thorite, thus indicating that among the others the structure of xenotime is most robust one – the fact that should be taken into account in application of the phosphate ceramics for immobilization of radioactive wastes; (iii) EBSD examination of individual crystals and their intergrowths reveals prevailing of mutually oriented growth of the secondary minerals.

**Key words:** EBSD, monazite, fluid mediated alteration, secondary phases

## INTRODUCTION

Although electron backscatter diffraction (EBSD) in the scanning electron microscope (SEM) is well recognized today as very effective tool for crystallographic and textural analysis of wide range of materials [1-2], this method still remains almost unknown for the larger part of the geologists in Macedonia and Bulgaria. Meanwhile, the method offers a possibility to investigate with very high resolution (below 100 nm) the phase composition of polished samples (in couple with the energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis), orientation relationships between the crystals, textural characteristics of the samples. Beside the obvious advantages, the method imposes also some restrictions and special requirements to the samples and their preparation. All these features of the method and its application are discussed in detail elsewhere e.g. in the published reviews as [1-2] and books as [3]. In the present paper the authors aim to introduce the geological community with the application of the EBSD method for identification and characterization of microphases formed during partial fluid-mediated alteration of monazite from the Igralishte granite pluton (243 Ma) (Southwestern Bulgaria) [4].

## EXPERIMENTAL

For the present study grains of monazite manually picked from the heavy fractions of

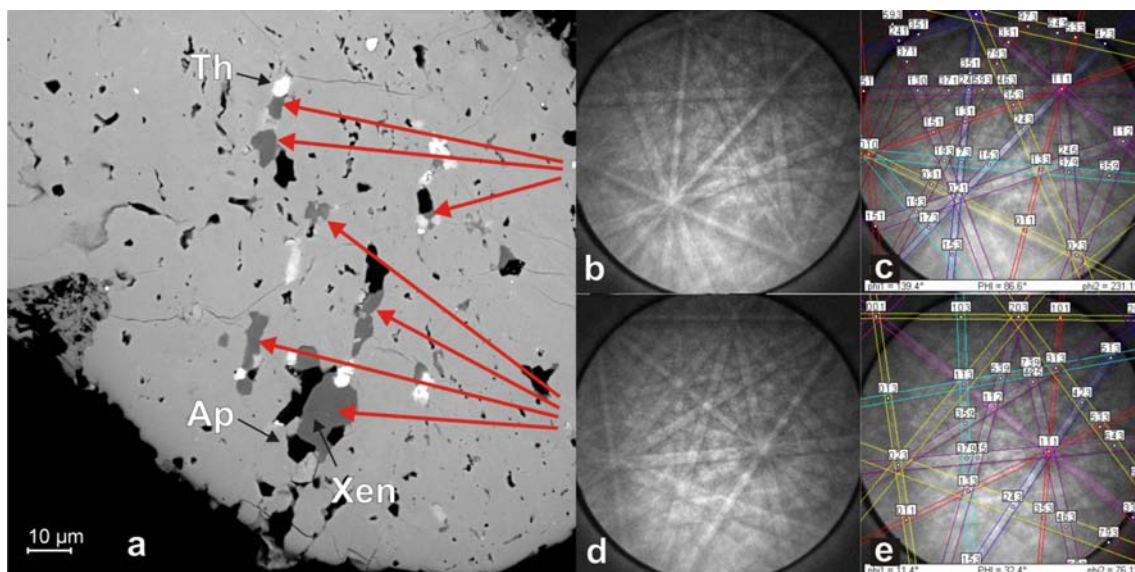
several granite samples of the Igralishte pluton were incorporated into epoxy resin tablet and then polished according to a preparation protocol for EBSD (see e.g. [5]). The specimen preparation is known to be of the most crucial significance for the effective using the EBSD. The conventional polishing procedure for petrographic and metallographic application introduces numerous defects on the specimen surface and makes difficult or impossible recording the EBSD patterns as the diffracted electrons are emitted from a depth of 10-50 nm.

A DigiView III camera with Peltier-cooled CCD, a part of the EDAX Trident System attached to the scanning electron microscope ZEISS SEM EVO 25LS (Institute of Mineralogy and Crystallography – BAS) was used for collection of EBSD patterns at 20 kV acceleration voltage. For EBSD study the sample was coated with very thin layer of carbon.

## RESULTS AND DISCUSSION

Partial fluid mediated alteration of monazite (Ce,La,Nd,Th)PO<sub>4</sub> causing local changes in the chemical composition of the mineral and preserving the integrity of its crystals is common phenomena for magmatic and metamorphic rocks [4, 6]. During this process, a redistribution of chemical elements occurs in the monazite causing development of





**Figure 1.** Distribution of secondary microphases in altered monazite (Xen – xenotime, Ap – apatite, Th – thorite) (a); two systems of mutually crystallographically oriented xenotime crystals: original and indexed EBSD patterns of the first (b. c) and second (d. e) systems.

metasomatic zonation with patchy or curved areas and sharp compositional boundaries, and, occasionally, crystallization of micrometric to sub-micrometric neo-formed minerals. In the Igralishte pluton the partial alteration of the monazite accompanied by redistribution of REE, Th and U and crystallization of new phases is related to the early stage of high-temperature postmagmatic alkaline (potassium) metasomatism [4].

On the earlier step of our study, the polished samples were examined using backscattered electrons (BSE) imaging and EDS analysis. By this way, the following secondary microphases were tentatively identified in the altered monazite: xenotime,  $\text{YPO}_4$ , thorite/huttonite,  $\text{ThSiO}_4$  occasionally accompanied by zircon,  $\text{ZrSiO}_4$ , apatite,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH})$ , and rare uraninite  $(\text{U,Th})\text{O}_2$ . It was found that, excepting the thorite, the other specified phases give EBSD patterns with acceptable quality for indexing. The EBSD patterns obtained consist of series so-called “Kikuchi” band corresponding to definite crystallographic planes of the phase; intersections of these bands specify the position of zone axes (see Fig. 1b-e).

The obtained by us EBSD results are considered below in 3 parts: (1) characteristics of xenotime grain aggregates; (2) characteristics of xenotime-zircon-thorite intergrowths, and (3) EBSD data and crystallinity of microphases.

*(1) Xenotime grain aggregates*

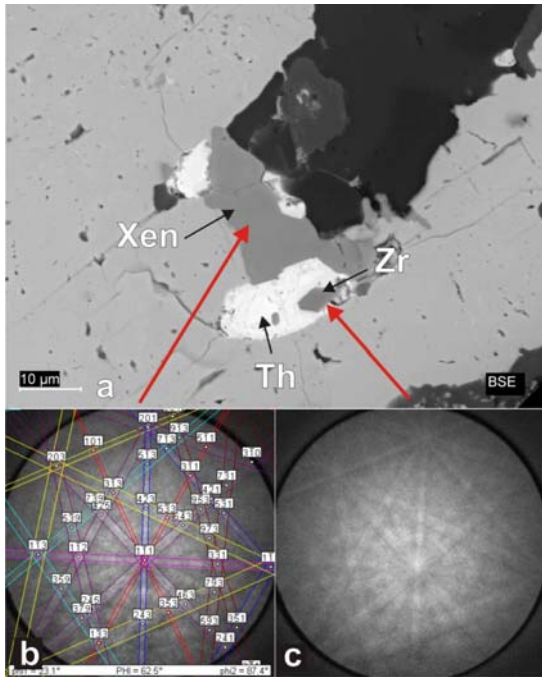
Figure 1a shows typical picture of distribution of the secondary microphases in the monazite with obvious prevalence of xenotime inclusions. The interesting fact found by us is that the xenotime crystals replacing the monazite are not randomly crystallographically oriented. In the picture (Fig. 1), at least two definite systems of crystallographic orientation of xenotime crystals are well recognized. On this stage of the investigation, it is not easy to unequivocally conclude which are the reasons of these orientation relationships. In any case, the observed phenomenon is a part of the alteration mechanism of monazite requiring the further investigation.

*(2) Xenotime-zircon-thorite intergrowth*

Xenotime, zircon and thorite intergrowths are very common inclusions in the studied altered monazite-(Ce). Most commonly, the three minerals form vein-like aggregates of euhedral crystals of zircon and randomly shaped grains of xenotime and thorite. Rarely, some of the zircon crystals are overgrown by thorite giving zonal outlook of

**Table 1.** Cell lattice parameters of zircon, xenotime and thorite

Phase	Zircon PDF06-0266	Xenotime PDF11-0254	Thorite PDF11-0419
S.G.	$I4_1/amd$	$I4_1/amd$	$I4_1/amd$
a, b (Å)	6.604	6.904	7.132
c (Å)	5.979	6.035	6.322



**Figure 2.** Xenotime-zircon-thorite intergrowth in monazite (it is visible that zircon isolated from xenotime by thorite (a); indexed EBSD pattern of xenotime (b), equivalent EBSD pattern of zircon.

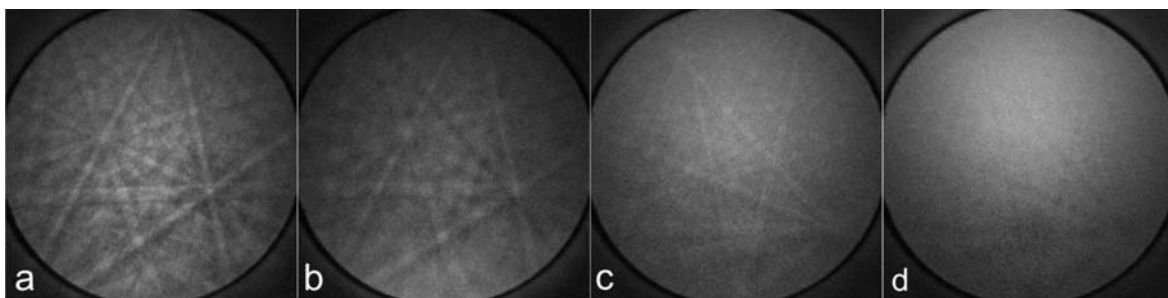
the zircon-thorite intergrowth. The minerals are known to be with one and the same structure - tetragonal system, S.G.  $I 4_1/amd$ , and close cell parameters (Table 1) and their intergrowths are described elsewhere in the literature (e.g. [7]).

It is found also that the zircon and xenotime

conclude that the xenotime-zircon-thorite intergrowths are formed via simultaneous oriented growth (syntactic growth) of the three minerals facilitated by equivalent structure and uniform oxygen sublattice. Although the studied thorite gives no Kukichi bands in the EBSD patterns, the mineral can be indirectly identified on the base of EBSD data of the neighboring xenotime and zircon building oriented intergrowths with thorite.

### (3) EBSD data and crystallinity of microphases

As the studied microphases are situated in one and the same place (in the monazite grain), have one and the same age (~243 Ma according to the zircon age determined for the Igralishte granite pluton) and undergo the same preparative procedures, the quality of the recorded EBSD should be informative for the differences in crystallinity of the studied phases. Series of EBSD patterns showing gradual decrease of the quality of the recorded EBSD patterns and corresponding to xenotime, zircon, monazite matrix and thorite, respectively, are shown in Figure 3. The obtained results allow one to conclude that among the others the xenotime structure is more stable one, and this conclusion should be taken into account during looking for and application of phosphate ceramics for immobilization of the hazardous radioactive wastes.



**Figure 3.** EBSD patterns of xenotime (a), zircon (b), monazite (c), and thorite (d) indicating consequent decrease of crystallinity of the minerals

crystals in the aggregates give almost equivalent EBSD patterns (Fig. 2) evidencing their similar crystallographic orientation while the EBSD patterns of thorite unequivocally indicate partially disturbed structure of the mineral due to metamictization. Besides, the mutual orientation of xenotime and zircon crystals is observed even in cases when they are separated by the metamict thorite (Fig. 2). The obtained EBSD data allow one to

## CONCLUSIONS

1. The obtained and discussed by us results show high efficiency of the application of EBSD technique for identification and characterization of micrometric and submicrometric minerals on the example of mineral inclusions in the altered monazite. It is noteworthy that besides the phase identification or discrimination, the method gives a possibility to acquire additional

information on the orientation relationships between the phases and their structure.

2. Performing the present research we found that there are specific orientation relationships between the xenotime crystals replacing the monazite - the fact requiring additional investigations.

3. Along with the latter finding, the wide occurrence of the xenotime-zircon-thorite intergrowths can serve as an argument that regular orientation relationships between the secondary phases with each other and with the primary monazite is more frequent phenomenon than that expected earlier. This fact is established due to the application of the EBSD method.

4. The EBSD method allowed us to reveal different crystallinity of the microphase in the altered monazite. According to these data, the structure of xenotime seems to be most robust one – the fact that should be taken into account in using the REE phosphate ceramics for immobilization of dangerous radioactive wastes.

#### REFERENCES

- [1] Randle Valerie. 2009: Applications of electron backscatter diffraction to materials science: status in 2009. *J. Mater. Sci*, 44, 4211–4218
- [2] Gourgues-Lorenzon A.-F. 2009: Application of electron backscatter diffraction to the study of phase transformations: present and possible future. *Journal of Microscopy*, 233, 3, 460–473.

[3] Schwartz Adam J., Kumar Mukul, Adams Brent L., Field David P. (Editors). 2009: *Electron Backscatter Diffraction in Materials Science*. Second Edition, Springer

[4] Tarassov Mihail P., Tarassova Eugenia D., Miroslav V. Abrashev, Lialina Lyudmila M., Zozulya Dmitry R., Savchenko Yevgeny E. 2011. Fluid-mediated alteration of monazite in granitoids of Southwestern Bulgaria as prehistory and precondition for REE, Th and U redistribution in weathering rocks, soils and cultivated areas. In: 1st International Workshop on the UNESCO-IGCP Project “Anthropogenic Effects on the Human Environment in the Neogene Basins in the SE Europe”, 3-4th June 2011, Štip - R. Macedonia, p. 30-38.

[5] Nowell Matthew M., Witt Ronald A., True Brian. 2005. EBSD Sample Preparation: Techniques, Tips, and Tricks. *Microsc. Microanal.* 11 (Suppl. 2), 504-505.

[6] Harlov D.E., Wirth R., Hetherington C.J. 2010: Fluid-mediated partial alteration in monazite: the role of coupled dissolution-precipitation in element redistribution and mass transfer. *Contrib. Mineral. Petrol.* (published online: 09 December 2010, DOI 10.1007/s00410-010-0599-7).

[7] Hay Duncan C., Dempster Tim J., Lee Martin R., Brown David J. 2010: Anatomy of a low temperature zircon outgrowth. *Contributions to Mineralogy and Petrology*,

159, 81-92.

# SPHALERITE CYCLIC TWINS FROM STARI TRG MINE, TREPČA, KOSOVO

Vladimir Zebec<sup>1</sup>, Snježana Mikulčić Pavlaković<sup>2</sup>, Željka Žigovečki Gobac<sup>3</sup>, Vladimir Bermanec<sup>4</sup>

<sup>1 & 2</sup> Croatian Natural History Museum, Demetrova 1, Zagreb, Croatia, [snjezana.mikulcic@hpm.hr](mailto:snjezana.mikulcic@hpm.hr)

<sup>3 & 4</sup> Institute of Mineralogy and Petrography, Faculty of Science, Horvatovac 95, Zagreb, Croatia, [zeljkaz@geol.pmf.hr](mailto:zeljkaz@geol.pmf.hr)

## Abstract

One of the most interesting mineral from the Stari Trg mine, from a morphological point of view, is sphalerite (marmatite). Sphalerite crystals most often appear as spinel law twins of different arrangements. Crystal habit of sphalerite sometimes is characterized by cyclic twins consisting of multiple crystal units. Such crystal units could be developed as 5- to 20-membered structures.

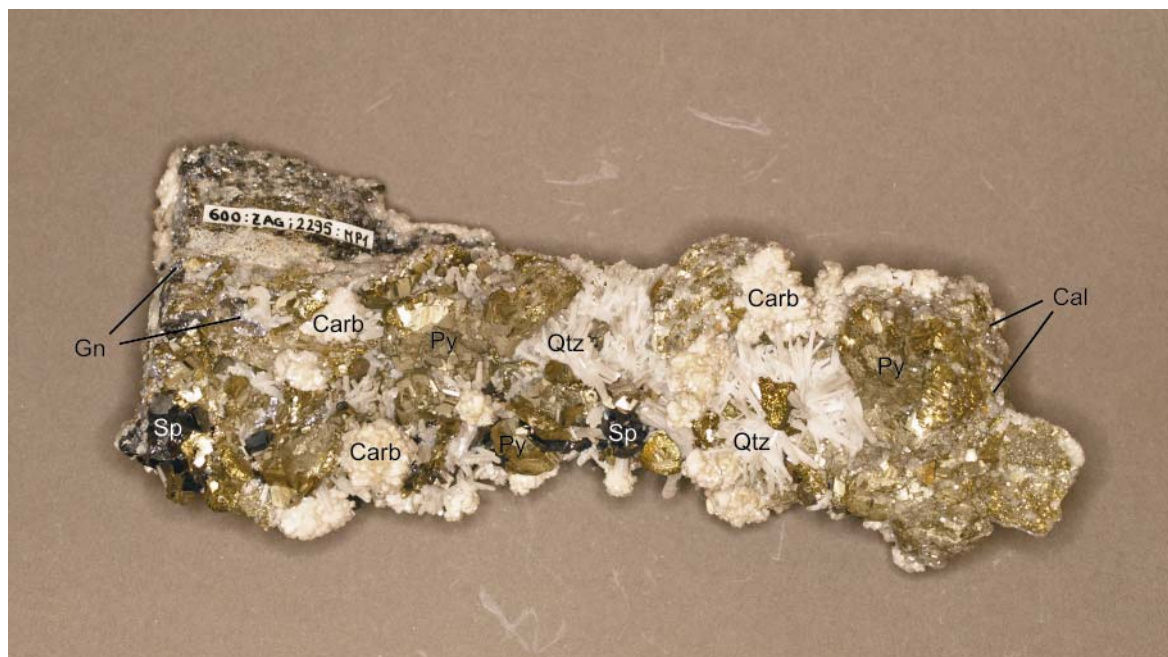
**Key words:** sphalerite cyclic twins, Stari Trg mine

## INTRODUCTION

The Stari Trg mine, within the mineral deposit of Trepča is worldly famous lead, zinc and silver deposit. It is located in the Kopaonik block of Western Vardar Zone, Kosovo. Stari Trg mine is located on the east bank of the Ibar River which flows through Kopaonik Mountain on the east side and Rogozna Mountain on the west side, 10 km north-east from the city of Mitrovica. Ore deposition is spatially and temporally related with the postcollisional magmatism of Oligocene age (23-26 Ma)

(Strmić Palinkaš et al., 2012). Mineralization was hosted by recrystallized limestone of Upper Triassic age (Schumacher, 1950; Strmić Palinkaš et al., 2012). The principal ore minerals are galena, Fe-rich sphalerite (marmatite), pyrite and minor chalcocopyrite (Schumacher, 1950).

The aim of this study was to describe morphology of very complex sphalerite cyclic spinel law twins (consisting of 5 and 20 orientations of crystals).



**Figure 1a.** Hand specimen containing arsenopyrite, pyrrhotite, pyrite (Py), sphalerite (Sp), galena (Gn), chalcocopyrite, quartz (Qtz), rhombohedral carbonate (Carb) and calcite. Size of the specimen is 16 x 6 x 4 cm.



**Figure 1b.** Spherical sphalerite cyclic twin (Sp) on  $\{111\}$  in the central part of the specimen is 0.8 cm in size (photo of a detail) (Qtz – quartz, Py – pyrite, Carb – rhombohedral carbonate).

## MATERIALS AND METHODS

In Stari Trg mine sphalerite rarely appears as single crystals, but usually as twinned crystals. Sphalerite twins up to 1 cm in size were observed as independent crystal morphological units (Fig. 1a,b). Crystallographic measurements of sphalerite crystals were performed on two-circle reflecting goniometer (W.A. Goldschmidt, type A).

## RESULTS AND DISCUSSION

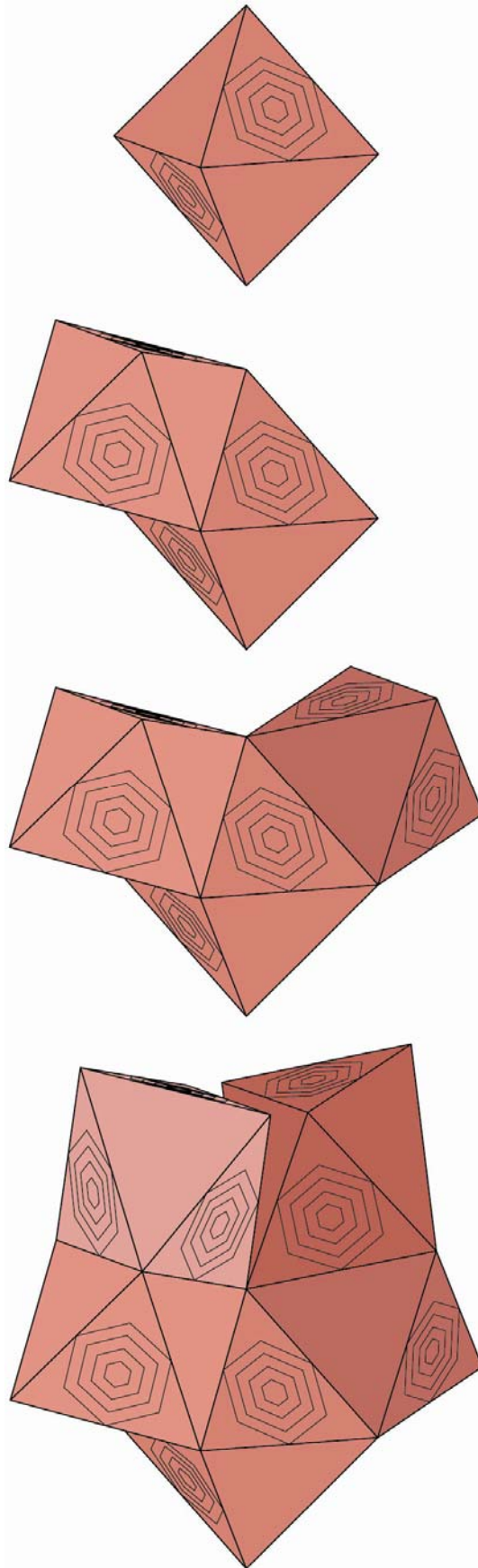
Sphalerite crystals of Stari Trg mine are black (due to a significant amount of Fe), with smooth crystal faces of diamond luster. They usually appear as twinned crystals according to spinel law. Most often, twins consist of pseudo-octahedral crystals as a result of equally developed positive  $\{111\}$  and negative  $\{1\bar{1}1\}$  tetrahedron faces, which distinctly differ from each other. Crystal faces of positive tetrahedron are smooth and faces of negative tetrahedron are rough. Spinel law twins by definition have a twin plane that is parallel to one of the octahedral faces (Palache et al., 1944). Considering such pseudo-octahedral crystal as initial one, the possibility to grow twins on each of its eight faces is offered. By cyclic growth of two more crystals with faces  $(111)$  on  $(1\bar{1}1)$  faces of the initial one, triple twin is formed. By adding another two on former two the same way, cyclic twin consisting of 5 individual crystals will be formed, with a pentagonal hole in the center of the complex unit (Fig.2).

On a few samples it was observed that such cyclic twins can continue to grow sideways resulting in spherical form. Such twin can theoretically include even 20 crystals altogether twinned by spinel twin law in such way that none of the crystal individual orientation is repeated (Fig.3). Only parts of such twinned formations are present on real specimens. They can be easily recognized by regular development of tetrahedral faces, where on one crystal half of the faces are developed as regular hexagons and another half as equilateral triangles. In other words, two types of crystals with the same habit are formed. One crystal has positive tetrahedral faces developed in the shape of a regular hexagon and negative tetrahedral faces developed in the shape of equilateral triangles. Other crystals will have opposite growth of tetrahedral faces. In such complex twin development of triangular/hexagonal face depends on the tetrahedron position within the twinned crystal structure. Triangular faces form a almost closed pentagonal pits regularly arranged in complete twinned formation. Such final cyclic twin formation closely resemble unfinished soccer ball (Fig. 1b, 3).

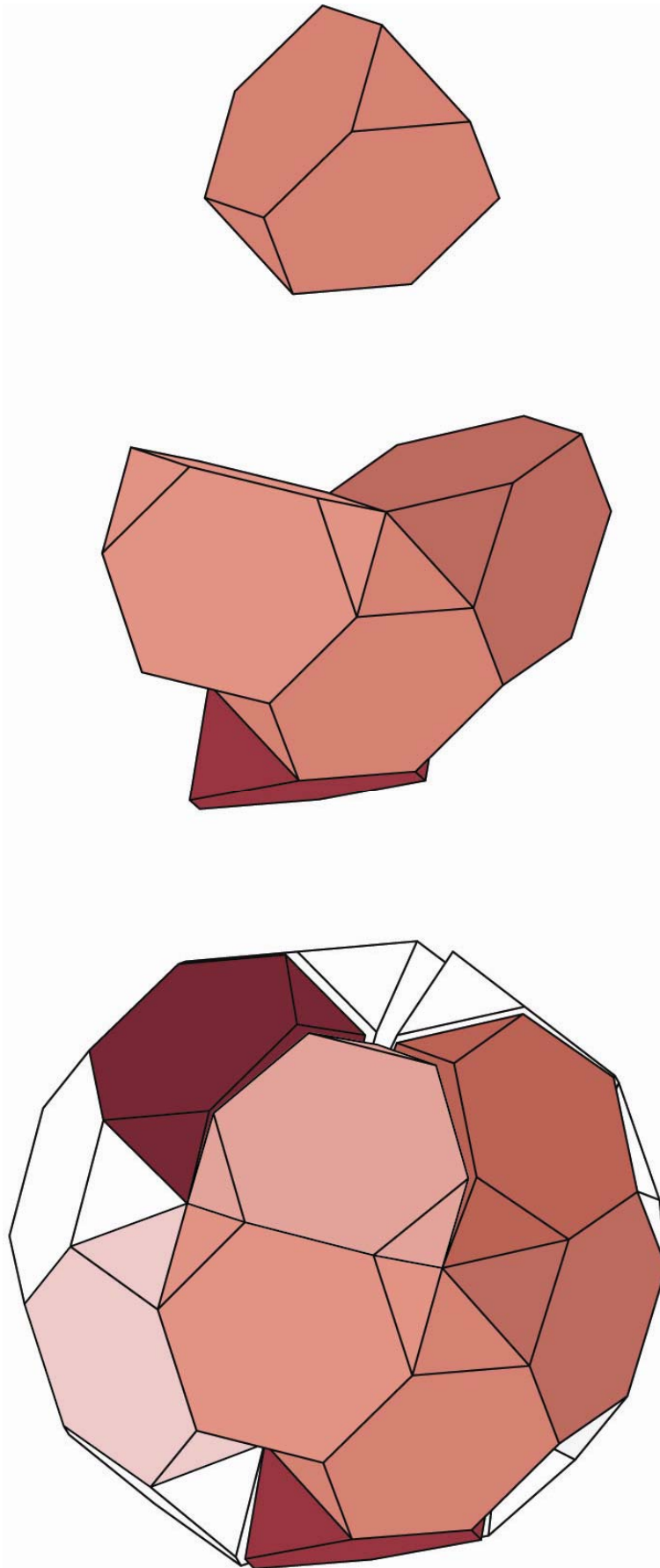
It can be concluded that sphalerite crystals of Stari Trg mine, Trepča form very complex spinel twins showing very interesting twin formations.

## REFERENCES

- (Strmić Palinkaš et al., 2012): Strmić Palinkaš Sabina, Palinkaš Ladislav A., Renac Christophe, Spangenberg Jorge E., Lüders Volker, Molnar Ferenc, Maliqi Gani, 2012: Metallogenic model of the Trepča Pb-Zn-Ag Skarn Deposit, Kosovo: Evidence from Fluid Inclusions, Rare Earth Elements and Stable Isotope Data. *Economic Geology (in press)*.  
 (Schumacher, 1950): Schumacher F., *Ležište Trepča i njegova okolina*, Izdavačko preduzeće Saveta za energetiku i ekstraktivnu industriju vlade FNRJ, Beograd.  
 (Palache et al., 1944): Palache, C., Berman, H., Frondel, C., *The System of Mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana – Yale University 1837 – 1892*. 7th edition. Vol. 1. Elements, Sulfides, Sulfosalts, Oxides., John Wiley and Sons, Inc., New York.



**Figure 2.** Development of sphalerite cyclic twin on  $\{111\}$  consisting of 5 pseudo-octahedral crystals. The crystal faces of the following crystallographic forms are present:  $\{111\}$  (striated by regular hexagons) and  $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$ .



**Figure 3.** Development of spherical sphaerite cyclic twin (“soccer ball”) consisting of 20 differently oriented crystals. The crystal faces of the following crystallographic forms are present:  $\{111\}$  and  $\{1\bar{1}1\}$ .

# STAR-LIKE GALENA CRYSTALS FROM STARI TRG MINE, TREPČA, KOSOVO

Željka Žigovečki Gobac<sup>1</sup>, Vladimir Zebec<sup>2</sup>, Snježana Mikulčić Pavlaković<sup>3</sup>, Vladimir Bermanec<sup>4</sup>

<sup>1 & 4</sup> *Institute of Mineralogy and Petrography, Faculty of Science, Horvatovac 95, Zagreb, Croatia, zeljkaz@geol.pmf.hr*

<sup>2 & 3</sup> *Croatian Natural History Museum, Demetrova 1, Zagreb, Croatia, snjezana.mikulcic@hpm.hr*

## Abstract

Unusual six- (Fig.3e) and twelve-edged (Fig.3e) star-like galena crystals were found on a hand specimen from Stari Trg mine, Trepča, Kosovo and their morphology and way of growth were described. This twinned crystals look like spinel law twins, however detailed studies revealed different way of intergrowth twinning. The cause for this star-like morphological unit is oriented growth of galena with pyrrhotite according to epitaxial overgrowth galena (001)[100] || pyrrhotite (0001)[10 $\bar{1}$ 0], what produce secondary twinning of galena crystals during late crystallization. Galena crystals have three possible orientations on pyrrhotite. Each of the oriented galena individual must satisfy crystallographic condition, that one pair of opposite galena hexahedral faces (upper and lower part of the “star”) has to be parallel with basal pinacoid faces of pyrrhotite crystal and at the same time one pair of hexahedral faces have to be parallel with prismatic faces of pyrrhotite.

**Key words:** Star-like galena crystals, Stari Trg mine

## INTRODUCTION

The Stari Trg mine, within the mineral deposit of Trepča is world famous lead, zinc and silver deposit. It is located in the Kopaonik block of Western Vardar Zone, Kosovo. Stari Trg mine is located on the east bank of the Ibar River which flows through Kopaonik Mountain on the east side and Rogozna Mountain on the west side, 10 km north-east from the city of Mitrovica. Ore deposition is spatially and temporally related with the postcollisional magmatism of Oligocene age (23-26 Ma) (Strmić Palinkaš et al., 2012). Mineralization was hosted by recrystallized limestone of Upper Triassic age (Schumacher, 1950; Strmić Palinkaš et al., 2012). The principal ore minerals are galena, Fe-rich sphalerite (marmatite), pyrite and minor chalcopyrite (Schumacher, 1950). The aim of this investigation is to describe morphology of unusual six- (Fig.3e) and twelve-edged (Fig.3d) star-like galena crystals and discuss their growth.

## MATERIALS AND METHODS

A large hand specimen contains six- and twelve-edged star-like galena crystals lying on a base of pyrrhotite (Fig.1). Arsenopyrite, Fe-rich sphalerite, pyrite, rhombohedral carbonate, quartz and boulangerite are also found in this association. Unusual star-like galena crystals are up to 2 cm in size.



**Figure 1.** Six- and twelve-edged star-like galena crystals lying on a base of pyrrhotite. Size of the specimen is 3.5 x 9 x 5 cm.

Crystallographic measurements of galena and pyrrhotite crystals as well as their mutual orientation were performed on two-circle reflecting goniometer (W. A. Goldschmidt, type A).

## RESULTS AND DISCUSSION

Galena crystals have typical octahedral habit with small hexahedral crystal faces (Fig.3a). Pyrrhotite crystals are tabular with {10 $\bar{1}$ 0} faces and dominant {0001} faces. Six-edged and twelve-edged star-like galena crystals look like spinel law twins, but position of certain hexahedral faces indicate



that the axis of rotation of galena individual crystals in such morphological unit is one of the 4-fold axis, what is not in accordance with spinel twinning law (Palache et al., 1944).

Detailed look of interior parts of this hand specimen revealed pyrrhotite crystal remaining (Fig.2), which indicate oriented growth of galena with pyrrhotite according to epitaxial law:



This type of oriented growth between galena and pyrrhotite from Stari Trg mine was already observed before (Von Vultée, 1957).

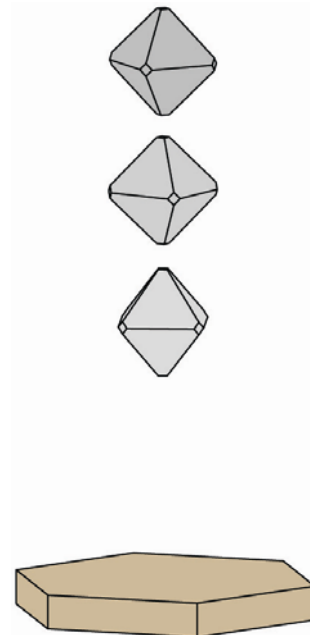


**Figure 2.** Pyrrhotite crystal in orientedly grown galena crystals. Size of the specimen is 1.3 x 1 x 0.8 cm.

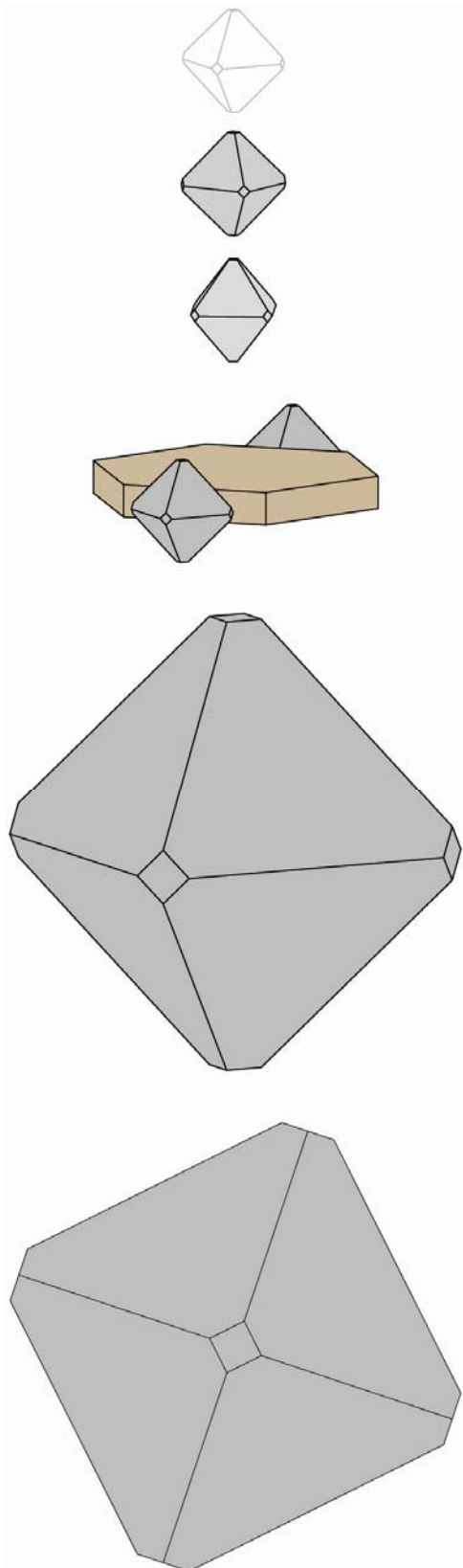
With this type of oriented growth, galena crystals due to pyrrhotite symmetry have three possible orientations (Fig.3a,b,c,d,e). Each of the oriented galena individual must satisfy crystallographic condition, that one pair of opposite galena hexahedral faces (upper and lower part of the “star”) has to be parallel with basal pinacoidal faces of pyrrhotite crystal. At the same time one pair of the galena hexahedral faces have to be parallel with pair of pyrrhotite prismatic faces. Because of that galena crystals have three different orientations on pyrrhotite base. Due to that galena crystals are rotated by 60° one to another reflecting pyrrhotite symmetry (Fig.3a,b,c,d,e).

## REFERENCES

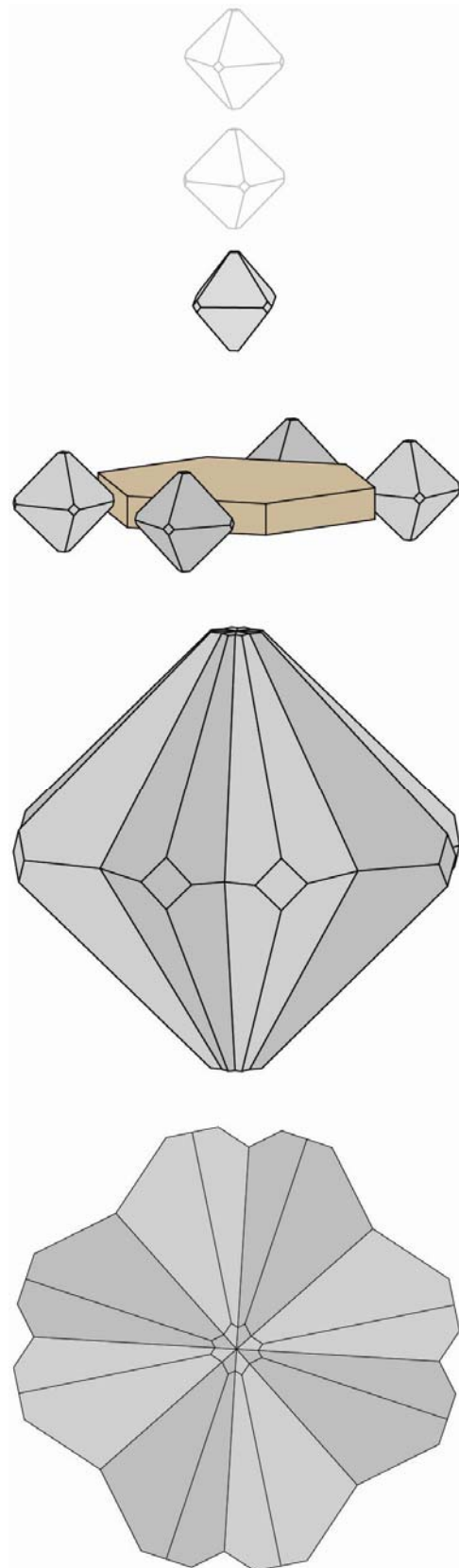
- (Strmić Palinkaš et al., 2012): Strmić Palinkaš Sabina, Palinkaš Ladislav A., Renac Christophe, Spangenberg Jorge E., Lüders Volker, Molnar Ferenc, Maliqi Gani, 2012: Metallogenic model of the Trepča Pb-Zn-Ag Skarn Deposit, Kosovo: Evidence from Fluid Inclusions, Rare Earth Elements and Stable Isotope Data. *Economic Geology (in press)*.
- (Schumacher, 1950): Schumacher F., Ležište Trepča i njegova okolina, Izdavačko preduzeće Saveta za energetiku i ekstraktivnu industriju vlade FNRJ, Beograd.
- (Palache et al., 1944): Palache, C., Berman, H., Frondel, C., The System of Mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana – Yale University 1837 – 1892. 7th edition. Vol. 1. Elements, Sulfides, Sulfosalts, Oxides., John Wiley and Sons, Inc., New York.
- (Von Vultée, 1957): Von Vultée, Joachim, 1957: Orientierte Aufwachsungen von Bleiglanz und Kupferkies auf Magnetkies von der Trepča. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*, 6, 129-134.



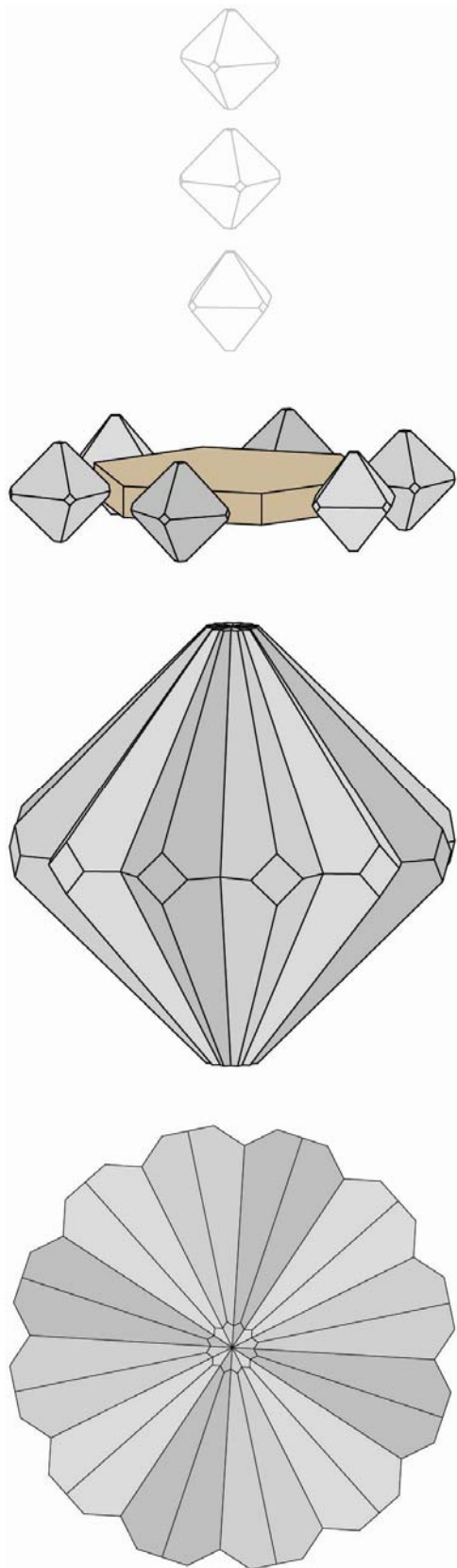
**Figure 3a.** Oriented growth of galena with pyrrhotite. The couples in this twinning, galena and pyrrhotite are shown separately, in already oriented position. The crystal faces of the following crystallographic forms are present: galena {100} and {111}; pyrrhotite {0001} and {10 $\bar{1}$ 0}.



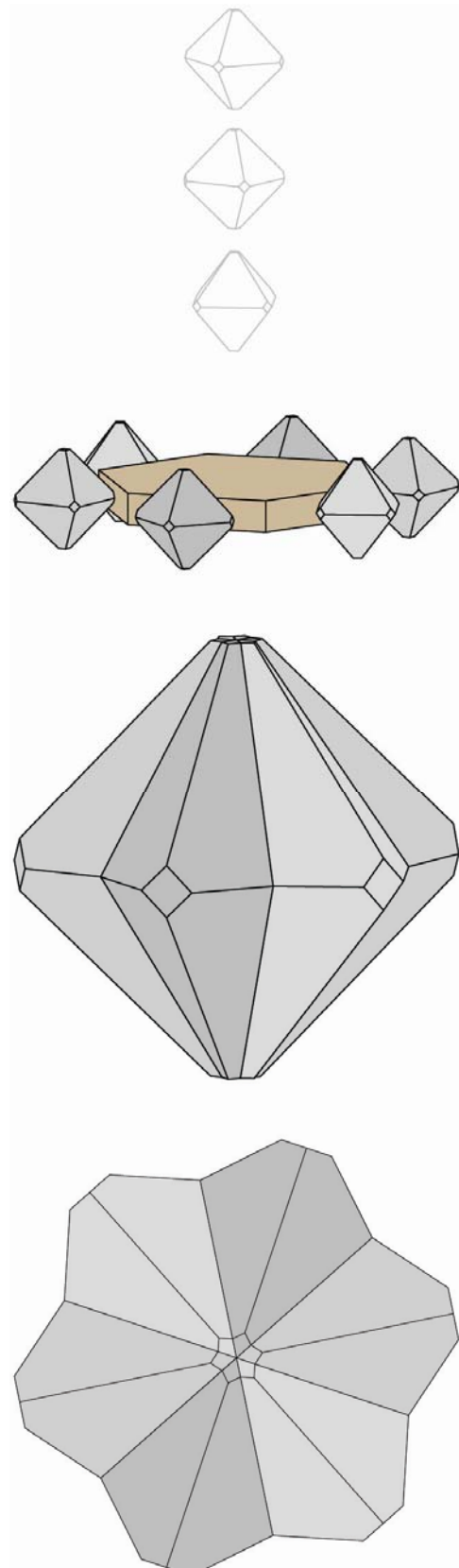
**Figure 3b.** First couple of galena crystals grown on first pair of parallel prismatic pyrrhotite faces.



**Figure 3c.** Second couple of galena crystals added to the first couple (Fig. 3b) grown on second pair of parallel prismatic pyrrhotite faces.



**Figure 3d.** Third couple of galena crystals added to the first two couples (Fig. 3b, 3c) grown on the remaining, third pair of parallel prismatic pyrrhotite faces. These three pairs of galena crystals mutually intergrown in the shape of the twelve-edged star-like morphological unit.



**Figure 3e.** Three couples of galena crystals grown on the parallel prismatic pyrrhotite faces and mutually intergrown and developed in such way that finally they build morphological unit in the shape of the six-edged star.

# MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF THE NI-LATERITE WEATHERING CRUST ON THE OPHIOLITES NEAR GORNJE OREŠJE, MEDVEDNICA MTS., CROATIA

Marta Kiš<sup>1</sup>, Sabina Strmić Palinkaš<sup>1</sup>, Ladislav Palinkaš<sup>1</sup>, Vladimir Bermanec<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geology, Institute of Mineralogy and Petrography, Horvatovac 95, HR-10000 Zagreb, Croatia (sabina.strmic@inet.hr)

## Abstract

The Ni-laterite weathering crust at Gornje Orešje locality (46.01°N, 16.22°E), Croatia, represents the northernmost Ni-laterite in the overall Tethyan domain. The profile has been investigated in order to estimate the mineral composition and formation conditions during tropical weathering of serpentinite from the ophiolitic complex. Samples were collected from protolith, saprolite and limonite horizon. Duricrust is not observed, and is probably eroded. Highly fractured protolith zone comprises partially serpentinized harzburgite with porphyroclastic structure. Enstatite, olivine and clinopyroxene are the principal constituents. Serpentinized harzburgite from the saprolite zone is composed mainly of serpentinized olivine grains wrapped by mixture serpentine minerals, mostly antigorite, chrysotile and lizardite, and Cr-enriched chlorite käämmamerite. Clinopyroxene (diopside) with pronounced deformation lamellae, and accessory spinels (Cr-picotite) occur as well. The saprolite zone is cross-cut by a random network of carbonate-quartz veins. The limonite zone comprises hematite, calcite, dolomite, quartz, talc, and clay minerals such as chrysotile, montmorillonite, saponite and sepiolite.

**Key words:** laterite, ophiolites, weathering, stability diagrams, XRD

## INTRODUCTION

Ni-laterites are formed as a result of long and intensive weathering of ultramafic rocks containing Ni, related to the ophiolite sequences, under conditions of humid tropical to subtropical climates. The term of Ni-laterite refers to the regolith that contains economic exploitable concentrations of nickel, but not to a specific horizon or unit (e.g. Gleeson et al., 2003). Typical Ni-laterite profile consists of four horizons; protolith, saprolite, limonite horizon, and duricrust. On the basis of the ore mineralogy deposits are classified as hydrous magnesium silicate, oxide and clay silicate. Which type of deposit will be developed depends on many factors, such as characteristics of primary rock, tectonic setting, topography, climate, location of a water table and drainage.

## EXPERIMENTAL SECTION

Six hand-picked rock samples were collected from the Ni-laterite profile. Various, mineralogically and texturally homogenous parts within one hand sample were analyzed separately.

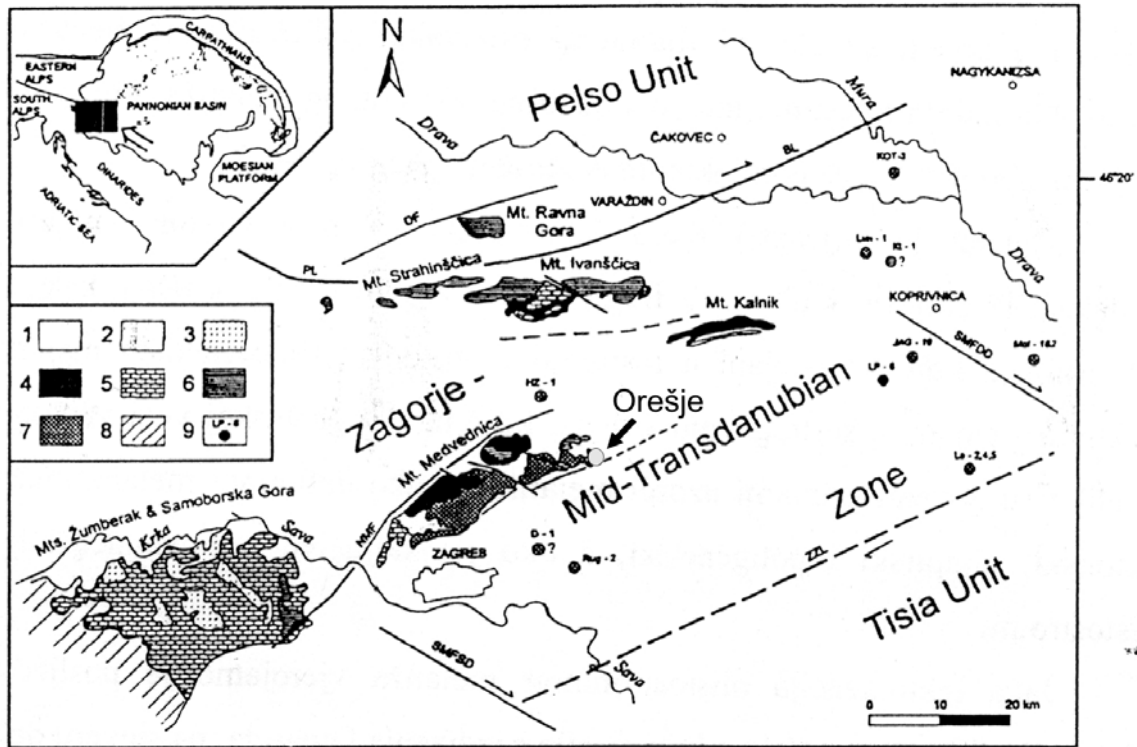
Mineral compositions as well as textures were distinguished in thin-sections using Prolux transmitted polarized light microscope

equipped with Olympus C-8080 wide zoom digital camera.

Mineralogical phase analyses (X-ray powder diffraction, XRD) were performed on Philips PW 3040/60 X'Pert PRO powder diffractometer (45 kV, 40  $\mu$ A) with CuK $\alpha$  monochromatised radiation ( $\lambda=1.54056$  Å) and  $\theta$ - $\theta$  geometry. Area between 4 and 63° 2 $\theta$ , with 0.02° step, was measured with 0.5° primary beam divergence. Compound identifications were based on computer program X'Pert High Score 1.0B and literature data.

## GEOLOGICAL SETTING

Medvednica Mts. is situated at the southwestern termination of the Zagorje-Mid-Transdanubian zone (Pamić & Tomljenović, 1998). On the northeastern flanks of the Medvednica Mts., Jurassic to Hauterivian ophiolite mélange incorporates fragments of undisturbed ophiolite sequence comprising ultramafics, gabbros and basalts along with cross-cutting diabase dikes (Šimunić & Pamić, 1989). The tectonized mélange is dated as Jurassic by a fossil community within the matrix (Babić et al., 2002). The Medvednica Mts. ophiolites are well correlated with coeval ophiolites in the



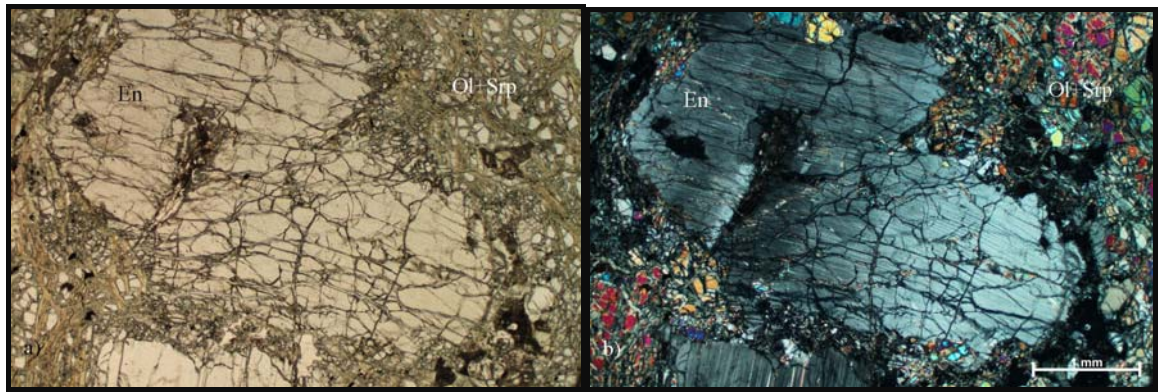
**Figure 1.** Geological sketch map of the Medvednica Mt. and position of the ophiolitic body with Ni-laterite weathering crust (Palinkaš et al., 2006).

NW Dinarides. The ophiolites of this area are of regional geological importance because of their “triple junction” position, situated between Apenninic ophiolites on the east, Penninic ophiolites on the north and Bükk Mt. ophiolite on the northeast (Pamić, 1997; Palinkaš et al., 2006).

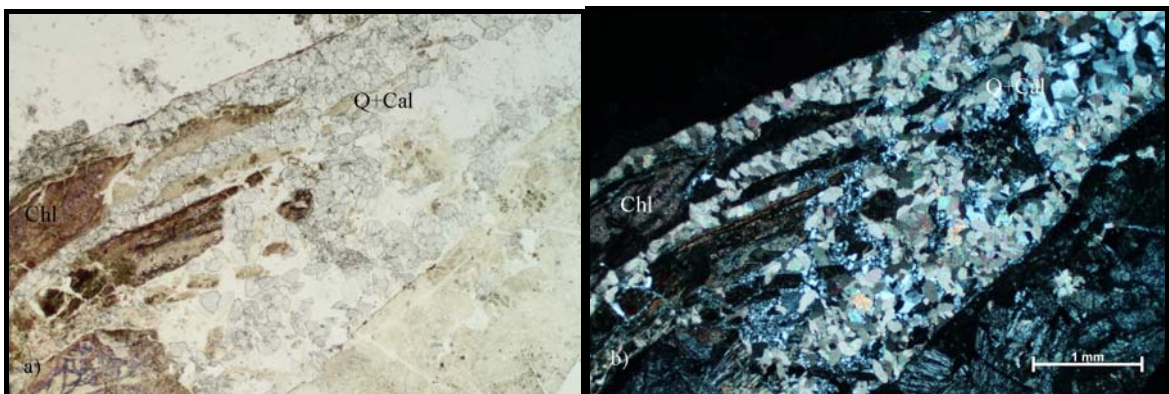
At present, two separate harzburgite-serpentinite blocks, a part of the ophiolites, are exposed over a surface of 0.4 km<sup>2</sup>, on the easternmost part of the Medvednica Mts., close to the Gornje Orešje village (Fig. 1). The mélangé and ophiolites were exposed to weathering during a dry land phase created by the closure of the Tethys in the Early Cretaceous time. The result was Ni-lateritic crust developed over one of the allochthonous harzburgite-serpentinite body. Besides, the Ni-lateritic crusts on Medvednica Mts. are the northernmost Ni-laterite in the overall Tethyan domain (Palinkaš et al., 2006).



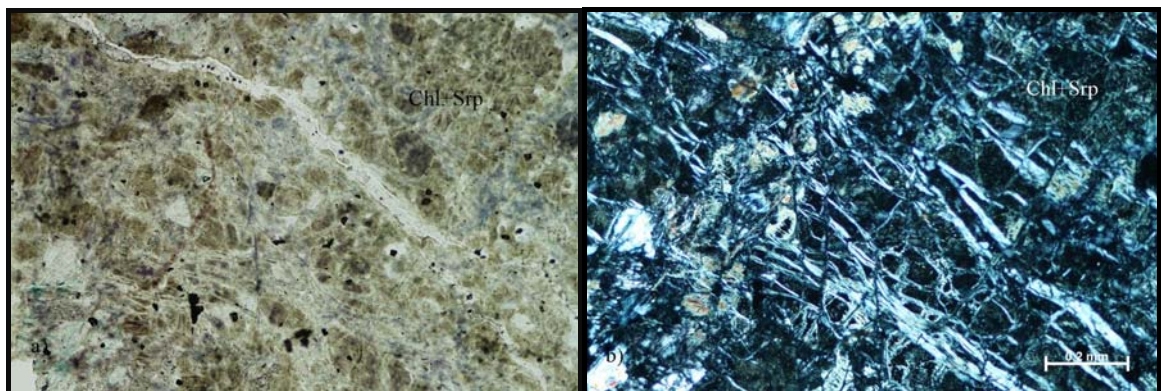
**Figure 2.** The Ni-laterite weathering crust at Gornje Orešje locality; 1 – limonite; 2 – saprolite; 3 – protolith horizon.



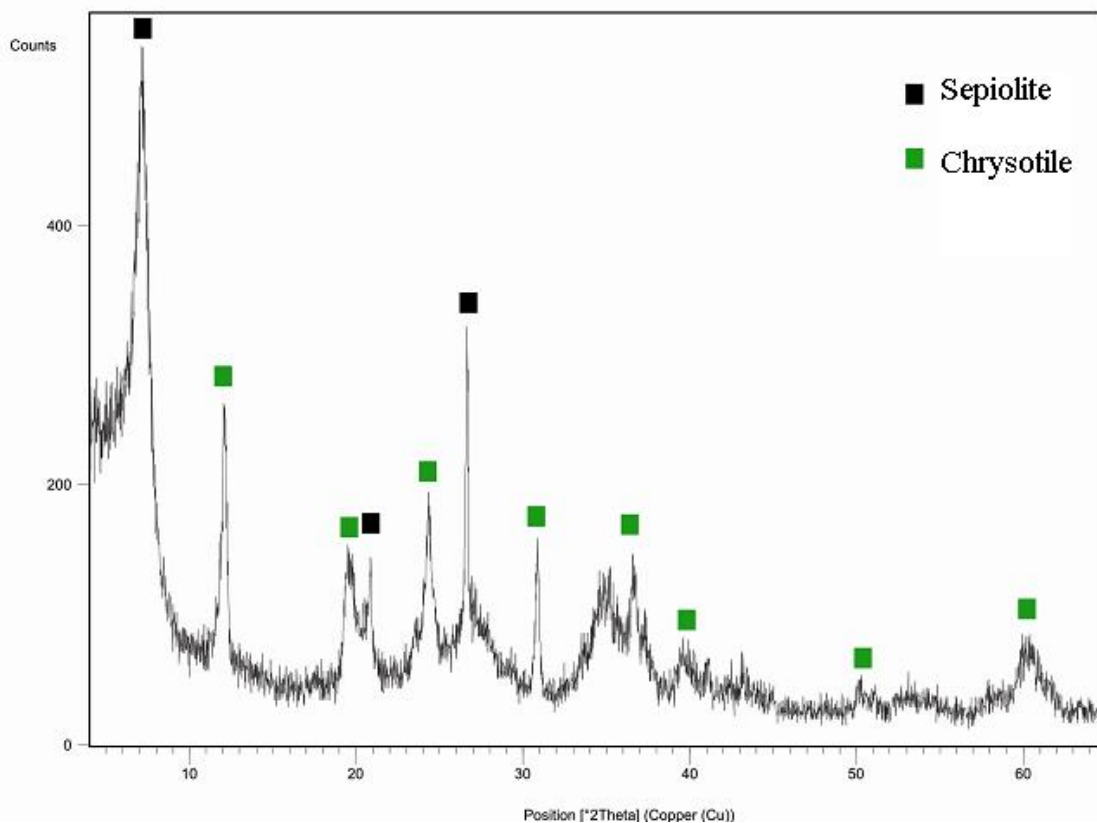
**Figure 3.** Photomicrography of enstatite (En) with exsolution and tectonic (deformation) lamellae surrounded by serpentinized olivine (Ol + Srp): a) parallel polars; b) crossed polars.



**Figure 4.** Photomicrography quartz-carbonate veins (Q + Cal) in serpentinized harzburgite: a) parallel polars; b) crossed polars.



**Figure 5.** Photomicrography of weathering products, chlorite and serpentine (Chl+Srp): a) parallel polars; b) crossed polars.



**Figure 6.** The XRD pattern of serpentinized harzburgite from the saprolite horizon.

**Table 1.** Gibbs energies of formation used to construct the activity-activity diagrams.

MINERAL	FORMULA	$\Delta_f G$ (cal/mol)*
Enstatite	$MgSiO_3$	-348 930
Antigorite	$Mg_{48}[Si_{34}O_{85}](OH)_2$	-15 808 020
Talc	$Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	-1 320 188
Mg-montmorillonite	$Mg_2[Si_4O_9](OH)_2$	-1 181 200
	$H^+$	0
	$Mg^{2+}$	-108 800
	$H_2O (l)$	-56 690
	$O_2 (g)$	0
	$H_4SiO_4$	-312 500
	$SiO_2$ (amorph.)	-203 300

\* Values from Robie et al. (1978), Helgeson et al. (1978), Gunnarsson & Arnorsson (2000)

## RESULTS AND DISCUSSION

Samples were collected from protolith, saprolite and limonite horizon. Duricrust is not observed, and is probably eroded (Fig. 2; Palinkaš et al., 2006).

Highly fractured protolith zone comprises partially serpentinized harzburgite with porphyroclastic structure. Enstatite, olivine and clinopyroxene are the principal constituents (Fig. 3). Orthopyroxene is usually bastitized, while relict grains of

enstatite contain exsolution and deformation lamellae. Exsolution lamellae in enstatite are result of slow cooling of harzburgite, which lead to the separation of clinopyroxene lamellae within orthopyroxene, parallel to (100). Serpentinization is attributed to the hydrothermal activity at mid-ocean ridges, involving intensive reactions between magmatic gasses, oceanic water and ultramafic rocks.

The saprolite zone is highly fractured and cross-cut by a random network of irregular,





The laterite profile formations acted as a chromatographic column separating immobile elements ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ) in upper horizons of the profile from mobilized  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  in solutions. The Mg- and  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ -bearing solutions percolate downward through a fracture system and deposit cryptocrystalline magnesite and amorphous silica veins (Jurković et al., 2012).

## REFERENCES

- Babić, Lj., Hochuli, P.A. & Zupanić, J. (2002): The Jurassic ophiolitic mélange in the NE Dinarides: dating, internal structure and geotectonic implications. *Eclogae. geol. Helv.*, 95, 263-275.
- Glesson, S. A., Butt, C. R. M. & Elias, M. (2003): Nickel laterites: A Review. *SEG Newsletter*, 54, 9-16.
- Gunnarsson, I. & Arnorsson, S. (2000): Amorphous silica solubility and the thermodynamic properties of  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  in the range of 0 to 350°C at P-sat. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 2295-2307.
- Helgeson H.C., Delany J.M., Nesbitt H.W. & Bird D.K. (1978): Summary and critique of the thermodynamic properties of rock-forming minerals. *Am. J. Sci.*, 278-A, 1–229.
- Jurković, I., Palinkaš, L.A., Garašić, V. & Strmić Palinkaš, S. (2012): Genesis of vein-stockwork cryptocrystalline magnesite from the Dinaride ophiolites. *Ofioliti*, 37, 13-26.
- Palinkaš, L. A., Bermanec, V., Moro, A., Dogančić, D. & Strmić Palinkaš, S. (2006): The northernmost Ni-lateritic Weathering Crust in the Tethyan Domain, Gornje Orešje, Medvednica Mt. ). In: Gerzina, N. & Resimić-Šarić, K. (Eds.) *Mesozoic Ophiolite Belts of the Northern part of the Balkan Peninsula – Ophiolites 2006*, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 97-101.
- Pamić, J. (1997): The northwesternmost outcrops of the Dinaridic ophiolites: a case study of Mt. Kalnik (North Croatia). *Acta Geol. Hung.*, 40, 37-56.
- Pamić, J. & Tomljenović, B. (1998): Basic geological data on the Croatian part of the Mid-Transdanubian Zone as exemplified by Mt. Medvednica located along the Zagreb–Zemplin Fault Zone. *Acta Geol. Hungarica*, 42, 23–29.
- Robie, R.A., Hemingway, B.S. & Fisher, J.R. (1978): Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15K and 1 bar ( $10^5$  pascals) pressure and at higher temperatures. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1452, 456 p.
- Šimunić, A. & Pamić, J. (1989): Ultramafitne stijene kod Gornjeg Orešja na sjeveroistočnim obroncima Medvednice. *Geol. Vjesn.*, 42, 93–101.

# MINERALOGY AND THE FLUID INCLUSION DATA OF THE BONČE TOURMALINE-BEARING PEGMATITE, THE SELEČKA MTS., REPUBLIC OF MACEDONIA

Danijela Šmajgl<sup>1</sup>, Sabina Strmić Palinkaš<sup>1</sup>, Ladislav Palinkaš<sup>1</sup>, Štefica Kampić<sup>1</sup>, Blažo Boev<sup>2</sup>, Tamás Vácz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geology, Institute of Mineralogy and Petrography, Horvatovac 95, HR-10000 Zagreb, Croatia (sabina.strmicnet.hr)

<sup>2</sup> Goce Delčev University, Faculty of Mining, Geology and Polytechnic, Krste Misirkov bb, P.O. Box 201, MK-2000 Štip, Republic of Macedonia

<sup>3</sup> Eötvös Loránd University, Department of Mineralogy, Pázmány P. sétány 1/C, H-1117 Budapest, Hungary

## Abstract

The Bonče tourmaline-bearing pegmatite is situated approximately 150 km southern from Skopje, Republic of Macedonia, on the western slopes of the Selečka Mts. The Selečka Mts. belongs to the Eastern Pelagonian tectono-stratigraphic unit of the Dinaride-Hellenides. It comprises Precambrian ortho- and paragneisses, micaschists and amphibolites and hosts numerous pegmatites which differ according to their size, the mineralogical features, the internal structures and the fractionation degree. The Bonče pegmatite belongs to the group of simple pegmatites with simple mineralogy and weakly developed zonation. The wall zone comprise black-colored, up to 10 cm elongated prismatic tourmaline. According to chemical composition and XRD data tourmaline is determined as dravite. The pegmatite core is characterized by predomination of massive quartz. Textural features and fluid inclusion data suggest that the Bonče pegmatite formed as a result of subsequent crystallization from a granitic melt.

**Key words:** pegmatite, tourmaline, fluid inclusions, microthermometry, Raman microspectroscopy

## INTRODUCTION

The Bonče pegmatite is situated approximately 150 km southern from Skopje, Republic of Macedonia, on the western slopes of the Selečka Mts. which represents a part of the Eastern Pelagonian tectono-stratigraphic unit of the Dinaride-Hellenides (Fig. 1). The Pelagonian Massif exposes Precambrian crystalline basement made of ortho- and paragneisses, micaschists and amphibolites and hosts numerous pegmatites, which differ according to their size, the mineralogical features, the internal structures and the fractionation degree (e.g. Ivanov et al., 1966; Zebec & Radanović-Gužvica, 1992; Jovanovski et al., 2003).

The Bonče pegmatite is characterized by simple mineralogy comprising up to 10 cm long prismatic black colored tourmaline crystals embedded within massive quartz matrix.

Generally pegmatites are related to the late stage of magmatic crystallization. While the importance of volatiles and incompatible elements enriched melts is generally accepted, there are still numerous open questions about the mechanism of their deposition. The majority of authors consider

that water-saturated magmas are responsible for the principal mineralogical characteristics of pegmatites (e.g. Burnham & Nekvasil, 1986; Nabelek et al., 2010). Contrary, London et al. (1989) and London (1990) explain the formation of pegmatites by disequilibrium crystallization from water unsaturated magmas, emphasizing the role fluxing elements such as B, F, P and F.

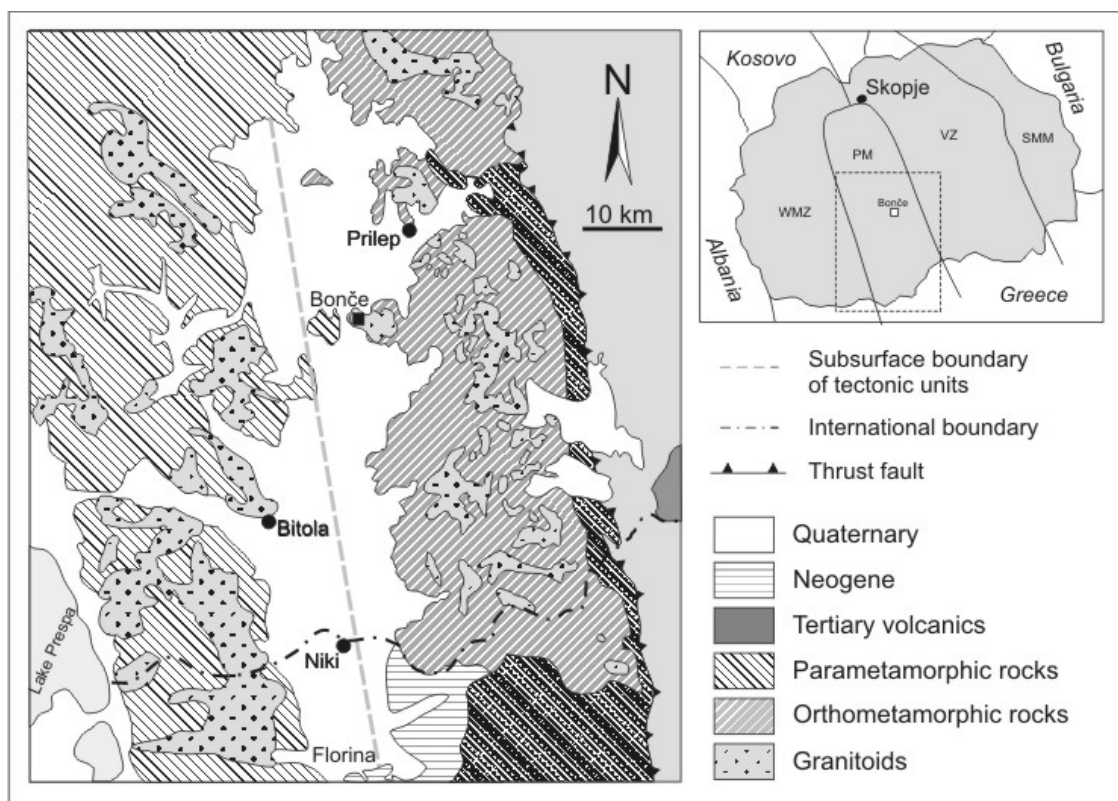
## EXPERIMENTAL SECTION

Mineralogical phase analyses (X-ray powder diffraction, XRD) were performed on Philips PW 3040/60 X'Pert PRO powder diffractometer (45 kV, 40  $\mu$ A) with CuK $\alpha$  monochromatised radiation ( $\lambda=1.54056$  Å) and  $\theta$ - $\theta$  geometry. Area between 4 and 63° 2 $\theta$ , with 0.02° step, was measured with 0.5° primary beam divergence. Compound identifications were based on computer program X'Pert High Score 1.0B and literature data.

Microthermometric measurements of fluid inclusions were performed on double polished ~0.5 mm thick, transparent mineral wafers. Measurements were carried out at

Linkam THMS 600 stage mounted on an Olympus BX 51 microscope using 10x and 50x Olympus long-working distance objective lenses for visible light. Two synthetic fluid inclusion standards (SYN FLINC; pure H<sub>2</sub>O and mixed H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>) were used to calibrate equipment. The precision of the system was  $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$  for homogenization temperature, and  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  in the temperature range between  $-60$  and  $+10^{\circ}\text{C}$ .

Raman microspectroscopy for identification of fluid inclusions content was used to characterize the solid and vapour components of the fluid inclusions. Both-side polished samples were analyzed by HORIBA Jobin Yvon Labram Raman spectrometer operating at 514.5 nm with a laser power of 20 mW. Compounds identifications were based on literature data.



**Figure 1.** Geological setting of the Bonče tourmaline-bearing pegmatite, Republic of Macedonia (after Most, 2003). WMZ – Western Macedonian zone; PM – Pelagonian massif; VZ – Vardar zone; SMM – Serbo-Macedonian massif.

## GEOLOGICAL SETTING

The Pelagonian tectonostratigraphic unit is a ca. 420 km long and 60 km broad NNW-SSE striking part of the central Hellenides (Fig. 1). Granitoids intruded the Precambrian crystalline basement made of ortho- and paragneisses, micaschists and amphibolites during: I) Upper Carboniferous and II) Late Permian – Early Triassic magmatic events (Most, 2003). According to the QAP classification, Pelagonian granitoids range from granite to quartz-diorite, but are mainly granodioritic in composition (Dumurdzanov, 1985). A sedimentary sequence, comprising carbonate and clastic rocks, was deposited during Triassic and Jurassic time. The geological structure of Pelagonian zone is mostly con-

sequence of polyphase tectonometamorphic events during the convergence of the Apulian and European plates between Upper Jurassic and Upper Tertiary time (Most, 2003).

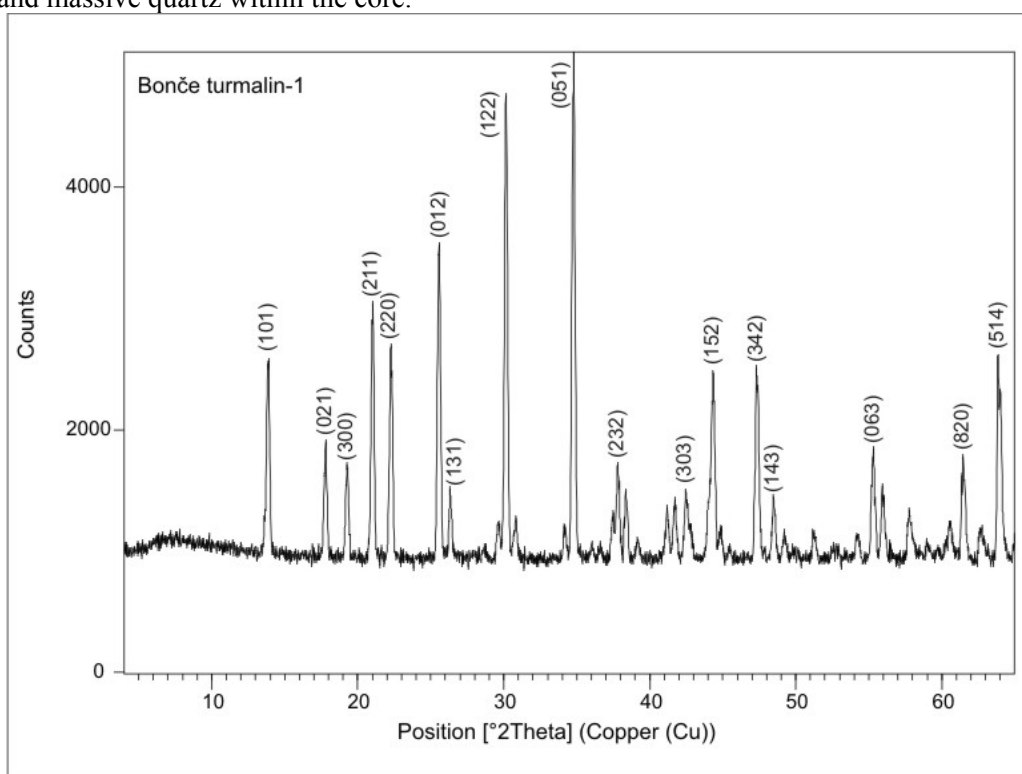
The Bonče pegmatite is one of the numerous pegmatite occurrences on within the Eastern Pelagonian zone. The pegmatites vary in size from a few decimeters wide and tens of meters long to larger bodies tens of meters wide by hundreds of meters long. They differ according to the mineralogical features, the internal structures and the fractionation degree. Beside tourmaline-bearing (Bonče and Dunje localities), the most interesting are those enriched in uranium and thorium mineralization (Alinci and Crni Kamen localities; e.g. Ivanov et al.,

1966; Bermanec et al., 1988; 1992) as well as pegmatites with a peculiar Ca-enriched mineral assemblage with unique occurrence of up to 2 meters long epidote crystals (Čanište locality; Bermanec et al., 2001). The Bonče lens-shaped and up to 5 m wide pegmatite body cuts Precambrian gneisses. The internal zonation is weakly developed, with predomination of tourmaline in the wall zone and massive quartz within the core.

## RESULTS AND DISCUSSION

### *Mineralogy and chemical composition of tourmaline*

The tourmaline unit cell parameters, calculated with the least-square refinement program UNITCELL (Holland & Redfern, 1997) on the basis of XRD patterns (Fig. 2) are following:  $a = 15.961(0)$  Å,  $c = 7.189(7)$



**Figure 2.** X-ray diffraction pattern of tourmaline from the Bonče pegmatite.

**Table 1.** The results of classical wet chemical analysis, calculated formula and distribution of the key cation sites for tourmaline from the Bonče pegmatite.

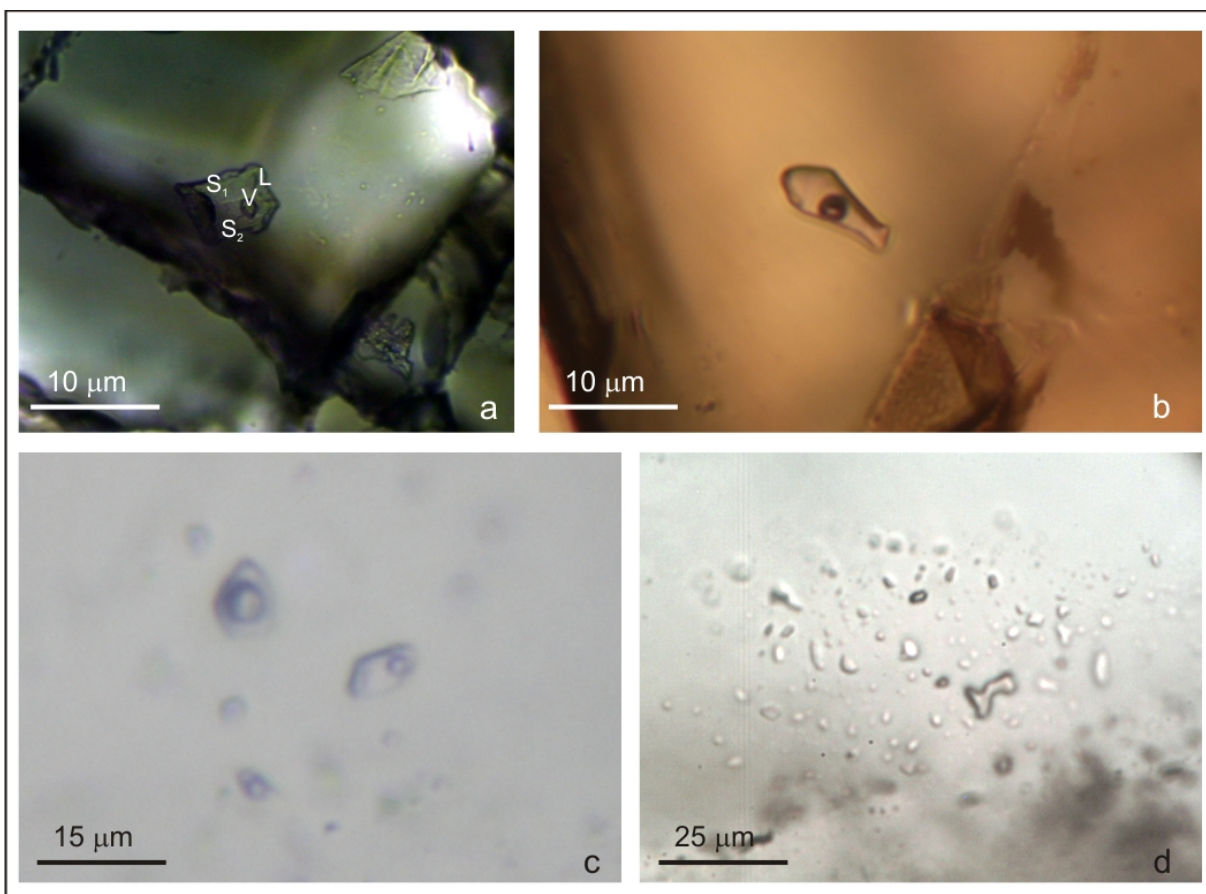
CHEMICAL COMPOSITION (WT. %)										
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
34.49	0.57	8.75	33.06	7.12	0.24	1.99	5.75	2.09	0.39	3.18
STRUCTURAL FORMULA (ATOM. %)										
Si <sup>4+</sup>	Ti <sup>4+</sup>	B <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>
5.652	0.070	3.000	6.386	0.878	0.033	0.349	1.405	0.664	0.082	3.476
DISTRIBUTION OF IONS ON KEY SITES										
	B site		B <sup>3+</sup>				3.000			
	T site		Si <sup>4+</sup>				5.652			
			Al <sup>3+</sup>				0.348			
	T site		Al <sup>3+</sup>				6.000			
	Y site		Al <sup>3+</sup>				0.038			
			Ti <sup>4+</sup>				0.070			
			Fe <sup>3+</sup>				0.878			
			Mg <sup>2+</sup>				1.405			
			Fe <sup>2+</sup>				0.033			
	X site		Ca <sup>2+</sup>				0.349			
			Na <sup>+</sup>				0.664			
			K <sup>+</sup>				0.082			

$\text{\AA}$ , and  $V = 1586.21(4) \text{\AA}^3$ . According to the  $a$  vs.  $c$  ratio (Donnay & Barton, 1972) as well as to the results of classical wet chemical analysis (Table 1) and classification proposed by Henry et al. (2011) tourmaline from the Bonče pegmatite is classified as dravite with general formula of  $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$ . The structural formula and the key cation sites calculated on the basis of  $B=3$  *apfu* are listed in Table 1.

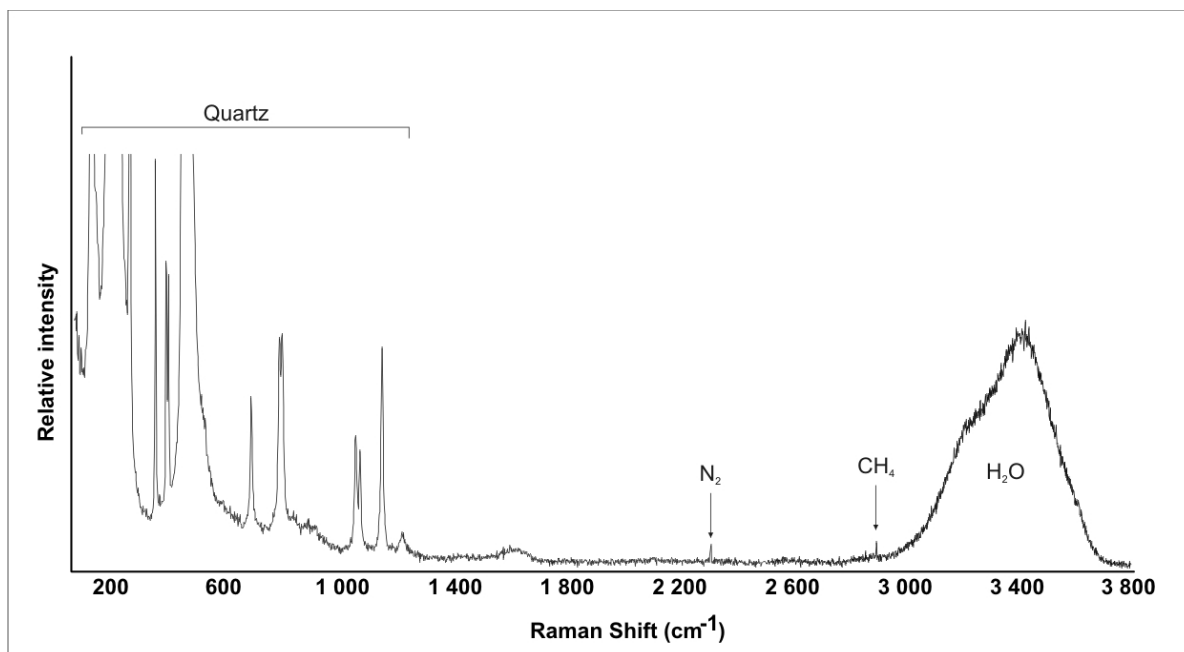
### Fluid inclusion studies

Fluid inclusions from tourmaline crystals were classified as either primary or secondary according to the criteria proposed by Roedder (1984). Primary fluid inclusions are sub-rounded to irregular in shape and up

to  $25 \mu\text{m}$  in size. Usually these inclusions occur in individual clusters or isolated. Based on the number of phases primary tourmaline-hosted fluid inclusions could be subdivided into two additional sets: 1) polyphase (L+V+S) and 2) two-phase (L+V) inclusions. Polyphase inclusions comprise up to 50 vol. % of solid phases, highly saline aqueous solution and vapor bubbles (Fig. 3a). Solid phases are usually transparent and inactive in Raman spectra. According to Raman microspectroscopy data the vapor bubbles contain only water vapor. Total homogenization occurs by the vapor phase disappearance at temperature higher than  $450^\circ\text{C}$ .



**Figure 3.** Photomicrographs of representative primary fluid inclusions from the Bonče tourmaline-bearing pegmatite: a) hydrosaline (L+V+S<sub>1,2</sub>) inclusion recorded within tourmaline; b) two-phase (L+V) inclusion hosted by tourmaline; c) two-phase inclusion (L+V) within the massive quartz core; d) clusters of monophasic inclusions hosted by the massive quartz core.



**Figure 4.** Raman spectrum of the vapor bubble from two-phase inclusion hosted by quartz reveals the presence of H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>.

Two phase inclusions contain liquid and vapor phase at room temperature (Fig. 3b). Degree of fill (F) varies between 0.70 and 0.85. Eutectic temperature (T<sub>e</sub>) around -52°C suggests CaCl<sub>2</sub> and NaCl as dominant dissolved salts. The final ice melting temperature (T<sub>m ICE</sub>) has been measured between -7.0 and -8.0°C, and clathrate melting temperature between 9.5 and 10.0°C. Total homogenization (T<sub>H</sub>) spans from 145 to 200°C by vapor-bubble disappearance. Raman microspectroscopy revealed the presence of water, nitrogen and methane. Salinity estimated from the ice melting and clathrate melting temperatures ranges from 4.2 to 4.8 wt.% NaCl equ.

Fluid inclusions from the massive quartz core show irregular to rounded shape and range in size up to 25 μm (Fig. 3c). They occur either isolated or in clusters of 5 to 10 inclusions arranged in three-dimensional, non-planar arrays. Inclusions mostly comprise two phases (liquid and vapor) and have degree of fill between 0.6 and 0.85. Raman microspectroscopy revealed the traces of N<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> within the vapor phase (Fig. 4). Eutectic temperature (≈ -52°C) suggests Ca-Na-Cl system. The final ice melting temperatures range from -3.4 to -8.1°C (salinity between 5.6 and 11.8 wt.% NaCl equ.). Temperatures of homogenization into a liquid phase were recorded within the wide range between 173 and 400°C.

The clusters of monophase inclusions point to the resorption and partial recrystallization of silica-rich melt inclusions within quartz host (Fig. 3d). According to Raman microspectroscopy monophase inclusions contain only water.

## REFERENCES

- Bermanec, V., Palinkaš, L.A. & Strmić, S. (2001): Mineralogy of pegmatite with giant epidote crystals, near Čaniste, Macedonia.– In: Piestrzynski, A. (ed.): Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century, Proceed. 6th biennial SGA meeting, 939-942.
- Bermanec, V., Tibljaš, D. & Kniewald, G. (1992): Uranium-rich metamict senaite from Alinci, Macedonia, Yugoslavia.– *Eur. J. Mineral.*, 4, 331-335.
- Bermanec, V., Tibljaš, D., Gessner, M. & Kniewald, G. (1988): Monazite in hydrothermal veins from Alinci, Yugoslavia.– *Mineral. Petrol.*, 38, 139-150.
- Burnham, C.W. & Nekvasil, H. (1986): Equilibrium properties of granite pegmatite magmas.– *Am. Min.*, 71, 239-263.
- Donnay, G. & Barton, R. Jr. (1972): Refinement of the crystal structure of elbaite and the mechanism of tourmaline solid solution.– *Tscherm. Mineral. Petrograph. Mitteil.*, 18, 273-286.

- Dumurdzanov, N. (1985): Petrogenetic characteristics of the high metamorphic and magmatic rocks of the Central and Western part of the Selečka Mts. (Pelagonian massif), SR Macedonia, Yugoslavia.– *Geol. Maced.*, 2, 173-220.
- Henry, D.J., Novák, M., Hawthorne, F.C., Ertl, A., Dutrow, B.L., Uher, P. & Pezzotta, F. (2011): Nomenclature of the tourmaline-supergrup minerals.– *Am. Min.*, 96, 895-913.
- Holland, T.J.B. & Redfern, S.A.T. (1997): Unit cell refinement from powder diffraction data: The use of regression diagnostics.– *Mineral. Mag.*, 61, 65-77.
- Ivanov, T., Bogoevski, K., Radović, N. & Ivanova, V. (1966): Guidebook for Fieldtrips in SR Macedonia, Yugoslavia.– 6th Meeting of Geologists of Yugoslavia, Ohrid, 17 p.
- Jovanovski, G., Boev, B., Makreski, P., Najdoski, M. & Mladenovski, G. (2003): Minerals from Macedonia. XI. Silicate varieties and their localities – identification by FT IR spectroscopy.– *Bull. Chem. Technol. Macedonia*, 22, 111–141.
- London, D. (1986): Magmatic-hydrothermal transition in Tanco Pegmatite.– *Am. Min.*, 71, 76-395.
- London, D. (1990): Internal differentiation of rare-element pegmatites: a synthesis of recent research.– *Geol.Soc. Am., Spec.Pap.*, 246, 35-50.
- Most, T. (2003): Geodynamic evolution of the Eastern Pelagonian zone in Northwestern Greece and the Republic of Macedonia.– Unpubl. PhD Thesis, University of Tuebingen, Tuebingen, 195 p.
- Nabelek, P.I., Whittington, A.G. & Sirbescu, M.-L.C (2010): The role of H<sub>2</sub>O in rapid emplacement and crystallization of granite pegmatites: resolving the paradox of large crystals in highly undercooled melts.– *Contrib. Mineral. Petrol.*, 160, 313-325.
- Roedder, E. (1984): Fluid inclusions.– *Rev. Mineral.*, 12, 644 p.
- Zebeč, V. & Radanović-Gužvica, B. (1992): Crystallographic Determination of Titanite from Smilevski Dol in Selečka Mountain, Macedonia.– *Geol. Croat.*, 45, 63-68.

**ГЕОХЕМИЈА И  
ГЕОХЕМИЈА НА СРЕДИНАТА**





# ГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ВИНА ПРОИЗВЕДЕНИ ВО ДОМАШНИ УСЛОВИ ВО ОБЛАСТА ТИКВЕШ

Иван Боев<sup>1</sup>, Соња Лепиткова<sup>1</sup>, Тена Шијакова<sup>1</sup>,  
Орце Спасовски<sup>1</sup>, Блажо Боев<sup>1</sup>

*Faculty of Natural and Technical Sciences, Institute of Geology, "Goce Delcev" University,  
Goce Delcev 89, P.O.Box 201, MK-2000 Stip, Republic of Macedonia,  
ivan.boev@hotmail.com, lepikova@hotmail.com, tena.ivanova@ugd.edu.mk,  
orce.spasovski@ugd.edu.mk, blazo.boev@ugd.edu.mk*

## Апстракт

Во трудот се прикажани резултатите од геохемиските истражувања на определена количина и сорти на вина кои се произведени во домашни услови (застапеноста на елементите Al, Ba, Ca, Cu, K, Mg, Mn, Na, Sr, As, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Zn) со примена на методите на ICP-AES и AAS, како и застапеноста на гореспоменатите елементи во соодветните почвени системи. Исто така, во трудот е направена споредба со застапеноста на определуваните елементи со вината кои се произведени во индустриски услови во винариите во Република Македонија.

**Клучни зборови:** почви, индуктивно сврзана плазма, атомска апсорпција, елементи во траги.

## ВОВЕД

Виното е напивка која е интегрален дел од исхраната на човекот и има одиграно значајна улога во развитокот на општеството, религијата и културата. Како и секоја вештина, и правењето на вино било засновано на емпириски заклучоци, на забележување на некои надворешни појави, без притоа да се навлегува во суштината на процесот. Ваквиот начин на производство на вино владеел со векови, сè до појавата на Pasteur кој со својата книга „Студија за виното“ (1866) ги отвори вратите на науката за разбирање на процесите што се случуваат при добивање на вино. Новите научни сознанија, пак, и техничко-технолошките достигнувања се основа за прогрес на секоја гранка од индустријата, вклучувајќи ја и индустријата за вино.

Виното како производ на алкохолната ферментација на ширата во себе содржи голем број на соединенија, од кои некои се наоѓаат во ширата, додека други настанале во текот на алкохолната ферментација, со трансформација на шеќерот во некои други соединенија. Сите тие соединенија влегуваат во геохемискиот состав на виното, определувајќи го неговиот квалитет кој се манифестира преку органолептичките особини на виното. За квалитетот на виното не е значаен само квалитативниот состав, туку и количинскиот однос на соединенијата и елементите во него.

Определувањето на геохемискиот состав на виното се врши со аналитички методи. Некои од тие аналитички методи се едноставни и брзи, а некои се посложени и бараат подолго време за анализа.

## ИСТОРИСКИ ОСВРТ НА ПРОИЗВОДСТВОТО НА ВИНО ВО ОБЛАСТА ТИКВЕШ

Лозарството и винарството во областа Тиквеш имаат богато историско минато и долга традиција. Тие претставувале основни стопански гранки со кои се занимавало населението од целиот овој регион.

Историјата на виновата лоза во овој крај бележи постоење подолго од два милениума, а тоа нешто може да се види од бројните остатоци од минатото (археолошки артефакти по бројните археолошки локалитети, како што се: Стоби, Еударист, Белград, Антигона, Демир Капија и др.), пишаните документи, фотографии, преданија, како и во народните песни, обичаи и други творби (Цвијиќ, 1906). Античките Македонци кои живееле на овие простори со голема љубов и пиетет ја одгледувале оваа култура, а богот на виното бил еден од најпосакуваните божества. Грозјето и виното биле култни прехранбени продукти кои се користеле за време на веселбите. Денес низ областа Тиквеш сè уште можат да се пронајдат бројни археолошки артефакти со претстави на грозје и винова лоза. Меѓутоа уште поголем е бројот на археолошките артефакти коишто во минатото се однесени од овој крај и денес се во музеите во Белград, Софија и други места.

Лозарството како значајна гранка на земјоделието продолжило да се развива и во средниот век за што сведочат бројни записи од голем број историчари и патописци, меѓутоа и трите минијатури од средината на X век пронајдени во овој крај на кои се гледаат три фази од обработката на виновата лоза. Во текот на раниот среден век во одгледувањето на виновата лоза од големо значење било применувањето на „Которскиот кодик“, според кој со закон било регулирано одгледувањето на оваа култура, а непридржувањето кон овие одредби било казнивано со закон. Во втората половина на XVI век кога со територијата на тиквешкиот крај владееле браќата Дејановиќ, дваесетина села заедно со нивите и лозјата им биле подарени на светогорските манастири Хилендар и Пантелејмон. Посебно треба да се истакне дека во средниот век најдобри производители на грозје и вино биле манастирските имоти, а начинот на подготвување на виното го чувале во најголема тајна. Денес, кога говориме за лозарството во Македонија, веднаш нè асоцира на реонот на Тиквеш, тиквешкото грозје и тиквешкото вино кое со векови било опеано во бројни изворни македонски народни песни. Денес тиквешкото виногорско подрачје е едно од најзначајните, како во Македонија, така и на Балканот (Еленов, 1986).

### АНТИЧКИОТ ПЕРИОД

Треба да се спомене дека ако по нешто е препознатлива областа Тиквеш како поширок етногеографски регион, не само во Македонија туку и пошироко, тоа е бездруго лозарството и производството на вино, кое на овие простори било раширено уште во античкиот период (Сл.1,Сл.2,Сл.3,Сл.4).



**Слика 1.** Фрагмент од мермерен фриз со претстава на грозје и винова лоза од лок. Стоби  
 Покрај тоа што има неколку мислења околу прашањето кога во Македонија за прв пат се појавила виновата лоза, потребно е да се истакне дека сите индикации укажуваат дека Македонија е меѓу првите земји во Европа во кои се одгледувала оваа култура, која според

некои верувања постои повеќе од 4000 години. Ова нешто може да се види и од трудовите на Caroline Camerra, Francoise Collombert Jean, Paul Paireault (1995)– „Weine aus aller welt“ од 1995 година, каде што на страница 237 пишува: „Историјата на лозарството потекнува од пред 4000 години и е пренесена од Тракија, преку ридестата Македонија на медитеранскиот Балкан...“. Лозарите и винарите, како и во останатите делови од Балканскиот Полуостров, и во Македонија имале свој заштитник, богот на виното, грозјето и веселбата, Дионис. Вредноста на виното и неговото значење особено доаѓа до израз во времето на владеењето на Филип II и неговиот син Александар III Македонски. Така, на пример, во биографијата за Александар Македонски на неколку места се споменува виното како негов омилен пијалак. Исто така во оваа дело се наведува дека дека Александар, како и сите Македонци, виното го пиел немешано со вода и кога го пиеле здравувале во чест на богот Херакле, со кого и Александар понекогаш се поистоветувал. Едно предание зачувано во областа Тиквеш вели дека Александар Македонски многу често по враќањето од долгите походи знаел своите војници да ги почести со вино кое било донесено од зад планините од неговата престолнина Пела, а зад тие планини се наоѓа плодната Тиквешка Котлина. Тиквешкиот крај бил колекција на лозарството и винарството во Македонија, а за тоа говорат и бројните наоди и археолошки наоѓалишта како: Стоби, Антигона, Белград, Еударист, градот Тиквеш, Градиште, Хохово, Грамеѓе, Умата и други. Меѓу пронајдените предмети кои се поврзани со грозје и вино доминираат: путири, луцерно, монети, камени корита за газење на вино, антички надгробни стели, баханалии и други. Во областа Тиквеш се откриени неколку големи камени корита во кои се газело грозјето, а потоа истото се претурало во дрвени буриња и керамички садови. Вакви корита се пронајдени во атарот на селата: Мрзен Ораовец, Раец, Долни Дисан, Вешје и други места во областа Тиквеш.



**Слика 2.** База со претстава на винова лоза и грозје од лок. Стоби

Меѓу најзначајните археолошки артефакти кои се пронајдени на територијата на областа Тиквеш, а се поврзани со постоењето на лозарството во овој крај, е мермерна скулптура на богот Дионис, пронајдена во Стоби во 1928 година. Скулптурата била најдена во многу оштетена состојба. Женските црти на лицето на богот Дионис, виновата лоза, гроздовите околу него, го карактеризираат богот на виното, а тоа може да се види и од написот на постаментот на кој стои скулптурата. Текстот на базата е нецелосен и се претпоставува дека се работи за завет кон царот Хадријан. Лозарството и сточарството биле главни занимања на населението во целиот тиквешки крај за што ни зборуваат и неколкуте случајни откритија на двојни камени корита, изработени во камен-живец, а биле користени на поголем број локалитетикои и денес претставуваат значајни лозарски реони во овој крај (Долни Дисан, Белград, Раец, Ракле). Познато е дека ваквите двојни корита биле користени за гмечење и цедење на грозјето во овие лозарски подрачја.



**Слика 3.** Постамент за споменик од лок. Стоби со претстава на грозје и винова лоза



**Слика 4.** Мермерен фрагмент со претстава на пехар и грозје од лок. Стоби

Многу значаен предмет кој го потврдува култот кон грозјето и виновата лоза во областа Тиквеш е мермерната вотивна плоча пронајдена во месноста Ума во близина на Кавадарци. Станува збор за многу успешно изработена култна икона „Баханалија“ или

релјефна претстава изработена во бел мермер во чест на богот на грозјето и виното - Бахус. Во Музејот на Општина Неготино се наоѓа фрагмент од една поголема Баханалија, на која е претставен богот Бахус во придружба на две менади, накитени со грозје, во момент на разиграност, опиеност и опуштеност. Во близина на селото Долни Дисан во месноста Белград кај Калина Чешма постои вила рустика од римски период, а сè уште може да се види големото двојно корито изработено од камен-живец, кое на долниот дел има отвор.

### **РАНИОТ СРЕДЕН ВЕК**

Значајни сознанија за развојот на лозарството во Македонија и областа Тиквеш во текот на XI и XII век ни дава Теофилакт Охридски во своите писма. За обработка на лозовите површини, како што смета Теофилакт, се користеле разновидни алатки, пред сè мотика и дикели. Исто така бил употребуван и крупен добиток, севгар волови. Во областа Тиквеш, каде лозарството се одгледувало со векови, имало многу убави лозови насади од чие грозје се правело многу убаво тенко црвено вино.

### **Лозарството во областа Тиквеш во текот на XVI век**

Во првата половина од XVI век Тиквешката нахија се наоѓала и понатаму во рамките на Солунскиот санџак. Во тоа време во рамките на овој санџак се наоѓале нахиите: Кратово, Штип, Кочани, Негоричане, Струмица, Тиквеш, Мелник и Горна Кресна.

Пописот кој во Тиквешката нахија бил извршен во периодот од 1570 до 1573 година ни кажува дека во оваа нахија виновата лоза била една од најзастапените земјоделски култури. Површини со винова лоза се споменуваат во селата: Долна Бошава, Страгово, Чемерско, Барово, Марена, Демир Капија, Пепелиште, Возарци, Грбавец, Шивец, Дебриште, Дреново, Прждево, Глишиќ, Кавадарци, Неготино и други места.

За да видиме во кое село колку било развиено лозарството во Тиквешката нахија, која во својот состав имала 133 села, од пописниот тефтер ќе ги издвоиме следните неколку села каде што данокот за лозје е претставен како ушур за шира, која пак за христијанското население изнесувала за 1 медра шира 6 акчиња (табела 1). Во Тиквешката нахија, која во својот состав имала 133 села, во помала или поголема мера лозарството било една од водечките култури во земјоделското производство. Само во 1573 година во Тиквешката нахија се произведени 19.040 медри вино во вредност од 114.300 акчиња. Иако големината на медрата не може точно да се утврди и да се спореди со денешните мерни

единици (според едни податоци 1 медра била еднаква со една половина од словенското ведро), сепак може да се каже дека во втората половина на XVI век лозарството не само што било водечка гранка, туку била и една од најдоходовните.

**Табела 1. Годишно производство на вино во областа Тиквеш (1570-1573)**

СЕЛО	МЕДРИ	АКЧИЊА
Долна Бошава	342	2052
Горна Бошава	150	900
Чемерско	315	1890
Клиново	200	1200
Мрежичко	236	1416
Хохово	1000	6000
Ваташа	900	5400
Марена	100	600
Долни Дисан	900	5400
Кавадарци	100	600
Неготино	260	1560
Прждево	35	4410
Сопот	1100	6600
Вешје	750	4500
Бесвица	420	2520
Тремник	230	1380
Моклиште	410	2460
Бегниште	160	960
Ресава	350	2100
Бистренци	500	3000
Тимјаник	550	3300
Мрзен Ораовец	500	3000
Барово	467	2802
Дабниште	215	1290
Конопиште	160	960
Страмашево	200	1200
Злешево	540	3240
Шешково	150	900
Возарци	180	1080
Драгожел	200	1200
Бојанчиште	50	300
Дрчевица	100	600
Глишиќ	200	1200
Драдња	180	1080
Страгово	100	600
Бохула	150	900
Градиште	35	210

### Лозарството во областа Тиквеш кон крајот на XVIII и почетокот на XIX век

Во овој период лозарството било најразвиено во четири региони во Македонија и тоа: 1. Солунската рамнина, 2. Пелагонија (Лерин–Кожани), 3. Тиквеш и Раец, 4. Во ридските предели на Мелник.

Вака силниот развој на оваа култура во областа Тиквеш бил поштеден од првиот налет на филуксерата која во 1878 година направила огромни штети на лозовите плантажи во Србија, а неколку години подоцна во 1883 година истата болест направила пустош на

лозовите насади во Бугарија. Еве како изгледа производството на грозје во некои региони во Македонија во овој период (табела 2.).

**Табела 2. Годишно производство на грозје во областа Тиквеш во XVIII век**

Каза	Количина на грозје (оки)
Тиквешка каза	4 000 000
Струмичка каза	1 200 000
Гевгелиска каза	2 500 000
Скопска каза	700 000
Кратовска каза	1 500 000
Кумановска каза	800 000
Тетовска каза	500 000
Гостиварска каза	1 200 000
Штипска каза	2 500 000
Радовишка каза	300 000

Во почетокот на XIX век виновата лоза претставувала една од најраспространетите култури во областа Тиквеш. Добро обработуваните лозови насади давале големи количини на квалитетно грозје, што било предуслов за произведување на квалитетно вино. Во овој период големи површини на земја во овој крај се посадени со винова лоза, а произведените вино и ракија од овој регион биле надалеку прочуени. Некои сорти на црно тиквешко вино според квалитетот биле споредувани со слични сорти вино од Бургундија и од Бордо.

### ФИЗИЧКО-ГЕОГРАФСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОБЛАСТА ТИКВЕШ

Помеѓу котлините во Македонија, кои по својата положба се разликуваат една од друга, Тиквешката Котлина се истакнува како засебна географска целина со своите геоморфолошки и антропогеографски особини. Со површина од 2.120 км<sup>2</sup>, областа Тиквеш заема значителен дел од територијата на Република Македонија. Тиквешката Котлина е ограничена со планините: на југ, Мариовско-магеланските Планини, чиј венци изнесуваат до 1.700 метри. Планинските висови на исток и на запад се исто така добро изразени. На запад од котлината се наоѓа планината Борила од 1.500 метри, а на југ се наоѓа планината Балија со 1.400 метри и Карадак со 750 метри височина. Вака времената со планини Тиквешка Котлина од северната страна е пресечена од реката Вардар, а од западната страна од реката Црна, а преку средината на котлината минува реката Луда Мара).

Во потесна географска смисла, Тиквешката Котлина се простира: на север кај сливот на реката Брегалница, спрема селата Виничани и Ногаевци, потоа свртува над селата Градско и

Долно Чичево, потоа над селата Сирково, Мрзен Ораовец, Фариш, Раец до селото Никодин со ридот Ножот до селото Топлица. Западната граница на котлината почнува од месноста Топлица преку патот Градско - Прилеп до селата Раец и Дреново во правец на Тиквешкото Езеро. Ги опфаќа месностите на Сува Гора со атарот на селата Бегниште, Кошани и Дабниште. На југ областа продолжува над селата Ваташа, Моклиште, и висорамнината Витачево. Во овој дел е опфатена месноста Белград со селата Горни и Долни Дисан, Прждево и Демир Капија. Јужната страна завршува со селото Дрен. Источната страна се движи преку реката Вардар во правец на селото Корешница, ја сече Липковска Река и оди спрема селата Брусник и Пепелиште, ја минува реката Вардар и железничката линија Скопје-Гевгелија до селото Уланици и завршува со утоката на реката Брегалница во Вардар.

### **Клима**

Климата има големо влијание врз развојот на виновата лоза, односно во родноста и квалитетот на грозјето. Климата како значаен фактор во развојот на виновата лоза ја сочинуваат: температурата на воздухот, сончевата светлина, влагата на воздушните струи кои делуваат во дадената област. Секој од овие фактори има свое влијание на виновата лоза, а резултатот од нивното влијание се гледа во порастот на лозата, степенот на зреење на грозјето и во создавањето на квалитетни состојки кои од грозјето преминуваат во виното. Географската положба и релјефот на тиквешкиот крај претставуваат значаен фактор кој влијае врз севкупните климатски карактеристики. Тиквешкијата е област каде што се вкрстуваат и вршат влијание две зонални клими: континентална и медитеранска. Во помала мерка влијание врши и локалната планинска клима. Влијанието на континенталната клима дејствува од север и продолжува по реката Вардар и Брегалница. Како резултат на нејзиното влијание имаме краткотрајни и прилично студени периоди. Медитеранската клима, пак, доаѓа од југ од Егејското Море, по долината на реката Вардар, и како резултат на нејзиното влијание имаме благопријатни зими со релативно високи температури. Влијанието на локалната планинска клима е ограничено и не доаѓа до поголем израз, а доколку до неа дојде истата посилно се чувствува во планинскиот дел од областа. Под дејство на овие климатски влијанија во овој регион е образувана посебна модификација на медитеранската клима. Како резултат на тоа, тиквешкиот регион е богат со разновиден растителен свет.

### **Температура**

Виновата лоза е питомо растение кои може да вегетира и живее во екстремно високи температури во предели со топла клима, какви што можат да бидат температурите во областа Тиквеш. Овој реон спаѓа во доста топлите подрачја и овој фактор многу поволно влијае за развојот на лозарството. Средната годишна температура во Кавадарци изнесува 18,9°C, а во Демир Капија 19,5°C. Најтопли месеци во Кавадарци се јули и август, со средна месечна температура од 24,7°C, а најстуден е јануари со средна месечна температура од 1,5°C. Тиквешкото виногорско подрачје се одликува со доста високи температури на воздухот, особено во летниот период од годината. Во Демир Капија на 22 јули 1952 година е регистрирана највисока температура во Република Македонија од 44,5°C, а во Кавадарци таа изнесувала 41°C. Апсолутниот минимум на воздухот во Кавадарци е забележан на 27 јануари 1952 година од -17°C, а во Демир Капија таа изнесувала -22°C. Средниот број на летни денови во кои температурата на воздухот изнесува над 30°C за Демир Капија изнесува 68, а за Кавадарци е нешто помал.

### **Врнежи**

Поголем дел од Тиквешкиот виногорски реон се одликува со мали количини на врнежи, а територијата околу Градско се смета за локалитет со најмалку врнежи на метар квадратен на територијата на Република Македонија. Средната количина на врнежи во Кавадарци изнесува 484мм. Во Кавадарци најсушни се летните месеци јули и август, со средна месечна количина од 23 до 27мм. Просечните годишни денови со врнежи во Кавадарци изнесуваат од 63 до 112 дена. Ако вкупната сума на врнежи се подели со бројот на врнежливите денови, просечно доаѓа по 5мм на еден врнежлив ден.

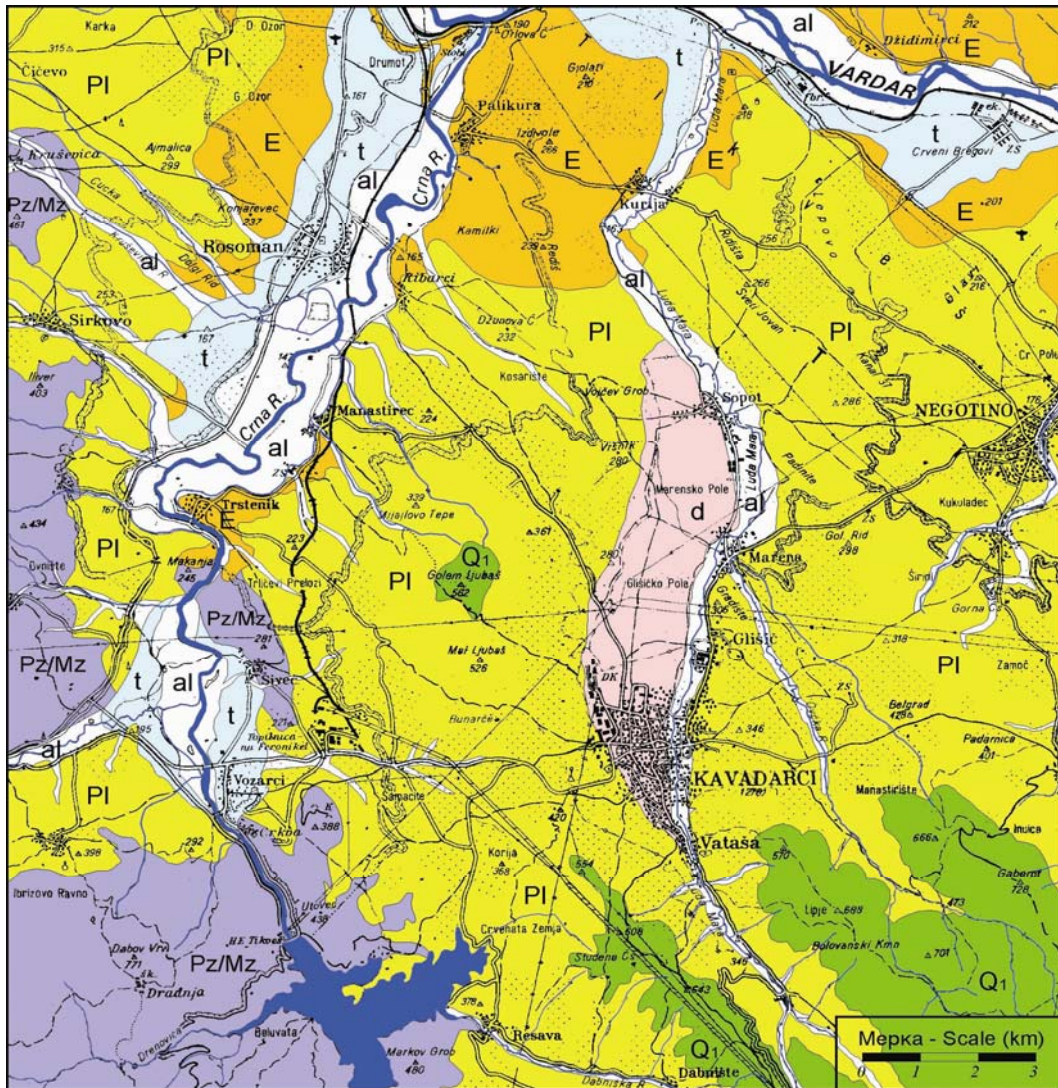
## **ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОБЛАСТА ТИКВЕШ**

Геолошките карактеристики на областа Тивеш досега биле предмет на истражувања од страна на поголем број геолози, но сепак најкомплетен опис можеме да најдеме во трудовите на Rakićević и соработниците (1965) и Hristov и соработниците (1965). Врз основа на овие истражувања кои се направени во рамките на изработката на Основната геолошка карта на Република Македонија во областа Тиквеш, лито-стратиграфската секвенца го има следниов редослед (сл.5).

Најстарите формации имаат правец северозапад-југоисточно протегање (NW-SE) и припаѓаат на внатрешниот дел на вардарската зона. Најдолниот палеозојски (Pz) метаморфен комплекс е претставен со две серии и тоа:

серија на амфиболски и амфиболско-хлоритски шкрилци со прослојци од мермери и серија на кварцно-серицитски шкрилци со прослојци од мермери и филити. По раседните структури во вардарската зона, во форма на издолжени ленти и испрекинати леки се појавуваат серпентинити. Крајниот југозападен дел од областа Тиквеш е претставен со мермери и доломити, веројатно со девонска старост. Преку серијата на палеозојските метаморфни карпи се развиени мезозојските (Mz) формации, главно од

доцниот креден период. Туронските (K2) песочници, конгломерати и масивни варовници се простираат кон југозападниот и западниот дел од областа Тиквеш. Дијабазите и супмаринските изливи на спилити се чести и во подолните делови од оваа секвенција, каде исто така се појавуваат и помали маси од габрови. Палеозојските и мезозојските карпи опфаќаат речиси 39 km<sup>2</sup> во југозападниот и западниот дел од областа Тиквеш.



al	Холоценски алувиум (Holocene alluvium)
t	Холоценски речни тераси (Holocene river terraces)
d	Холоценски делувиум (Holocene diluvium)
Q <sub>1</sub>	Плеистоценски туф (Pleistocene tuff)
PI	Пиоценска песоқлива серија (Pliocene sandy series)
E	Еоценска горна зона на флишот (Eocene upper flysch zone)
Pz/Mz	Област од Pz и Mz стени (Area of Palaeozoic and Mesozoic rocks)

Слика 5. Геолошка карта на областа Тиквеш (Стафилов и др., 2008)

Комплексот од терцијарни и кватерни седименти го опфаќа поголем дел од областа Тиквеш. Горноеоценски (4ЕЗ) флишни седименти и жолти песочници се појавуваат по должината на долините на реките Вардар, Црна Река и Луда Мара, како и во мал дел од тиквешкиот басен. Овие седименти со длабочина и до 3.500 m опфаќаат околу 34 km<sup>2</sup> главно во северниот дел од областа Тиквеш.

Тиквешкиот басен го пополнуваат плиоценски (P1) седименти, граничејќи се со реката Вардар на север и палеозојско-мезозојска формација, која се распростира во правец северо-запад - југоисток. Ова подрачје главно е претставено со серии од разновидни песоци. Овие серии се хомогени, содржат претежно жолт песок со ниска содржина на крупна песоклива глина (чакалесто песокливи глини) и финозрнест сив песочник, сиромашен со фосилни остатоци. Плиоценските (P1) седименти покриваат најголем дел (околу 182 km<sup>2</sup>) од централниот дел на областа Тиквеш.

Југоисточно од Кавадарци се наоѓаат кватернарни (Q) пирокластични вулканити со туфови, бречи и агломерати, кои опфаќаа токолу 25 km<sup>2</sup>.

Кватернарниот период е претставен со делувиум (d), речни тераси (t) и алувиум (al). Делувијалните седименти (12 km<sup>2</sup>) содржат груб материјал од околните карпи, измешан со глинесто-песочен материјал. По должината на реките Вардар, Црна Река и Луда Мара се формирани терасни седименти (23 km<sup>2</sup>). Терасите содржат чакал, песок и глини. Алувијалните седименти (40 km<sup>2</sup>) ги покриваат поплавните рамнини на реките Вардар, Црна Река и Луда Мара, и содржат главно песок и глина.

## **ПЕДОГЕНЕТСКИ КАРАКТЕР. НА ОБЛАСТА ТИКВЕШ**

Педогенетските карактеристики на областа Тиквеш се прикажани врз основа на деталниот педолошки опис на присутните типови на почви (сл.6).

### **Автоморфни почви**

**Литосолите** со профил од типот (A)-R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> се развиени или слабо развиени почви со максимална длабочина на солумот од 20 см, формирани се на цврста или слабо распукана карпа. Овие почви имаат ниска продуктивна способност како резултат на плиткиот солум, високата содржина на скелет и ниска содржина на глина. Овие почви немаат значење за земјоделското производство.

**Регосолите** со профил од типот (A)-C, се образуваат на растресити седименти. Се формираат со забрзана ерозија на почвениот профил на претходно развиени почви и со иницијални процеси на педогенеза која води кон создавање на слабо развиен хоризонт (A).

Овие почви се подложни на ерозија, така што се препорачуваат противерозивни заштитни мерки. Регосолите се карактеризираат со пониска плодност во споредба со соседните почви од кои настанале по пат на ерозија.

**Почвен комплекс од регосоли и литосоли** во областа Тиквеш се појавуваат во терените кои се одликуваат со поголем наклон, западно од Тиквешкото Езеро, во атарите на селата Дебриште, Камен Дол и Крушевица и северозападно до селото Долно Чичево.

**Почвен комплекс на литосоли, регосоли и рензини** многу често се забележува. Литосолите се забележуваат на највисоките делови од теренот. Многу често на површината каде има присуство на литосоли се забележува и појава на цврсти карпи. Регосолите се појавуваат на терените кои се одликуваат со малку поголем наклон, каде што по пат на ерозија солумот постепено се подмладува, додека рензините се појавуваат на порамните терени и во подножјето на ридиштата каде има појава на многу честа промена со регосолите и тоа на мали растојанија. Овој почвен комплекс е распространет во атарот на селото Дреново, потоа во атарите на селата Сирково, Камен Дол, Мрзен Ореовец, Дебриште и источно од населбата Градско на левата страна од реката Вардар.

**Почвен комплекс литосоли, регосоли и ранкери** се појавува на висорамнината Витачево во непосредна близина на Кавадарци. Литосолите и ранкерите се образувани врз основа од компактни вулкански туфови, а регосолите се образувани со еродирање на хумусно-акумулативниот хоризонт на ранкерите.

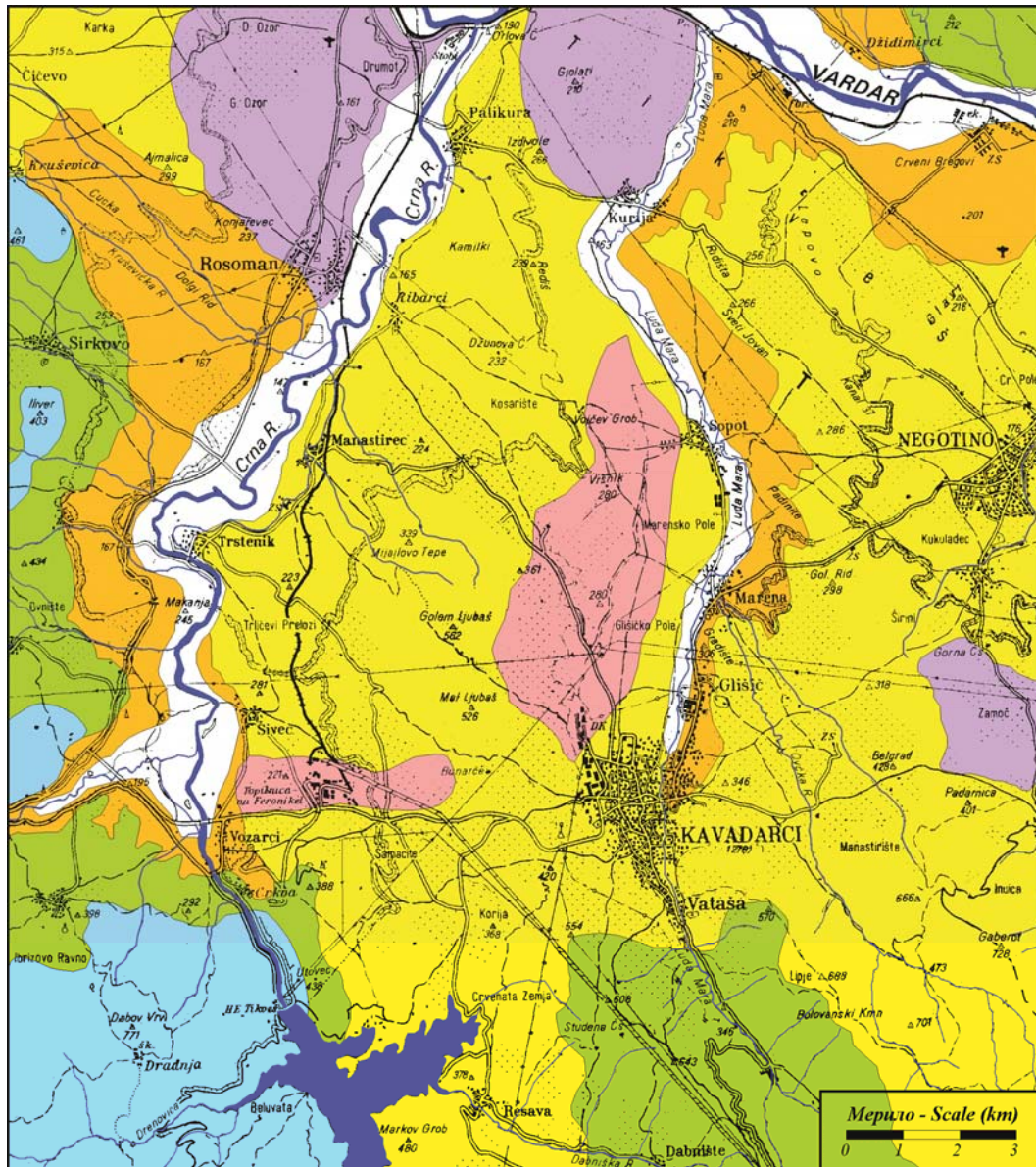
**Делувијално (колувијални почви)** се дефинирани како неразвиени и слабо развиени почви со можен (A) или Ar хоризонт. Имаат едноставна градба на профилот од типот (A)-C. Образувани се со еродирање и транспортирање на супстратот и почвите од повисоките терени со површинските води и со водите од поројните текови и со современа седиментација на така еродираниот материјал во подножните делови на теренот. Хоризонтот (A) содржи нешто поголема количина на хумус во споредба со хоризонтот (C), но сепак не постојат видливи знаци на образување на структурни агрегати. Делувијалните почви имаат голема хоризонтална и вертикална (по длабочина на профилот) хетерогеност на сите својства. Во споредба со алувијалните почви со кои граничат, имаат пониска продуктивна способност.








**Рензина** се почви со профил од типот A-AC-C. Се образуваат врз растресит силикатно-карбонатен супстрат со моличен хоризонт. Длабочината на хумусниот хоризонт изнесува до 40 см. Има темносива, темнокафеава до



црна боја, со добро изразена структура. Карбонатите се појавуваат на површината или на извесна длабочина. Најголемиот дел од рензините интензивно се користат во земјоделството, а еден дел се и под пасишта. На карта се претставени како комплекс на

рендзини и регосоли и комплекс на литосоли, регосоли и рендзини. Комплексот од рендзини и регосоли зафаќа најголема површина од областа Тиквеш. Во околината на селото Долно Чичево се појавуваат и мали површини од циметни шумски почви и регосоли.



	Алувијални почви (Fluvisol)
	Делувијални почви (Delluvial soil)
	Комплексе на литосоли - регосоли (Complex lithosol - regosol)
	Комплексе на регосоли - литосоли (Complex regosol - lithosol)
	Комплексе на рендзини - регосоли (Complex rendzina - regosol)
	Чернозем (Chernozem)
	Smolnica (Vertisol)

Слика 6. Педолошка карта на областа Тиквеш (Стафилов и др., 2008)

**Смолници** се почви образувани врз глинести седименти со повеќе од 30% на глина, што има дава својство на бабрење (сметити) или врз базични и ултрабазични карпи со чие распаѓање со добива поголема количина на глина. Смолниците во областа Тиквеш се развиени врз глинести терциерни седименти на слабобрановиден релјеф со мал наклон. Имаат тип на профил А-АС-С. Почвата содржи повеќе од 30% на глина и хоризонтот А има вертикални својства: пукнатини и карактеристична призматична структура. Хоризонтот А има длабочина поголема од 30 см, а хоризонтот АС е обично длабок 20-30 см. Во областа Тиквеш подрачјата под смолници се издвоени како самостоен почвен тип. Распространети се во непосредната околина на селата Рибарци, Трстеник и Возарци, како и северно од Кавадарци.

**Чернозем** е почвен тип на семиаридните степски региони со типичен моличен хоризонт А<sub>0</sub>, кој е подебел од 40 см и со преден хоризонт АС (25-30 см). Содржи СаСО<sub>3</sub> најчесто од површината и во долниот дел на хоризонтот А или АС. Хоризонтот А има добро изразена стабилна зрнеста структура. Во областа Тиквеш черноземите најчесто содржат карбонати од површината, а во дел од профилите се промиени до извесна длабочина во солумот. Черноземите се издвоени како посебни педолошки единици (сл.6) северно од селото Росоман, а помали површини се наоѓаат источно од селото Паликура и помеѓу селата Тимјаник и Долни Дисан.

**Циметни шумски почви** се почви со профил од типот Ар-(В)-С или Ар-(В)С-С. Се одликуваат со камбичен хоризонт (В), кој лежи меѓу хоризонтите А и С. Камбичниот хоризонт (В) секогаш содржи повеќе глина од хоризонтот А. Тој е позбиен, со намалена капиларна порозност, намалена стабилност на структурните агрегати и намалено водо пропуштање. Производната способност на овие почви нее голема.

#### **Хидроморфни почви**

**Алувијалните почви** се современи (рецентни) речни или езерски наноси на слоеви, а можат да имаат и хоризонт (А) или (Ар), па дури и G. За разлика од делувијалните почви се одликуваат со добра сортираност. Суспендираниот материјал од кој се образуваат овие почви има хетероген минералошко-петрографски состав. Според механичките својства, тоа се лесни почви. Макроструктурата е слабо изразена и затоа физичките својства зависат од механичкиот состав. Имаат добар воден, воздушен и тоplotен режим. Тоа се многу плодни почви и на нив се одвива интензивно земјоделско производство. Застапени се како самостоен почвен тип по течението на реките Вардар, Црна Река и Луда Мара.

## **ПРЕГЛЕД НА ДОСЕГАШНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА**

Резултати кои се однесуваат на определување на застапеноста на елементите во траги во вината кои се произведени во винариите во областа Тиквеш, како и во останатите вински региони во Република Македонија можат да се најдат во трудовите на: Julijana Cvetkovic, Sonja Arpadjanb, Irina Karadjova, Trajce Stafilov. (2002), Trajče Stafilov, Irina Karadjova (2009), Irina Karadjova, Julijana Cvetkovic, Trajce Stafilov, Sonja Arpadjan (2007), Irina Karadjova, Sonja Arpadjan, Julijana Cvetkovic and Trajce Stafilov (2004), Julijana Cvetković, Trajče Stafilov, Dragan Mihajlović (2001), Krste Tasev, Irina Karadjova, Sonja Arpadjan, Julijana Cvetkovic, Trajce Stafilov (2004, 2006, 2005). Исто така, резултати кои се однесуваат на геолошките, педогенетските, како и геохемиските карактеристики на реонот на Тиквеш и неговата поширока околина можат да се најдат во трудовите на: Blazo Boev *et all* (2005) и Trajce Stafilov *et all* (2008).

## **ЦЕЛИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО**

Во трудот со како основни цели кои се поставени во истражувањето се:

- Да се дефинираат геохемиските карактеристики на вината кои се произведени во домашни услови во областа Тиквеш преку изработка на геохемиски анализи на застапеноста на главните елементи (Al, Ca, K, Mg, Fe) и елементите во траги (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Pb, Sr, V, Zn), со примена на методите на ICP-AES и методата на електротермалната спектрометриска атомска апсорпција (ETAAS).
- Да се изврши определување на застапеноста на главните елементи и елементите во траги во почвите кои потекнуваат од лозјата од кои се произведени вината кои се предмет на геохемиски истражувања.
- Да се направи статистичка корелација помеѓу добиените резултати од геохемиските испитувања на вината и геохемиските испитувања на почвите и да се утврдат евентуалните корелации, доколку постојат.
- Да се направи статистичка корелација помеѓу застапеноста на елементите во траги во вината кои се произведени во домашни услови во областа Тиквеш и вината кои се произведени во винарските визби кои постојат во областа Тиквеш и во Република Македонија.
- Да се направат истражувања со примена на методите на изотопната геохемија (изотопи на стронциум <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) и добиените податоци да се споредат со другите вински региони во Европа, за да се дефинира потеклото на вината од областа Тиквеш.

## МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА

Истражувањата кои се дефинирани со целите на истражување во овој труд се реализирани преку примена на соодветни методи на истражување, а кои во основа се:

### Теренски методи на истражување

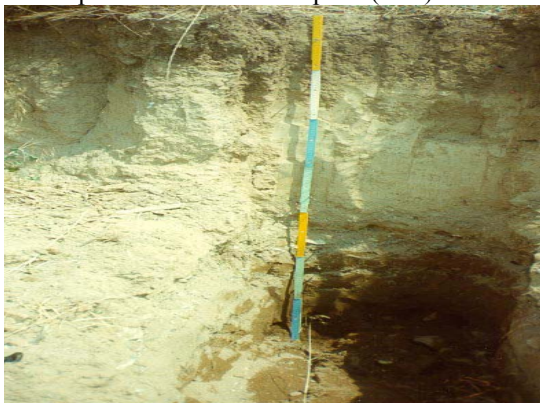
Теренските методи на истражување претставуваат многу важна истражувачка активност од која во многу зависат и понатамошните истражувачки резултати, а секако и изведувањето на завршните заклучоци. Во оваа магистерска работа овие методи се применети во целост во насока на:

- детален увид на теренот кој е предмет на истражување,
- изработка на план за теренски активности,
- собирање на примероци од почви со истовремено GPS позиционирање, пакување на пробите и нивно обележување,
- фотографирање на изработените профили во почвените хоризонти од кои се собрани примероците,
- евидентирање на сопствениците на лозови насади од чии лозја се собрани примероци од почви и примероци од вина,
- собирање на примероци од вина кои се произведени во домашни услови, пакување, евидентирање.

### Земање на примероци од почва

Земањето на примероците од почва е направено во согласност со општоприфатените методологии за работа, како што е методологијата FOREGS (методологија за изработка на Геохемиската карта на Европа). Во согласност со оваа методологија на работа се пристапи кон следново:

- Изработка на педолошки профил за детална анализа на параметрите на педолошкиот профил. За таа цел се изработи профил во длабочина од 1,5 метри на кој детално се согледаа сите потребни елементи кои се неопходни при земањето на почвени проби од аспект на определба на застапеноста на макро и елементите во траги (сл.7).



Слика 7. Изработка на педолошки профил

- Земање на примероци од почви во длабочина од 40 см, како најоптимален хоризонт кој е важен за детерминација на застапеноста на макроелементите и елементите во траги (сл. 8).
- Секоја проба од почва претставува збир на пет поединечни проби кои се земени на растојание од 10 метри од централната точка (сл.8).



Слика 8. Земање на поединечни проби од почви

### Лабораториски методи на истражување

За реализација на поставените цели, во магистерскиот труд се применети следниве методи на лабораториски истражувања:

- подготовка на пробите од почва и вино за геохемиска определба на застапеноста на макроелементите и елементите во траги (ISO-14507);
- подготовка на пробите од почва и вино, согласно со ISO-11466;
- определување на макроелементите и елементите во траги со примена на методите на ICP-AES И ETASS.

### Инструментација

Елементите кои се истражуваат се анализирани преку примената на атомската емисиона спектрометриска метода со двојна плазма (AES-ICP) и методата на електротермална спектрометриска атомска апсорпција (ETAAS). Со методата на AES-ICP следниве елементи беа истовремено мерени: Al, As, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, V и Zn. Концентрацијата на As, Cd, Co, Cr, Ni и Pb во примероците од вино беа пониски од ограничувањата на детекција од AES-ICP и заради тоа беа анализирани со ETAAS. Инструментите од типот на: Varian 715-ES Series ICP Optical Emission Spectrometer (Varian, USA) и Zeeman ETAAS Varian SpectrAA-640Z се користеа за анализата. Оптималните инструментални параметри за двете техники се дадени во табелите 3 и 4.

**Табела 3. Инструменти и услови за работа за ICP-AES систем (Varian, 715ES)**

RF Generator					
Operating frequency		40.68 MHz free-running, air-cooled RF generator			
Power output of RF generator		700–1700 W in 50 W increments			
Power output stability		Better than 0.1%			
Introduction Area					
Sample Nebulizer		V- groove			
Spray Chamber		Double-pass cyclone			
Peristaltic pump		0-50 rpm			
Plasma configuration		Radially viewed			
Spectrometer					
Optical Arrangement		Echelle optical design			
Polychromator		400 mm focal length			
Echelle grating		94.74 lines/mm			
Polychromator purge		0.5 L min <sup>-1</sup>			
Megapixel CCD detector		1.12 million pixels			
Wavelength coverage		177 nm to 785 nm			
Conditions for program					
RFG Power		1.0 kW	Pump speed		25 rpm
Plasma Ar flow rate		15 L min <sup>-1</sup>	Stabilization time		30 s
Auxiliary Ar flow rate		1.5 L min <sup>-1</sup>	Rinse time		30 s
Nebulizer Ar flow rate		0.75 L min <sup>-1</sup>	Sample delay		30 s
Background correction		Fitted	Number of replicates		3
Element	Wavelength	Element	Wavelength	Element	Wavelength
Al	396.152 nm	Cr	267.716 nm	Na	589.592 nm
As	188.980	Cu	324.754 nm	Ni	231.604 nm
Ba	455.403 nm	Fe	238.204 nm	Pb	220.353 nm
Ca	370.602 nm	K	769.897 nm	Sr	407.771 nm
Cd	226.502	Mn	257.610 nm	Zn	213.857 nm
Co	230.786 nm	Mg	279.553	V	292.401

**Табела 4. Оптимални инструментални параметри за ETAAS одредување од Varian SpectrAA-604Z**

Parameter	As	Cd	Co	Cr	Ni	Pb
Wavelength	193.7 nm	228.8 nm	242.5 nm	357.9 nm	232.0 nm	283.3 nm
Spectral width slit	0.2 nm	0.5 nm	0.2 nm	0.2 nm	0.2 nm	0.5 nm
Calibration mode	Peak area					
Lamp current	10.0 mA	4.0 mA	7.0 mA	7.0 mA	4.0 mA	5.0 mA
DRY						
Temperature	120 °C	120 °C	120 °C	120 °C	120 °C	120 °C
Ramp time	55 s	55 s	55 s	55 s	55 s	55 s
Hold time	-	-	-	-	-	-
PYROLYSIS						
Temperature	1400 °C	250 °C	750 °C	1000 °C	900 °C	200 °C
Ramp time	10 s	5 s	5 s	10 s	5 s	5 s
Hold time	37 s	22 s	22 s	30 s	22 s	22 s
ATOMIZING						
Temperature	2600 °C	1800 °C	2300 °C	2600 °C	2400 °C	2100 °C
Ramp time	0.6 s	0.8 s	1.1 s	1.2 s	1.1 s	1 s
Hold time	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s
CLEANING						
Temperature	2600 °C	1800 °C	2300 °C	2600 °C	2400 °C	2100 °C
Time	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s
Ramp time	-	-	-	-	-	-
SHEATH GAS	Argon					

### Реагенси и стандарди

Stock solutions (11355-ICP Multi Element Standard IV, Merck) на 23 елементи со концентрација од  $1.000 \text{ mgL}^{-1}$  беше искористено за понатамошно растворање. Подготвени се условите за работа, според условите за растворање со 1 molar азотна киселина. Сите хемиски реагенси се од аналитичка категорија: хидро-флуорна киселина р.а. (Fluka, Germany); perchloric acid р.а. (Alkaloid, Macedonia); хидро-хлорна р.а. (MERCK, Germany) и азотна киселина р.а. (MERCK, Germany). Садовите што се користат беа претходно измениени со миење за 24 часа секој во сразмер 1 дел  $\text{HNO}_3$  и 3 дела  $\text{HCl}$ , проследени со плакнење со двојно дестилирана вода.

### Примерок од почва и подготовка на примерокот од почва

Сите примероци од почва беа сушени со воздух. Целиот материјал беше раширен во слој не подебел од 15 mm, на подлога која не апсорбира влага од почвата и не предизвикува контаминација. Важно е тоа дека беше избегната директна сончева енергија. Ако примероците се исушат во грутки, потребно е да се раздробат. Пред раздробување, треба да се отстранат камењата, остатоците од стакло и ѓубре кои се поголеми од 2 mm преку просејување или рачно. Треба да се внимава да се минимизира делот од материјал на одделните камења. По сушењето, примероците од почва се дробат и толчат.

### Процедура за подготовка на примероци од почвата за хемиска анализа

Точна тежина од 0,500 g од смелениот примерок од почва и поставен во тефлонски сад за дигестија, се додава 10 mL азотна киселина. Садот се поставува на азбесна плоча на  $100^\circ\text{C}$  и се додава околу 1 mL од остатокот од азотната киселина. Се забележува дека неколку последователни додавања на азотна киселина може да бидат неопходни додека емисијата не престане да се отргнува од целата органска материја. По последното додавање на азотната киселина, се отстранува садот од топлата плоча и се лади на собна температура пред да се направи дигестија. По оладувањето се додаваат 10 mL хлороводородна киселина и 3 mL од перхлорна киселина. Се загрева смесата на топла плоча додека да се згусти и да престане испарувањето на перхлорната киселина и силициум тетрафлуорид. Не треба да се

дозволи смесата целосно да се исуши. Садот се трга од топлата плоча и се лади, се додаваат 2 mL хлороводородна киселина или 2 mL азотна киселина и околу 5 mL вода за да се разблажи остатокот. Се пренесува растворот квантитативно во 50 mL волуметриско шише и се полни до обележувањето и добро се промешува.

### Постапки за подготовка на примерок вино

Примерокот од вино (15,0 mL) се става во кварцна печка и полека се додава етанол, сè додека примерокот не достигне волумен од 8 mL. Потоа квантитативно се става во 25 mL волуметриско шише и се стабилизира со концентрирана  $\text{HCl}$ .

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

### Геохемиски испитувања на почви

Резултатите кои се добиени со испитувањето на застапеноста на макроелементите и елементите во траги во почвите кои се земени од областа Тиквеш, како и застапеноста на макроелементите и елементите во траги во вината кои се произведени од грозје кое е произведено на истите површини од каде потекнуваат почвените проби се прикажани во Табелата 5.

Анализата на податоците и изработката на картите се извршени со PC со примена на различни софтвери: Paradox (ver. 9), Statistica (ver. 6.1), AutoDesk Map (ver. 2008) и Surfer (ver. 8.09).

Сите податоци од теренот, од анализите и мерењата се внесени во матрица на податоци. За секој примерок има 45 променливи: број за идентификација на примерокот, вид на земениот материјал, географски координати (X, Y, Z), вид на анализа, намена на земјиштето, основни литолошки карактеристики, ниво на загаденост на почвата и определување на 19 анализирани елементи (Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Na, Mg, Ni, Pb, Sr, V, Zn) со методот ICP-MS.

Степенот на поврзаност на содржината на хемиските елементи во почвите е проценет со линеарна корелација на коефициентот  $r$  на нивните содржини во примероците. Земено е дека апсолутна вредност на  $r$  од 0,3 до 0,7 индицира добра асоцијација, а помеѓу 0,7 и 1,0 силна поврзаност помеѓу елементите.

**Табела 5. Застапеност на макроелементи и елементи во траги во почви од областа Тиквеш (ICP-AES, ETASS, во mg/kg)**

Proba	Sorta na vino	Reon-atar	Primeroci od pocvi	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Cd (mg/kg)
I-1/2	Kratosija/Smederevka	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	29136	14,6	250,5	18912	0,1
I-5	Burundec	Glisicki Atar	latt 41.460129° / long 22.014170°	21881	13,8	341,3	15755	0,1
I-6	Smederevka	Poroj(Nad Otpad)	latt 41.453508°/ long 21.997288°	39775	12,5	425,3	49579	0,3
I-7	Smederevka	Drenovo	latt 41.432973°/ long 21.881231°	29673	17,0	265,5	39903	0,1
I-8	Kratosija	Drenovo	latt 41.432892°/ long 21.889044°	24341	4,8	235,5	83053	0,3
I-9	Burundec	Sirkovo	latt 41.445288°/ long 21.907220°	35846	11,5	244,9	11531	0,1
I-10	Rizling	Ribarci	latt 41.507803°/ long 21.976810°	37994	11,5	282,9	70535	0,1
I-11	Kratosija	Goligaz	latt 41.445470°/ long 21.986805°	32709	1,2	460,4	35912	0,2
I-12	Vranec	Ovcka Reka	latt 41.436889°/ long 22.054705°	27095	14,7	274,8	18722	0,2
I-13	Smederevka	Kurii-Lazarica	latt 41.521023°/ long 22.023823°	31059	9,9	299,6	48398	0,2
I-14 mk	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175°/ long 22.043180°	18543	14,7	405,1	9140	0,2
I-14 ck	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175°/ long 22.043180°	17978	14,0	266,3	15108	0,5
I-15	Smederevka	Krivi Dol Resava	latt 41.403094°/ long 21.977884°	39148	10,1	233,2	85519	0,4
I-16	Kratosija	Kalnica	latt 41.421496°/ long 22.021953°	39346	8,6	374,3	30745	0,1
I-17	Smederevka	Korjia-Resava	latt 41.409952°/ long 21.977952°	44972	25,4	319,3	62644	0,1
I-18	Kaberne	Sopot	latt 41.508380°/ long 22.006101°	32424	17,1	422,9	25952	0,1
I-19	Belan	Kopacot	latt 41.418623°/ long 22.003520°	41469	14,1	357,6	65030	0,0
I-20/21	Kratosija/Sardone	Kurii	latt 41.527615°/ long 22.005905°	20671	83,0	526,8	11124	0,1
I-22	Smederevka	Gradevica	latt 41.393553°/ long 21.986142°	42465	13,0	320,7	71886	0,1
I-23/26	Smederevka/Stanosina	Dabniste	latt 41.384672°/ long 22.006563°	23555	78,0	445,0	19965	0,1
I-24	Vranec	Begniste	latt 41.358727°/ long 21.994742°	19333	12,8	236,4	17513	0,1
I-25	Merlo	Krnjevo-Plostovo	latt 41.310944°/ long 22.125286°	30501	9,5	200,0	20254	0,0
I-27	Kratosija	Kruska	latt 41.465574°/ long 22.044982°	30629	7,4	300,7	35033	0,0
I-28	Vranec	Mokliste	latt 41.387880°/ long 22.046183°	25099	3,8	717,7	16734	0,0
I-29	Smederevka+Kratos	Rosoman(Konjarovec)	latt 41.520796°/ long 21.931591°	39369	8,7	269,1	59715	0,2
I-30	Kratosija	Dolni Disan	latt 41.448101°/ long 22.090495°	40570	21,9	262,7	65629	0,1
I-31	Rekaciteli	Krnjevo(Plostovo)	latt 41.313702°/ long 22.125842°	26426	6,2	145,1	17179	0,0
I-32	Kaberne	Krnjevo(Polet)	latt 41.310946°/ long 22.131133°	28387	5,1	267,9	24982	0,0
I-33	Kratosija	LJubas	latt 41.443418°/ long 21.987745°	35244	13,1	295,0	61618	0,1
I-34	Smederevka	Belgrad	latt 41.424559°/ long 22.041539°	37865	12,5	372,4	42831	0,0
I-36	Vranec	Palikura	latt 41.527579°/ long 21.975896°	31372	6,0	228,6	88862	0,1
I-38	Kratosija	Bel Kamen	latt 41.430558°/ long 21.997249°	31477	4,4	300,4	67769	0,1
I-Baco	Vaso Pecata	Kurii	latt 41.528463°/ long 21.999830°	24719	11,9	225,0	70201	0,1
				Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Cd (mg/kg)
				<2	<0.01	<0.1	<10	<0.01

Proba	Sorta na vino	Reon-atar	Primeroci od pocvi	Co(mg/kg)	Cr(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Fe(mg/kg)	K(mg/kg)
I-1/2	Kratosija/Smederevka	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	21,2	144,3	31,0	27445	14433
I-5	Burundec	Glisicki Atar	latt 41.460129° / long 22.014170°	17,3	99,8	22,8	27507	13820
I-6	Smederevka	Poroj(Nad Otpad)	latt 41.453508°/ long 21.997288°	15,9	68,0	35,5	25338	14092
I-7	Smederevka	Drenovo	latt 41.432973°/ long 21.881231°	17,3	130,0	27,7	25179	14878
I-8	Kratosija	Drenovo	latt 41.432892°/ long 21.889044°	12,5	97,2	36,9	14805	12308
I-9	Burundec	Sirkovo	latt 41.445288°/ long 21.907220°	37,6	442,4	25,1	34744	10897
I-10	Rizling	Ribarci	latt 41.507803°/ long 21.976810°	13,4	59,6	11,3	19700	10924
I-11	Kratosija	Goligaz	latt 41.445470°/ long 21.986805°	14,9	77,4	27,5	23518	13850
I-12	Vranec	Ovcka Reka	latt 41.436889°/ long 22.054705°	16,6	93,3	26,9	26915	11774
I-13	Smederevka	Kurii-Lazarica	latt 41.521023°/ long 22.023823°	12,2	76,3	12,8	21710	10755
I-14 mk	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175°/ long 22.043180°	14,4	76,2	22,4	24602	13627
I-14 ck	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175°/ long 22.043180°	11,0	71,9	18,5	21619	12514
I-15	Smederevka	Krivi Dol Resava	latt 41.403094°/ long 21.977884°	15,5	105,8	17,5	22374	11120
I-16	Kratosija	Kalnica	latt 41.421496°/ long 22.021953°	17,1	70,5	30,2	26998	14005
I-17	Smederevka	Korjia-Resava	latt 41.409952°/ long 21.977952°	18,7	107,0	29,5	29218	13472
I-18	Kaberne	Sopot	latt 41.508380°/ long 22.006101°	14,6	61,6	13,4	23537	13275
I-19	Belan	Kopacot	latt 41.418623°/ long 22.003520°	16,3	69,9	18,2	26375	12862
I-20/21	Kratosija/Sardone	Kurii	latt 41.527615°/ long 22.005905°	13,2	69,9	21,7	21609	14228
I-22	Smederevka	Gradevica	latt 41.393553°/ long 21.986142°	17,7	88,5	36,2	27063	13761
I-23/26	Smederevka/Stanosina	Dabniste	latt 41.384672°/ long 22.006563°	11,4	69,2	25,5	20439	16258
I-24	Vranec	Begniste	latt 41.358727°/ long 21.994742°	18,4	182,2	43,8	28436	10147
I-25	Merlo	Krnjevo-Plostovo	latt 41.310944°/ long 22.125286°	25,8	155,2	27,5	36470	4980
I-27	Kratosija	Kruska	latt 41.465574°/ long 22.044982°	14,4	65,8	20,5	21950	12302
I-28	Vranec	Mokliste	latt 41.387880°/ long 22.046183°	11,1	30,6	12,8	18517	19038
I-29	Smederevka+Kratos	Rosoman(Konjarovec)	latt 41.520796°/ long 21.931591°	16,1	71,8	19,8	24234	12975
I-30	Kratosija	Dolni Disan	latt 41.448101°/ long 22.090495°	15,5	74,7	16,3	25602	11861
I-31	Rekaciteli	Krnjevo(Plostovo)	latt 41.313702°/ long 22.125842°	26,9	166,8	30,2	35131	4187
I-32	Kaberne	Krnjevo(Polet)	latt 41.310946°/ long 22.131133°	21,9	127,9	26,6	34983	8426
I-33	Kratosija	LJubas	latt 41.443418°/ long 21.987745°	15,4	67,7	31,8	22491	12617
I-34	Smederevka	Belgrad	latt 41.424559°/ long 22.041539°	19,0	77,5	27,2	27409	14167
I-36	Vranec	Palikura	latt 41.527579°/ long 21.975896°	13,3	91,8	12,8	17991	8778
I-38	Kratosija	Bel Kamen	latt 41.430558°/ long 21.997249°	17,4	72,1	46,3	21047	13465
I-Baco	Vaso Pecata	Kurii	latt 41.528463°/ long 21.999830°	17,4	104,6	18,9	19457	9079
				Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	K (mg/kg)
				<0.5	<1	<0.5	<1	<2

Табела 5. (продолжение)

Proba	Sorta na vino	Reon-atar	Primeroci od pocvi	Li(mg/kg)	Mg(mg/kg)	Mn(mg/kg)	Na(mg/kg)	Ni(mg/kg)
I-1/2	Kratosija/Smederevka	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	32,2	12371	526	4879	112,0
I-5	Burundec	Glisicki Atar	latt 41.460129° / long 22.014170°	23,6	10357	661	7990	65,2
I-6	Smederevka	Poroj(Nad Otpad)	latt 41.453508° / long 21.997288°	17,4	7806	565	7956	50,6
I-7	Smederevka	Drenovo	latt 41.432973° / long 21.881231°	24,2	5579	539	4551	99,8
I-8	Kratosija	Drenovo	latt 41.432892° / long 21.889044°	16,6	3769	435	4532	64,2
I-9	Burundec	Sirkovo	latt 41.445288° / long 21.907220°	21,2	23195	794	4957	528,5
I-10	Rizling	Ribarci	latt 41.507803° / long 21.976810°	15,7	7954	450	7214	42,0
I-11	Kratosija	Goligaz	latt 41.445470° / long 21.986805°	15,1	6645	492	8026	76,3
I-12	Vranec	Ovcka Reka	latt 41.436889° / long 22.054705°	20,6	9142	509	7373	66,0
I-13	Smederevka	Kurii-Lazarica	latt 41.521023° / long 22.023823°	14,2	5093	439	6983	52,6
I-14 mk	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175° / long 22.043180°	19,3	8962	606	9420	50,3
I-14 ck	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175° / long 22.043180°	16,0	8174	516	7336	49,3
I-15	Smederevka	Krivi Dol Resava	latt 41.403094° / long 21.977884°	16,1	7267	574	4669	71,1
I-16	Kratosija	Kalnica	latt 41.421496° / long 22.021953°	20,1	12606	660	8611	56,9
I-17	Smederevka	Korija-Resava	latt 41.409952° / long 21.977952°	21,3	10648	637	4596	78,4
I-18	Kaberne	Sopot	latt 41.508380° / long 22.006101°	17,0	9520	616	8939	47,0
I-19	Belan	Kopacot	latt 41.418623° / long 22.003520°	19,1	13574	553	5741	57,6
I-20/21	Kratosija/Sardone	Kurii	latt 41.527615° / long 22.005905°	18,2	9289	547	10451	56,7
I-22	Smederevka	Gradevica	latt 41.393553° / long 22.046142°	20,4	10663	616	6564	65,5
I-23/26	Smederevka/Stanosina	Dabniste	latt 41.384672° / long 22.006563°	18,3	7857	397	11009	41,3
I-24	Vranec	Begniste	latt 41.358727° / long 21.994742°	24,3	8152	542	3385	139,1
I-25	Merlo	Krnjevo-Plostovo	latt 41.310944° / long 22.125286°	16,2	13387	700	6061	82,2
I-27	Kratosija	Kruska	latt 41.465574° / long 22.044982°	16,7	8429	536	8427	52,5
I-28	Vranec	Mokliste	latt 41.387880° / long 22.046183°	15,9	8291	480	13975	24,0
I-29	Smederevka+Kratos	Rosoman(Konjarovec)	latt 41.520796° / long 21.931591°	16,4	17681	600	10088	50,4
I-30	Kratosija	Dolni Disan	latt 41.448101° / long 22.090495°	14,6	10510	568	9426	55,7
I-31	Rekaciteli	Krnjevo(Plostovo)	latt 41.313702° / long 22.125842°	13,7	10598	695	4031	96,1
I-32	Kaberne	Krnjevo(Polet)	latt 41.310946° / long 22.131133°	12,7	11764	646	7586	64,0
I-33	Kratosija	Ljubas	latt 41.443418° / long 21.987745°	16,1	10058	593	5637	57,2
I-34	Smederevka	Belgrad	latt 41.424559° / long 22.041539°	19,1	13121	651	6886	61,1
I-36	Vranec	Palikura	latt 41.527579° / long 21.975896°	16,3	5652	491	5990	65,9
I-38	Kratosija	Bel Kamen	latt 41.430558° / long 21.997249°	17,5	9965	703	6059	66,5
I-Baco	Vaso Pecata	Kurii	latt 41.528463° / long 21.999830°	22,7	9696	583	5446	104,9
				Li (mg/kg) <1	Mg (mg/kg) <1	Mn (mg/kg) <0,5	Na (mg/kg) <1	Ni (mg/kg) <1
Proba	Sorta na vino	Reon-atar	Primeroci od pocvi	Pb(mg/kg)	Sr(mg/kg)	V(mg/kg)	Zn(mg/kg)	
I-1/2	Kratosija/Smederevka	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	13,8	53,0	86,9	61,2	
I-5	Burundec	Glisicki Atar	latt 41.460129° / long 22.014170°	11,3	87,2	87,2	65,7	
I-6	Smederevka	Poroj(Nad Otpad)	latt 41.453508° / long 21.997288°	22,0	204,0	72,6	43,6	
I-7	Smederevka	Drenovo	latt 41.432973° / long 21.881231°	16,6	66,1	78,8	55,2	
I-8	Kratosija	Drenovo	latt 41.432892° / long 21.889044°	10,2	109,6	48,6	40,2	
I-9	Burundec	Sirkovo	latt 41.445288° / long 21.907220°	18,2	76,2	67,5	60,7	
I-10	Rizling	Ribarci	latt 41.507803° / long 21.976810°	15,3	137,0	56,0	37,7	
I-11	Kratosija	Goligaz	latt 41.445470° / long 21.986805°	23,8	206,0	66,5	43,1	
I-12	Vranec	Ovcka Reka	latt 41.436889° / long 22.054705°	1,9	54,3	79,7	48,7	
I-13	Smederevka	Kurii-Lazarica	latt 41.521023° / long 22.023823°	10,8	123,7	63,3	33,2	
I-14 mk	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175° / long 22.043180°	24,2	135,1	80,4	57,5	
I-14 ck	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175° / long 22.043180°	11,8	48,9	63,2	40,2	
I-15	Smederevka	Krivi Dol Resava	latt 41.403094° / long 21.977884°	12,8	100,6	61,1	37,7	
I-16	Kratosija	Kalnica	latt 41.421496° / long 22.021953°	18,5	147,6	67,5	64,2	
I-17	Smederevka	Korija-Resava	latt 41.409952° / long 21.977952°	9,7	94,6	73,6	55,1	
I-18	Kaberne	Sopot	latt 41.508380° / long 22.006101°	14,3	145,0	70,5	41,0	
I-19	Belan	Kopacot	latt 41.418623° / long 22.003520°	15,5	188,8	74,8	46,6	
I-20/21	Kratosija/Sardone	Kurii	latt 41.527615° / long 22.005905°	17,2	165,7	69,4	42,7	
I-22	Smederevka	Gradevica	latt 41.393553° / long 22.046142°	15,6	131,8	77,2	58,3	
I-23/26	Smederevka/Stanosina	Dabniste	latt 41.384672° / long 22.006563°	8,6	99,4	63,0	35,8	
I-24	Vranec	Begniste	latt 41.358727° / long 21.994742°	13,4	40,9	95,0	72,4	
I-25	Merlo	Krnjevo-Plostovo	latt 41.310944° / long 22.125286°	19,0	79,1	136,7	50,2	
I-27	Kratosija	Kruska	latt 41.465574° / long 22.044982°	4,6	85,8	62,1	42,6	
I-28	Vranec	Mokliste	latt 41.387880° / long 22.046183°	21,5	401,6	64,1	35,4	
I-29	Smederevka+Kratos	Rosoman(Konjarovec)	latt 41.520796° / long 21.931591°	20,0	185,8	66,2	49,4	
I-30	Kratosija	Dolni Disan	latt 41.448101° / long 22.090495°	4,3	173,5	69,5	55,8	
I-31	Rekaciteli	Krnjevo(Plostovo)	latt 41.313702° / long 22.125842°	24,9	65,7	137,9	49,8	
I-32	Kaberne	Krnjevo(Polet)	latt 41.310946° / long 22.131133°	14,2	154,8	127,9	49,3	
I-33	Kratosija	Ljubas	latt 41.443418° / long 21.987745°	10,0	124,9	70,4	54,1	
I-34	Smederevka	Belgrad	latt 41.424559° / long 22.041539°	19,4	119,6	78,2	55,8	
I-36	Vranec	Palikura	latt 41.527579° / long 21.975896°	4,7	198,2	57,1	36,1	
I-38	Kratosija	Bel Kamen	latt 41.430558° / long 21.997249°	16,3	168,6	75,9	59,3	
I-Baco	Vaso Pecata	Kurii	latt 41.528463° / long 21.999830°	13,3	190,3	65,7	43,3	
				Pb (mg/kg) <1	Sr (mg/kg) <1	V (mg/kg) <5	Zn (mg/kg) <0,005	

Дистрибуцијата на елементите кои ги одразуваат природните процеси вклучува елементи кои многу ретко или воопшто не се застапени во индустриските процеси. Нивната содржина обично постепено се менува низ пределот и зависи од основниот геолошки состав. Врз основа на резултатите од факторната анализа и трендовите прикажани на геохемиските карти

се дефинирани четири геохемиски асоцијации во почвите. Карактеристично за природно дистрибуираните геохемиски асоцијации е што содржината на хемиските елементи се зголемува во подолните слоеви.

### **Геохемиска асоцијација Al-Fe-Ga-Sc-V**

Најкарактеристична асоцијација е онаа со високи содржини на Al, Fe, Ga, Sc и V и е означена како збирен фактор 1. Најсилниот фактор 1 содржи високи вредности на наведените елементи, објаснувајќи така 19% од вкупната варијабилност на податоците за 24-те избрани хемиски елементи. Нивното потекло е главно резултат на одредени природни феномени, како што се изложеноста на карпите на атмосферските услови и хемиските процеси во почвата. Може да се додаде и фактот дека дистрибуцијата на вредностите за факторот 1 (Al, Fe, Ga, Sc и V) во површинскиот и во долниот слој е многу зависна од литогенезата на областа. Највисоките вредности за нивната содржина се најдени во областа на палеозојските и мезозојските карпи (внатрешниот дел на вардарската зона) и во горноеоценската флишна зона; најниските вредности се утврдени во областа на холоценските алувијални седименти на Црна Река.

### **Геохемиска асоцијација Co-Cr-Mg-Ni**

Асоцијацијата илустрирана со факторот 2 се состои од Co, Cr, Mg и Ni. Вториот значаен фактор, факторот 2, има високи вредности на наведените елементи, претставувајќи така 15% од вкупната варијабилност на обработуваните елементи. Слично како и дистрибуцијата на вредностите за факторот 1, и просторната дистрибуција на вредностите за факторот 2 (Co, Cr, Mg и Ni) во двата испитувани слоја од почвата многу е зависна од литогенезата. Највисоки содржини се најдени во областите на палеозојските и мезозојските карпи и во зоната на горноеоценскиот флиш, а најниските вредности во областа на плеистоценскиот туф, холоценскиот делувиум (западно од градот Кавадарци) и холоценскиот алувиум на реките Луда Мара, Црна Река и Вардар.

### **Геохемиска асоцијација Ca-Sr**

Природната асоцијација на Ca и Sr е објаснета со факторот 4, кој претставува најслабо изразен природен фактор (8,5 % од вкупната варијабилност на податоците). Највисоките вредности на факторот 4, како и највисоката содржина на Ca и Sr, се јавуваат во областите на горноеоценската флишна зона и плиоценските песочни серии, а нивните најниски вредности се во областа на палеозојските и мезозојските карпи. Факторот 4 ја објаснува распределбата на карбонатите во испитуваната област.

### **Антропогена распределба на хемиските елементи**

Просторната распределба на елементите претставува загадување кога тие се внесени во животната средина како резултат на човековите активности. Во случај на произведени хемиски елементи со човекова активност, нивната содржина може да се зголеми неколку

пати повеќе во однос на нивната природна застапеност. Обично до вакви појави доаѓа во близина на главни сообраќајници, раскрсници, депонии на отпад, индустриски зони и термоцентрали. Карактеристично за антропогено распределените геохемиски асоцијации е што содржините на хемиските елементи во почвите се намалуваат со длабочината.

### **Геохемиска асоцијација Cd-Hg-Pb-Zn**

Групата која ги вклучува Cd, Hg, Pb и Zn претставува асоцијација на хемиски елементи кои се внесени во животната средина преку човековите активности. Оваа геохемиска асоцијација е означена како фактор 5. Тој претставува 19% од вкупната варијабилност. Карактеристично за оваа асоцијација е збогатувањето со елементи во површинскиот слој на почвата наспроти долниот слој. Високата содржина, како и збогатувањето на овие елементи во површинскиот слој е посебно изразено во областа на палеозојските и мезозојските карпи.

### **Геохемиска асоцијација As-Sb-Tl**

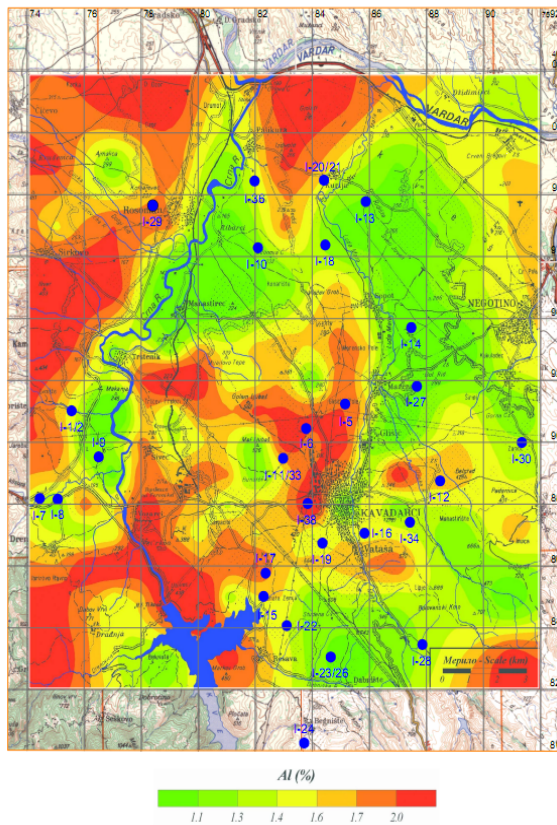
Асоцијацијата означена како фактор 6 ги опфаќа As, Sb и Tl. Овој фактор ги содржи високите вредности на овие елементи, претставувајќи 9,8% од вкупната варијабилност. Интересно е што вредностите на содржините на As, Sb и Tl се на ниво на европските средни вредности или малку над нив. Примероците земени од холоценскиот алувиум на Црна Река покажуваат високи содржини на овие елементи. Вредностите на нивните средни фактори на збогатување ги надминуваат средните вредности за целата испитувана област од 4 до 4,5 пати.

### **Геохемиска асоцијација K-P**

Антропогената асоцијација на K и P е илустрирана со факторот 7 кој е најслабо изразен (7.4 % од вкупната распределба на податоците). Највисоки вредности за факторот 7, како и највисока содржина на калиум и фосфор, се појавуваат во површинскиот слој на холоценскиот алувиум и во холоценските речни тераси на Црна Река и во поширокото подрачје на градот Кавадарци. Факторот 7 ја претставува распределбата на елементите во истражуваното подрачје кои се внесуваат во почвата преку вештачките ѓубрива кои содржат калиум и фосфор. Високата содржина на елементите до факторот 7 е резултат на нивното внесување поради интензивното земјоделство во подолг временски период. Просторната распределба на анализираниите елементи кои се одредени во примероците од почви од областа Тиквеш е прикажана на геохемиските подлоги од публикацијата "Geochemical Atlas of Kavadarci and Environs" (Stafilov, Boev et al, 2008), на сликите 9-22. Статистичките параметри се прикажани на табелите 5 и 6.

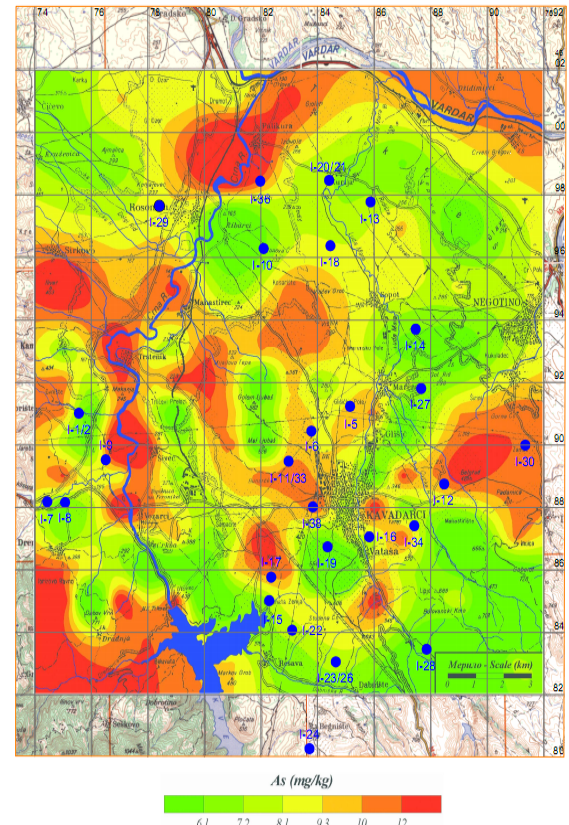


ГЕОХЕМИСКА КАРТА НА ЗАСТАПЕНОСТ НА Al VO ПО^VATA NA DLABI NA DO 1m  
M 1:100 000



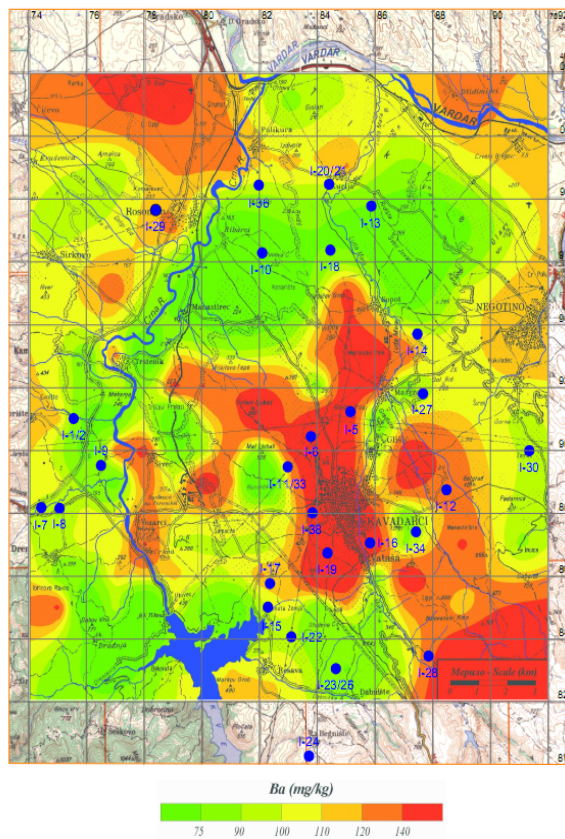
Слика 9. Просторна распределба на Al

ГЕОХЕМИСКА КАРТА НА ЗАСТАПЕНОСТ НА As VO ПО^VATA NA DLABI NA DO 1m  
M 1:100 000



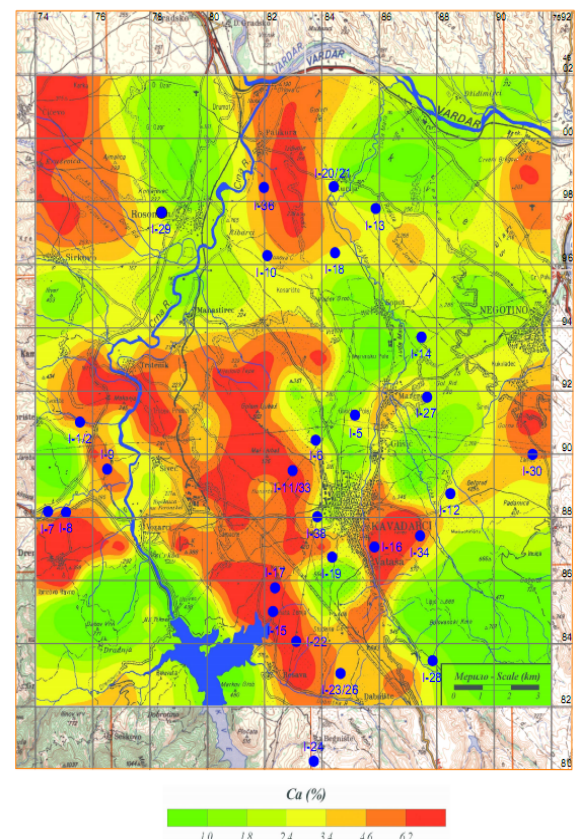
Слика 10. Просторна распределба на As

ГЕОХЕМИСКА КАРТА НА ЗАСТАПЕНОСТ НА Ba VO ПО^VATA NA DLABI NA DO 1m  
M 1:100 000



Слика 11. Просторна распределба на Ba

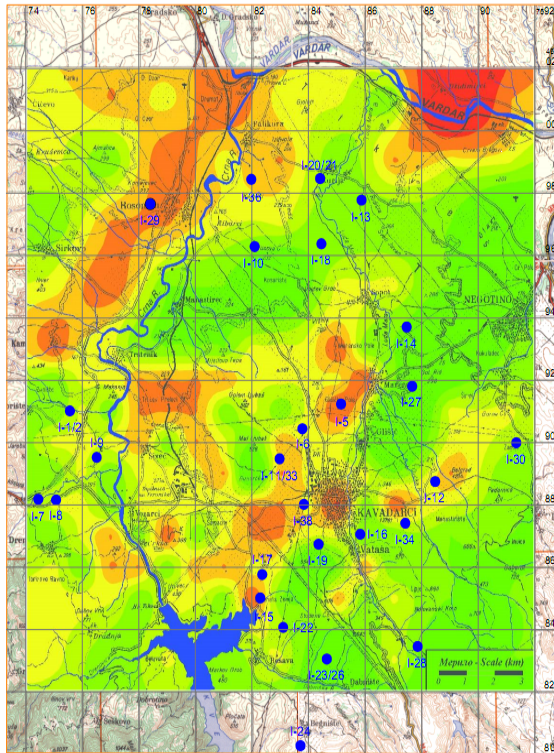
ГЕОХЕМИСКА КАРТА НА ЗАСТАПЕНОСТ НА Ca VO ПО^VATA NA DLABI NA DO 1m  
M 1:100 000



Слика 12. Просторна распределба на Ca

GEOHEMI SKA KARTA NA ZASTAPENOST NA Cd VO PO^VATA NA DLABI NA DO 1 m

M 1:100 000



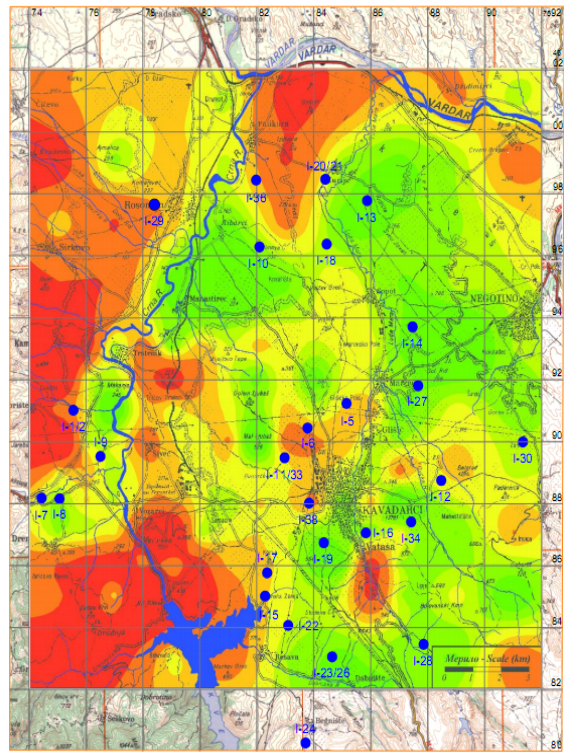
Cd (mg/kg)



Слика 13. Просторна распределба на Cd

GEOHEMI SKA KARTA NA ZASTAPENOST NA Co VO PO^VATA NA DLABI NA DO 1 m

M 1:100 000



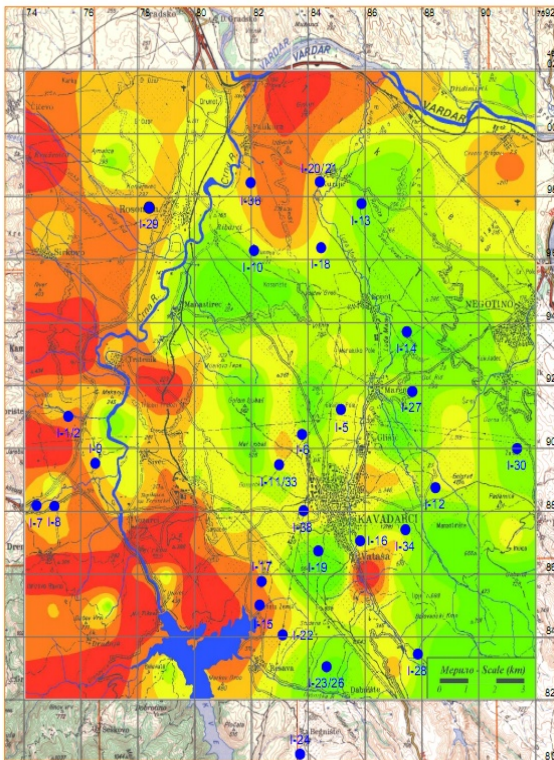
Co (mg/kg)



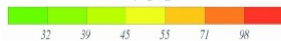
Слика 14. Просторна распределба на Co

GEOHEMI SKA KARTA NA ZASTAPENOST NA Cr VO PO^VATA NA DLABI NA DO 1 m

M 1:100 000



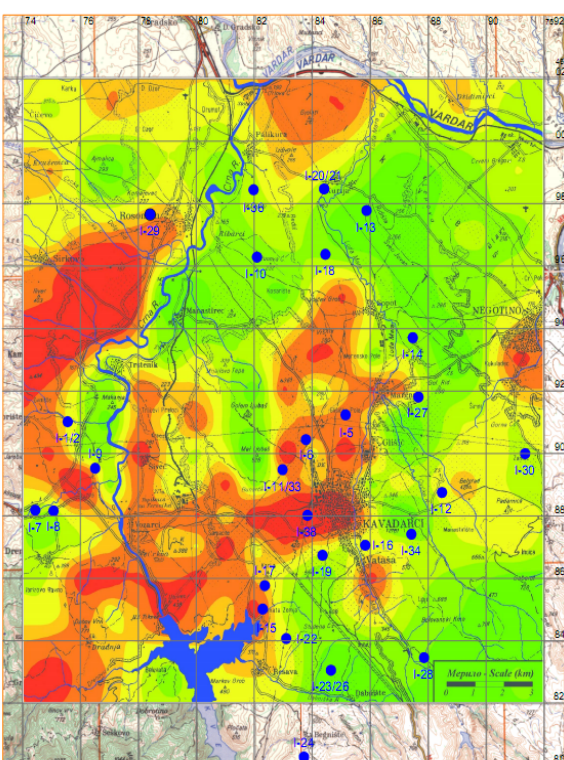
Cr (mg/kg)



Слика 15. Просторна распределба на Cr

GEOHEMI SKA KARTA NA ZASTAPENOST NA Cu VO PO^VATA NA DLABI NA DO 1 m

M 1:100 000

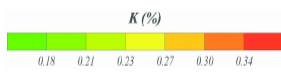
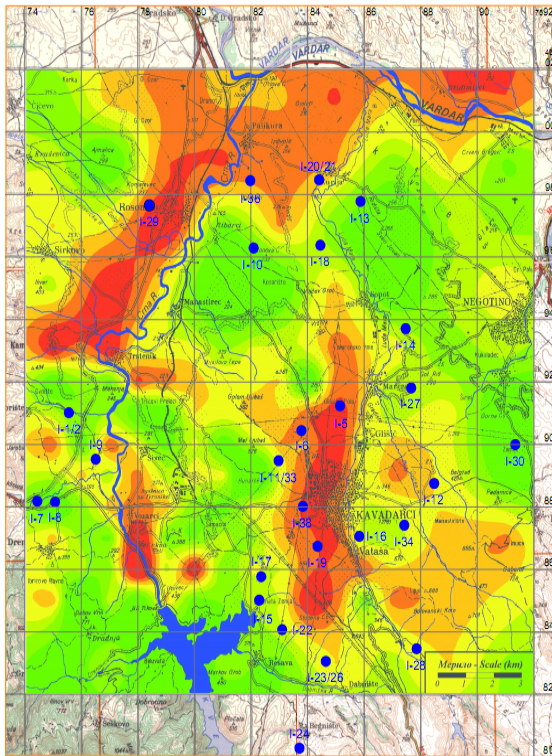


Cu (mg/kg)



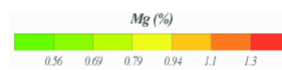
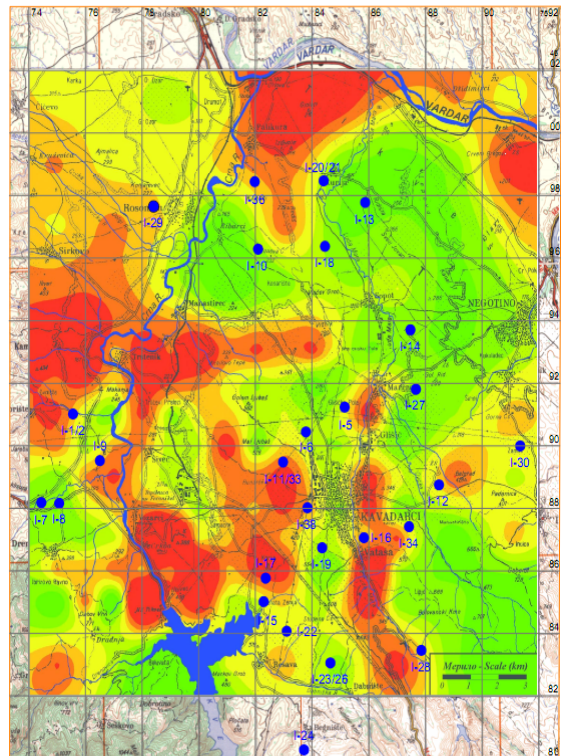
Слика 16. Просторна распределба на Cu

GEOHEMI SKA KARTA NA ZASTAPENOST NA K VO PO^AVATA NA DLABI NA DO 1 m  
M 1:100 000



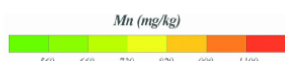
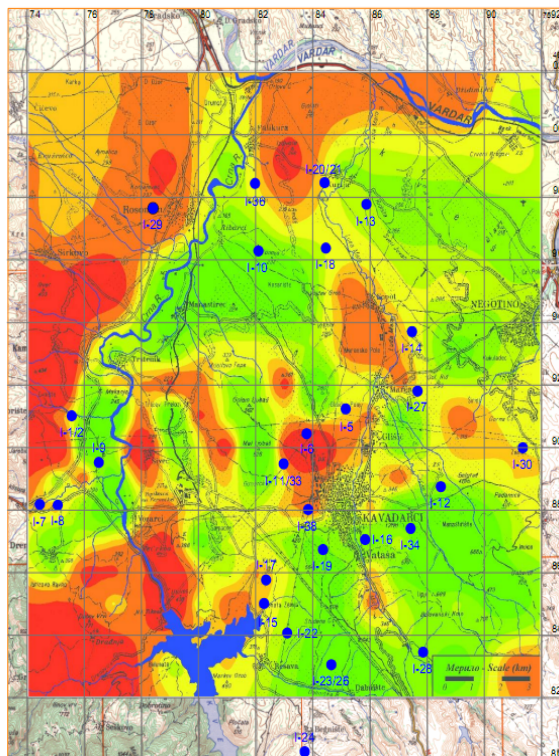
Слика 17. Просторна распределба на К

GEOHEMI SKA KARTA NA ZASTAPENOST NA Mg VO PO^AVATA NA DLABI NA DO 1 m  
M 1:100 000



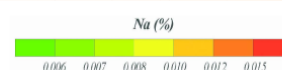
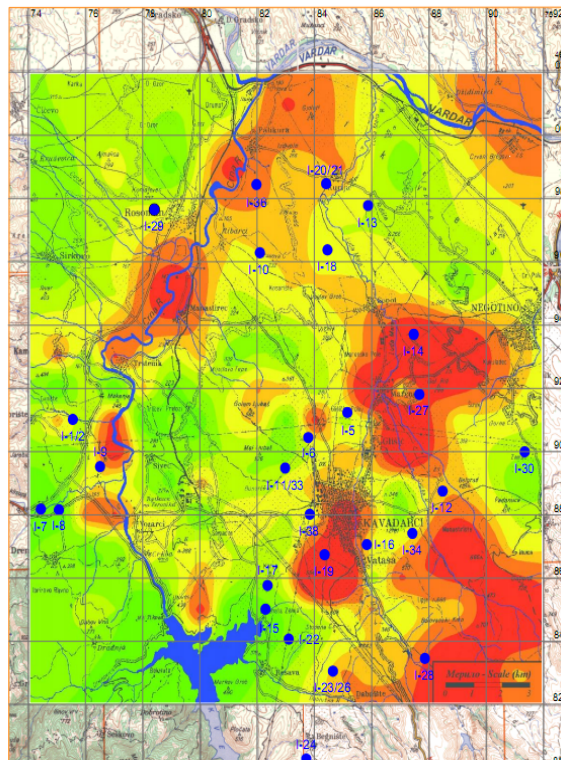
Слика 18. Просторна распределба на Mg

GEOHEMI SKA KARTA NA ZASTAPENOST NA Mn VO PO^AVATA NA DLABI NA DO 1 m  
M 1:100 000



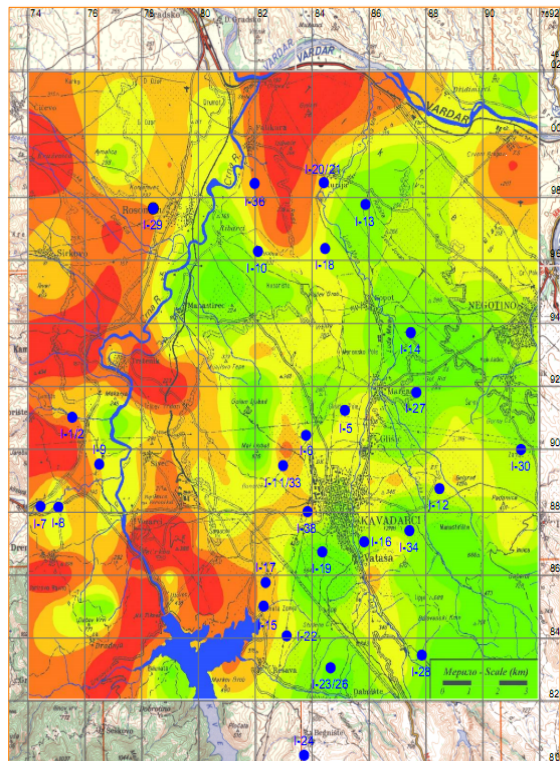
Слика 19. Просторна распределба на Mn

GEOHEMI SKA KARTA NA ZASTAPENOST NA Na VO PO^AVATA NA DLABI NA DO 1 m  
M 1:100 000



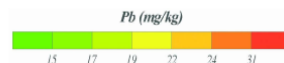
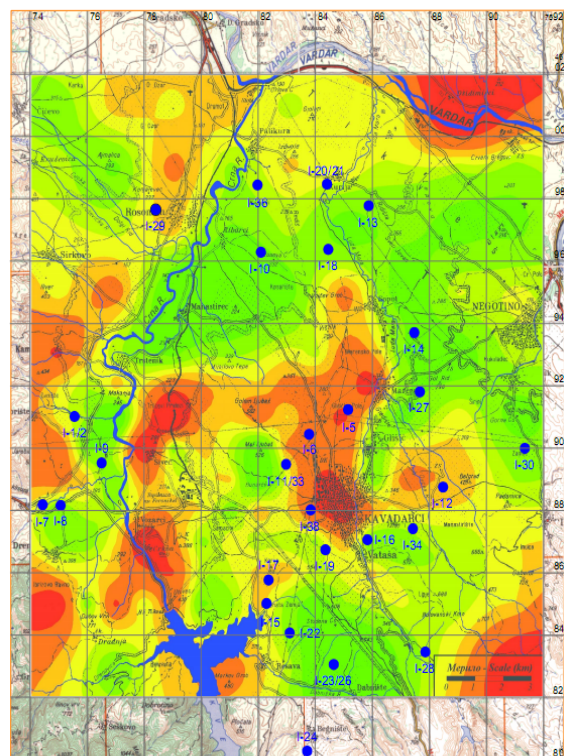
Слика 20. Просторна распределба на Na

GEOHEMIŠKA KARTA NA ZASTAPENOST NA Ni VO POĀVATA NA DLABI NA DO 1 m  
M 1:100 000



Слика 21. Просторна распределба на Ni

GEOHEMIŠKA KARTA NA ZASTAPENOST NA Pb VO POĀVATA NA DLABI NA DO 1 m  
M 1:100 000



Слика 22. Просторна распределба на Pb

Табела 6. Статистички параметри од анализираните примероци од почви

Статистички параметри												
Почви (n=31)												
	X	Xg	Md	Min	P10	P25	P75	P90	Max	s	A	E
Al	3,200	3,100	3,100	1,800	2,200	2,600	3,900	4,100	4,500	0,730	-0,120	-0,910
As	16,000	11,000	13,000	1,200	4,800	7,400	15,000	22,000	83,000	18,000	3,230	10,310
Ba	320,000	310,000	300,000	150,000	230,000	250,000	370,000	450,000	720,000	110,000	1,700	4,380
Ca	4,200	3,400	3,600	1,100	1,600	1,900	6,500	7,200	8,900	2,500	0,410	-1,230
Cd	0,130	0,100	0,110	0,012	0,039	0,057	0,150	0,280	0,390	0,096	1,350	1,430
Co	17,000	17,000	16,000	11,000	12,000	13,000	18,000	22,000	38,000	5,300	2,240	6,700
Cr	100,000	90,000	77,000	31,000	66,000	70,000	107,000	160,000	440,000	72,000	3,780	17,260
Cu	25,000	24,000	27,000	11,000	13,000	18,000	30,000	36,000	46,000	8,900	0,380	-0,110
Fe	2,500	2,500	2,500	1,500	2,000	2,200	2,700	3,500	3,600	0,520	0,510	0,220
K	1,200	1,200	1,300	0,420	0,880	1,100	1,400	1,400	1,900	0,290	-0,920	2,330
Li	18,000	18,000	17,000	13,000	15,000	16,000	20,000	24,000	32,000	3,900	1,650	4,090
Mg	1,000	0,940	0,950	0,380	0,570	0,790	1,200	1,300	2,300	0,380	1,500	4,100
Mn	570,000	570,000	570,000	400,000	450,000	509,000	650,000	700,000	800,000	91,000	0,220	-0,080
Na	0,710	0,680	0,700	0,340	0,460	0,500	0,840	1,000	1,400	0,230	0,800	0,950
Ni	81,000	67,000	64,000	24,000	47,000	52,000	76,000	100,000	430,000	86,000	5,000	26,570
Pb	14,000	13,000	15,000	1,900	4,700	10,000	19,000	22,000	25,000	5,800	-0,360	-0,320
Sr	130,000	120,000	120,000	41,000	66,000	86,000	170,000	200,000	400,000	69,000	1,960	6,600
V	77,000	74,000	70,000	49,000	61,000	64,000	79,000	95,000	140,000	21,000	1,930	3,520
Zn	49,000	48,000	49,000	33,000	36,000	41,000	56,000	61,000	72,000	10,000	0,290	-0,620

Табела 7. Коэффициенти на корелација од анализираните примероци од почви

Коэффициент на корелација (n=31)																			
Почви																			
	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	V	Zn
Al	1.00																		
As	-0.26	1.00																	
Ba	-0.12	0.34	1.00																
Ca	0.60	-0.27	-0.27	1.00															
Cd	0.04	-0.11	-0.13	0.31	1.00														
Co	0.14	-0.22	-0.46	-0.32	-0.29	1.00													
Cr	-0.04	-0.11	-0.43	-0.31	-0.10	0.88	1.00												
Cu	-0.09	-0.07	-0.23	-0.04	0.05	0.28	0.21	1.00											
Fe	0.13	-0.15	-0.39	-0.46	-0.35	0.84	0.60	0.25	1.00										
K	0.03	0.29	0.75	-0.03	0.10	-0.50	-0.38	-0.03	-0.53	1.00									
Li	-0.11	0.12	-0.08	-0.28	-0.08	0.22	0.29	0.34	0.16	0.33	1.00								
Mg	0.33	-0.05	-0.14	-0.27	-0.29	0.74	0.59	0.04	0.63	-0.12	0.19	1.00							
Mn	0.26	-0.25	-0.29	-0.20	-0.24	0.78	0.53	0.31	0.73	-0.34	0.07	0.72	1.00						
Na	-0.14	0.34	0.77	-0.28	-0.14	-0.47	-0.48	-0.46	-0.34	0.53	-0.31	-0.01	-0.28	1.00					
Ni	0.05	-0.08	-0.27	-0.26	-0.07	0.80	0.96	0.14	0.45	-0.19	0.28	0.63	0.49	-0.36	1.00				
Pb	0.04	-0.16	0.27	-0.27	0.04	0.30	0.13	0.17	0.29	0.02	-0.08	0.28	0.35	0.07	0.13	1.00			
Sr	0.17	-0.10	0.72	0.18	-0.13	-0.40	-0.44	-0.34	-0.40	0.42	-0.43	-0.09	-0.20	0.66	-0.30	0.29	1.00		
V	-0.21	-0.14	-0.36	-0.45	-0.41	0.57	0.28	0.29	0.82	-0.63	-0.01	0.26	0.51	-0.28	0.05	0.30	-0.30	1.00	
Zn	0.04	-0.16	-0.31	-0.25	-0.21	0.51	0.40	0.61	0.55	-0.04	0.61	0.47	0.61	-0.39	0.35	0.09	-0.42	0.35	1.00

Критично високи содржини, пред сè, претставуваат содржините на Ni и Cr кои се најдени во земените примероци од почва и истите се поклопуваат со геохемиската дистрибуција на Ni и Cr, која е прикажана на геохемиските карти. Највисоки содржини на Cr и Ni се најдени во почвата од мерните места (Јаребички Камен), близу селото Дебриште (површински слој: 250 mg/kg Cr, 430 mg/kg Ni, долен слој: 330 mg/kg Cr, 560 mg/kg Ni), 31 – на рид југоисточно од селото Возарци (површински слој: 380 mg/kg Cr, 700 mg/kg Ni, долен слој: 440 mg/kg Cr, 730 mg/kg Ni) и 4 (Дабов Врв), западно од хидроелектричната централа „Тиквеш“ (површински слој: 410 mg/kg Cr, 770 mg/kg Ni, долен слој: 450 mg/kg Cr, 820 mg/kg Ni). Овие три мерни места се наоѓаат на појава на палеозојски серпентини (внатрешен дел на вардарската зона). Имајќи предвид дека содржината на овие елементи е повисока во долниот слој, може да се заклучи дека нивната појава има природно потекло. Високата, понекогаш критична содржина на Cr и Ni во зоната на еоценските флишови е потврдена од страна на голем број истражувачи од Македонија, Босна и Херцеговина (Alajđić, 2008), Хрватска (Sajn and Halamić, 2006) и Словенија (Sajn, 1999). Топлицата „Фени“ и покрај очигледното загадување на животната средина не учествува значително во најдените вредности на овие елементи, на што укажуваат високите вредности на нивните содржини во основниот геолошки состав на околината. Најдени се и високи содржини на Cd, Hg, Pb и Zn во југозападниот и западниот ридест дел од

испитуваното подрачје, што е резултат од високите содржини на тешките метали во органскиот материјал во површинскиот слој на почвата или последица од транспорт на долги растојанија, што е и покажано на експерименталните геохемиски карти за Хрватска и Словенија (Sajn and Halamić, 2006). Високата содржина на овие елементи во почвата од мерното место 54, алувиум од реката Вардар до селото Цидимирци (површински слој 2,3 mg/kg Cd, 0,22 mg/kg Hg, 70 mg/kg Pb, 140 mg/kg Zn, долен слој 1,9 mg/kg Cd, 0,15 mg/kg Hg, 66 mg/kg Pb, 130 mg/kg Zn) е резултат на загадувањето од Топилницата за олово и цинк во Велес (Stafilov et al, 2008, Miesch, 1976) и загадувањето од рудниците за олово и цинк „Злетово“ од Пробиштип (Stafilov et al, 2005, Dolenc et al, 2005) и „Саца“ од Македонска Каменица (Stafilov et al, 2005). Високите содржини на споменатите типични тешки метали се и резултат на урбаната активност во градот Кавадарци. Во мерното место 50 (центар на градот) нивната содржина во површинскиот слој почва изнесува 0,22 mg/kg Hg, 170 mg/kg Zn, а во долниот слој 0,15 mg/kg Hg, 150 mg/kg Zn, но е многу ниска во споредба со други значително загадени области во Македонија (Велес), но и во Словенија (Јесенице, Целје или Межице) (Sajn et al, 1999, Sajn, 2005, Sajn, 2006). Може да се каже дека од аспект на дистрибуцијата на Cd, Hg, Pb и Zn многу познатата винарска област Тиквеш е чиста област. Највисоки содржини на овие елементи се најдени во холоценскиот алувиум на Црна Река на мерното место 68 – западно од селото Шивец (површински слој: 24 mg/kg As, 5,5

mg/kg Sb, 1,1 mg/kg Tl; долен слој: 24 mg/kg As, 4,7 mg/kg Sb, 1,1 mg/kg Tl), и на мерното место 241 – југозападно од селото Паликура (површински слој: 32 mg/kg As, 4,8 mg/kg Sb, 1,4 mg/kg Tl; долен слој: 30 mg/kg As, 4,2 mg/kg Sb, 1,4 mg/kg Tl).

Збогатувањето на холоценскиот аливиум на Црна Река е резултат на природната ерозија од рудни депозити (As и Sb) на Алшар на

планината Кожуф, но исто така и од рударските активности.

#### Геохемиски испитувања на вина

Резултатите од геохемиската определба на концентрациите на макроелементите и елементите во траги во вината кои се произведени во домашни услови во областа Тиквеш, со примена на методите да ICP-AES и ETASS се прикажани во Табелата 8.

**Табела 8.** Концентрација на макроелементите и елементите во траги во вината произведени во домашни услови во областа Тиквеш

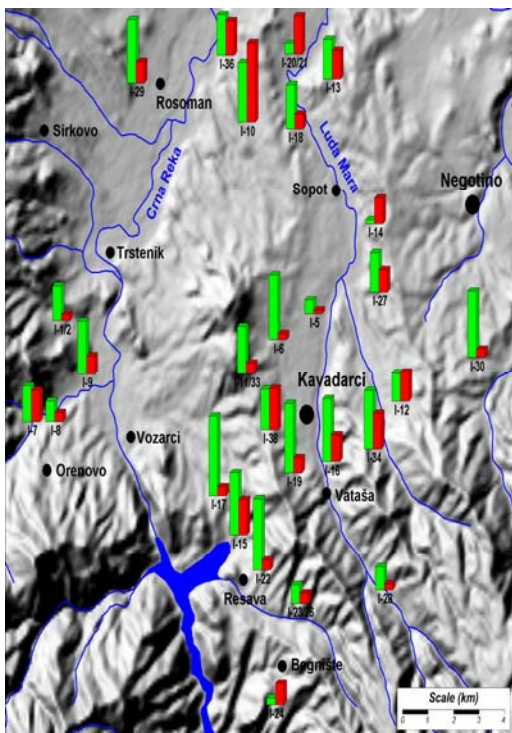
Proba br.	Sorta na vino	Reon-atar	Primeroci od posvi	Al, mg/l	Ba, mg/l	Ca, mg/l	Cu, mg/l	K, mg/l	Mg, mg/l
I-1	Kratosija	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	0,11	0,17	62,23	0,046	851,7	102,87
I-2	Smederevka	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	0,22	0,11	39,77	0,318	582,6	88,86
I-3	Smederevka	Ljubas		0,25	0,68	55,73	0,051	742,0	87,87
I-4	Kavadarka	Ljubas		0,39	0,21	125,15	0,049	895,0	106,71
I-5	Burundec	Glisicki Atar	latt 41.460129° / long 22.014170°	0,10	0,06	19,77	0,036	431,0	23,92
I-6	Smederevka	Poroj(Nad Otpad)	latt 41.453508°/ long 21.997288°	0,17	0,08	34,11	0,093	636,8	57,14
I-7	Smederevka	Drenovo	latt 41.432973°/ long 21.881231°	0,96	0,15	99,74	0,036	868,0	70,15
I-8	Kratosija	Drenovo	latt 41.432892°/ long 21.889044°	0,27	0,10	51,57	0,127	897,2	96,18
I-9	Burundec	Sirkovo	latt 41.445288°/ long 21.907220°	0,55	0,07	22,25	0,020	323,5	26,24
I-10	Rizling	Ribarci	latt 41.507803°/ long 21.976810°	2,43	0,10	105,16	0,277	698,5	95,27
I-11	Kratosija	Goligaz	latt 41.445470°/ long 21.986805°	0,29	0,22	49,02	1,081	442,1	116,22
I-12	Vranec	Ovcka Reka	latt 41.436889°/ long 22.054705°	0,89	0,19	82,09	0,051	983,4	88,19
I-13	Smederevka	Kurii-Lazarica	latt 41.521023°/ long 22.023823°	0,87	0,24	81,64	0,058	829,3	87,08
I-14	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175°/ long 22.043180°	0,78	0,34	78,40	0,065	1109,4	90,66
I-15	Smederevka	Krivi Dol Resava	latt 41.403094°/ long 21.977884°	1,08	0,22	32,12	0,127	748,8	81,15
I-16	Kratosija	Kalnica	latt 41.421496°/ long 22.021953°	0,81	0,47	35,66	0,077	819,8	113,34
I-17	Smederevka	Korija-Resava	latt 41.409952°/ long 21.977952°	0,26	0,12	43,40	0,009	1002,6	72,63
I-18	Kaberne	Sopot	latt 41.508380°/ long 22.006101°	0,44	0,34	85,01	0,034	1115,0	130,52
I-19	Belan	Kopacot	latt 41.418623°/ long 22.003520°	0,43	0,16	25,49	0,881	415,3	89,50
I-20	Kratosija	Kurii	latt 41.527615°/ long 22.005905°	1,38	0,20	36,99	0,043	1374,3	79,59
I-21	Sardone	Kurii	latt 41.527615°/ long 22.005905°	0,96	0,11	26,02	0,030	1253,2	93,60
I-22	Smederevka	Gradevica	latt 41.393553°/ long 21.986142°	0,29	0,14	57,67	0,029	606,0	74,54
I-23	Smederevka	Dabniste	latt 41.384672°/ long 22.006563°	0,27	0,22	37,81	0,085	813,2	78,53
I-24	Vranec	Begniste	latt 41.358727°/ long 21.994742°	0,65	0,09	60,66	0,023	956,1	86,18
I-25	Merlo	Krnjevo-Plostovo	latt 41.310944°/ long 22.125286°	0,27	0,25	57,87	1,389	805,5	83,90
I-26	Stanosina	Dabniste	latt 41.384672°/ long 22.006563°	0,34	0,27	44,87	0,115	824,7	100,37
I-27	Kratosija	Kruska	latt 41.465574°/ long 22.044982°	0,65	0,47	47,29	0,031	1174,3	122,32
I-28	Vranec	Mokliste	latt 41.387880°/ long 22.046183°	0,16	0,38	49,47	0,090	1182,5	66,86
I-29	Smederevka+K	Rosoman(Konjarovec)	latt 41.520796°/ long 21.931591°	0,63	0,18	39,16	0,135	666,9	90,13
I-30	Kratosija	Dolni Disan	latt 41.448101°/ long 22.090495°	0,24	0,18	29,79	0,050	778,6	101,88
I-31	Rekaciteli	Krnjevo(Plostovo)	latt 41.313702°/ long 22.125842°	0,19	0,17	35,37	0,184	397,2	87,53
I-32	Kaberne	Krnjevo(Poleta)	latt 41.310946°/ long 22.131133°	4,93	0,43	42,10	0,134	1626,4	88,97
I-33	Kratosija	Ljubas	latt 41.443418°/ long 21.987745°	0,35	0,38	48,81	0,079	867,9	113,37
I-34	Smederevka	Belgrad	latt 41.424559°/ long 22.041539°	1,09	0,10	43,94	0,874	544,7	82,06
I-35	Belan	Slvec		1,55	0,25	37,59	0,873	571,2	73,03
I-36	Vranec	Palikura	latt 41.527579°/ long 21.975896°	1,05	0,16	62,65	0,045	1470,1	88,39
I-37	Smederevka+T	Goligaz		0,27	0,10	25,92	0,490	454,5	82,53
I-38	Kratosija	Bel Kamen	latt 41.430558°/ long 21.997249°	1,27	0,38	32,85	0,319	883,5	114,85

Просторната положба на земените примероци од вина кои се произведени во домашни услови и корелацијата помеѓу застапеноста на одредените геохемиски парови на елементи

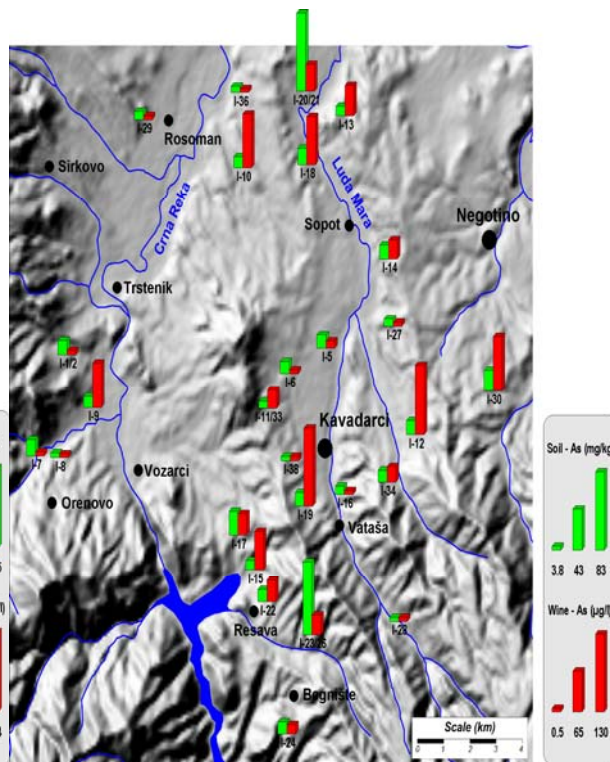
во вина/почви е прикажана на сликите 23-38, а статистичките параметри се прикажани во табелите 9 и 10.

Табела 8. (продолжение)

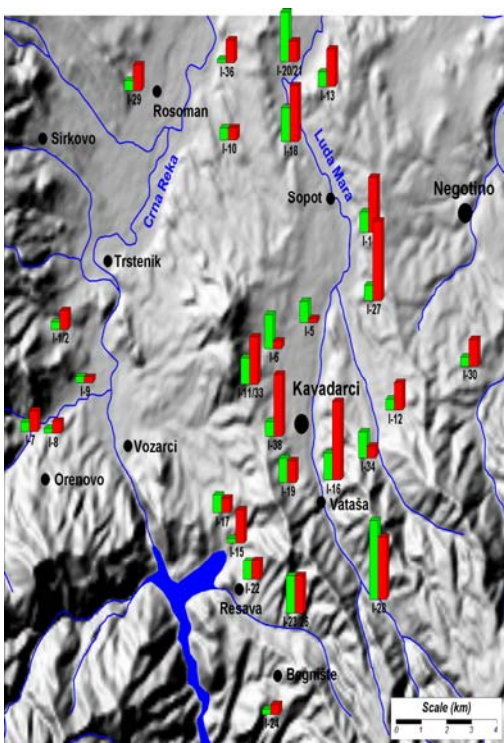
Proba br.	Sorta na vino	Reon-atar	Primeroci od pocvi	Mn, mg/l	Na, mg/l	Sr, mg/l	As, µg/l	Cd, µg/ml
I-1	Kratosija	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	1,09	1,09	0,85	<1	0,12
I-2	Smederevka	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	1,31	3,70	0,44	1,28	0,86
I-3	Smederevka	Ljubas		1,50	6,63	0,88	15,71	1,18
I-4	Kavadarka	Ljubas		1,70	8,23	1,35	29,91	1,04
I-5	Burundec	Glisicki Atar	latt 41.460129° / long 22.014170°	0,69	1,05	0,21	5,99	<0,1
I-6	Smederevka	Poroj(Nad Otpad)	latt 41.453508° / long 21.997288°	1,19	3,49	0,25	<1	0,70
I-7	Smederevka	Drenovo	latt 41.432973° / long 21.881231°	2,39	2,93	0,35	<1	1,50
I-8	Kratosija	Drenovo	latt 41.432892° / long 21.889044°	1,95	1,82	0,38	<1	1,37
I-9	Burundec	Sirkovo	latt 41.445288° / long 21.907220°	0,51	2,04	0,15	71,23	0,46
I-10	Rizling	Ribarci	latt 41.507803° / long 21.976810°	3,00	6,39	1,38	86,91	5,32
I-11	Kratosija	Goligaz	latt 41.445470° / long 21.986805°	2,22	1,71	2,44	7,26	0,20
I-12	Vranec	Ovcka Reka	latt 41.436889° / long 22.054705°	1,15	10,62	1,03	114,54	4,15
I-13	Smederevka	Kuri-Lazarica	latt 41.521023° / long 22.023823°	1,04	25,35	1,16	46,13	0,20
I-14	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175° / long 22.043180°	1,23	5,79	1,17	27,04	<0,1
I-15	Smederevka	Krivi Dol Resava	latt 41.403094° / long 21.977884°	1,34	3,20	1,04	60,85	<0,1
I-16	Kratosija	Kalnica	latt 41.421496° / long 22.021953°	1,88	2,83	1,98	<1	<0,1
I-17	Smederevka	Korija-Resava	latt 41.409952° / long 21.977952°	1,20	2,13	0,54	30,92	0,33
I-18	Kaberne	Sopot	latt 41.508380° / long 22.006101°	1,84	63,91	2,88	76,71	0,09
I-19	Belan	Kopacot	latt 41.418623° / long 22.003520°	1,11	2,24	0,45	128,74	0,92
I-20	Kratosija	Kurii	latt 41.527615° / long 22.005905°	1,38	11,82	1,04	79,62	0,49
I-21	Sardone	Kurii	latt 41.527615° / long 22.005905°	1,05	9,23	0,93	<1	1,11
I-22	Smederevka	Gradevica	latt 41.393553° / long 21.986142°	0,95	2,54	0,48	31,44	0,29
I-23	Smederevka	Dabniste	latt 41.384672° / long 22.006563°	0,46	5,77	0,39	18,90	0,39
I-24	Vranec	Begniste	latt 41.358727° / long 21.994742°	1,21	3,60	1,77	10,16	0,12
I-25	Merlo	Krnjevo-Plostovo	latt 41.310944° / long 22.125286°	1,23	3,20	0,43	48,17	<0,1
I-26	Stanosina	Dabniste	latt 41.384672° / long 22.006563°	1,97	12,90	1,01	37,51	<0,1
I-27	Kratosija	Kruska	latt 41.465574° / long 22.044982°	1,90	4,28	2,45	<1	0,44
I-28	Vranec	Mokliste	latt 41.387880° / long 22.046183°	0,74	2,62	0,82	<1	<0,1
I-29	Smederevka+K	Rosoman(Konjarovec)	latt 41.520796° / long 21.931591°	1,12	19,88	1,25	<1	0,51
I-30	Kratosija	Dolni Disan	latt 41.448101° / long 22.090495°	1,46	3,46	0,95	88,18	0,30
I-31	Rekaciteli	Krnjevo(Plostovo)	latt 41.313702° / long 22.125842°	0,48	31,09	0,44	35,35	0,73
I-32	Kaberne	Krnjevo(Poleto)	latt 41.310946° / long 22.131133°	1,13	9,04	0,73	52,67	1,55
I-33	Kratosija	Ljubas	latt 41.443418° / long 21.987745°	1,37	11,77	1,24	44,44	0,76
I-34	Smederevka	Belgrad	latt 41.424559° / long 22.041539°	1,41	19,62	0,44	20,56	3,20
I-35	Belan	Svec		0,82	7,47	0,52	19,23	1,59
I-36	Vranec	Palikura	latt 41.527579° / long 21.975896°	1,28	10,40	2,39	<1	0,72
I-37	Smederevka+T	Goligaz		0,52	77,21	0,52	<1	0,44
I-38	Kratosija	Bel Kamen	latt 41.430558° / long 21.997249°	1,36	15,04	1,63	1,20	1,15
Proba br.	Sorta na vino	Reon-atar	Primeroci od pocvi	Co, µg/l	Cr, µg/l	Ni, µg/l	Pb, µg/l	Zn, µg/ml
I-1	Kratosija	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	1,81	7,18	92,58	81,17	0,31
I-2	Smederevka	Debriste-Ramniste	latt 41.459362° / long 21.895683°	7,24	8,65	313,83	<5	0,15
I-3	Smederevka	Ljubas		2,12	3,09	41,62	80,28	1,12
I-4	Kavadarka	Ljubas		3,72	7,48	62,71	25,22	0,59
I-5	Burundec	Glisicki Atar	latt 41.460129° / long 22.014170°	0,48	1,37	22,18	15,56	0,23
I-6	Smederevka	Poroj(Nad Otpad)	latt 41.453508° / long 21.997288°	0,84	6,48	60,46	28,09	0,57
I-7	Smederevka	Drenovo	latt 41.432973° / long 21.881231°	2,24	19,70	119,95	53,18	0,23
I-8	Kratosija	Drenovo	latt 41.432892° / long 21.889044°	5,58	13,52	108,52	21,55	0,66
I-9	Burundec	Sirkovo	latt 41.445288° / long 21.907220°	0,96	<1	23,02	16,42	<0,1
I-10	Rizling	Ribarci	latt 41.507803° / long 21.976810°	10,57	15,06	26,68	36,92	0,35
I-11	Kratosija	Goligaz	latt 41.445470° / long 21.986805°	3,86	8,90	58,19	103,57	0,70
I-12	Vranec	Ovcka Reka	latt 41.436889° / long 22.054705°	3,50	9,81	9,35	18,33	0,78
I-13	Smederevka	Kuri-Lazarica	latt 41.521023° / long 22.023823°	3,38	4,68	11,99	12,61	0,66
I-14	Kaberne	Sopotsko	latt 41.483175° / long 22.043180°	1,39	4,46	17,98	59,09	0,12
I-15	Smederevka	Krivi Dol Resava	latt 41.403094° / long 21.977884°	6,63	21,79	75,89	28,02	0,30
I-16	Kratosija	Kalnica	latt 41.421496° / long 22.021953°	0,58	11,85	23,56	47,42	<0,1
I-17	Smederevka	Korija-Resava	latt 41.409952° / long 21.977952°	0,38	4,84	16,44	<5	<0,1
I-18	Kaberne	Sopot	latt 41.508380° / long 22.006101°	2,79	4,00	6,71	<5	0,13
I-19	Belan	Kopacot	latt 41.418623° / long 22.003520°	1,70	3,21	12,39	22,29	0,26
I-20	Kratosija	Kurii	latt 41.527615° / long 22.005905°	4,84	13,23	10,96	6,38	0,28
I-21	Sardone	Kurii	latt 41.527615° / long 22.005905°	3,10	12,64	<5	<5	0,14
I-22	Smederevka	Gradevica	latt 41.393553° / long 21.986142°	<0,1	22,06	37,19	37,15	<0,1
I-23	Smederevka	Dabniste	latt 41.384672° / long 22.006563°	0,39	5,30	19,17	24,45	0,11
I-24	Vranec	Begniste	latt 41.358727° / long 21.994742°	2,80	6,61	13,09	40,94	0,11
I-25	Merlo	Krnjevo-Plostovo	latt 41.310944° / long 22.125286°	0,18	5,41	15,52	66,80	0,33
I-26	Stanosina	Dabniste	latt 41.384672° / long 22.006563°	0,74	12,50	13,10	6,02	0,10
I-27	Kratosija	Kruska	latt 41.465574° / long 22.044982°	3,33	19,82	31,73	218,34	0,77
I-28	Vranec	Mokliste	latt 41.387880° / long 22.046183°	<0,1	2,45	33,73	<5	<0,1
I-29	Smederevka+K	Rosoman(Konjarovec)	latt 41.520796° / long 21.931591°	1,85	10,44	21,21	72,69	0,26
I-30	Kratosija	Dolni Disan	latt 41.448101° / long 22.090495°	0,43	2,71	<5	<5	<0,1
I-31	Rekaciteli	Krnjevo(Plostovo)	latt 41.313702° / long 22.125842°	<0,1	1,87	<5	218,99	0,24
I-32	Kaberne	Krnjevo(Poleto)	latt 41.310946° / long 22.131133°	2,02	99,53	56,05	26,89	0,04
I-33	Kratosija	Ljubas	latt 41.443418° / long 21.987745°	1,35	13,16	44,07	54,60	0,90
I-34	Smederevka	Belgrad	latt 41.424559° / long 22.041539°	3,40	8,16	27,29	289,79	0,59
I-35	Belan	Svec		6,73	30,09	93,29	156,75	0,37
I-36	Vranec	Palikura	latt 41.527579° / long 21.975896°	0,78	12,49	31,84	25,44	<0,1
I-37	Smederevka+T	Goligaz		<0,1	4,04	<5	90,70	0,32
I-38	Kratosija	Bel Kamen	latt 41.430558° / long 21.997249°	1,50	18,46	37,26	49,56	0,18



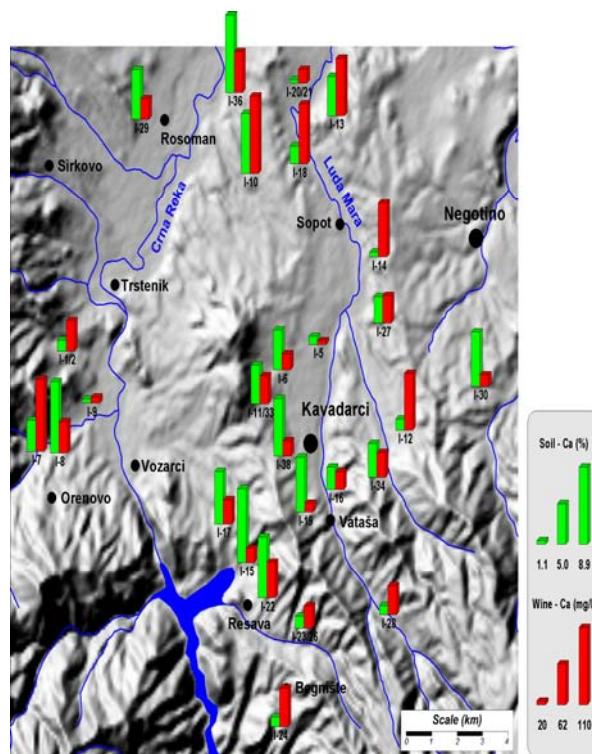
Слика 23. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемика корелација ( $Al_{\text{почви}} / Al_{\text{вина}}$ )



Слика 24. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемика корелација ( $As_{\text{почви}} / As_{\text{вина}}$ )

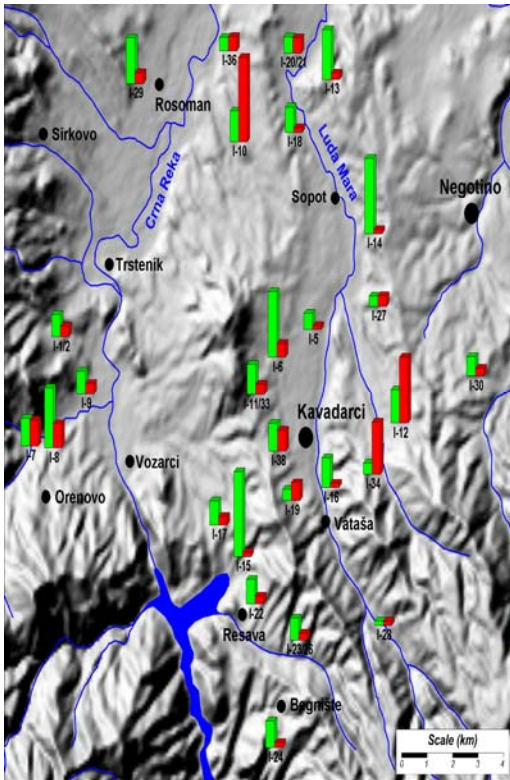


Слика 25. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемика корелација ( $Ba_{\text{почви}} / Ba_{\text{вина}}$ )

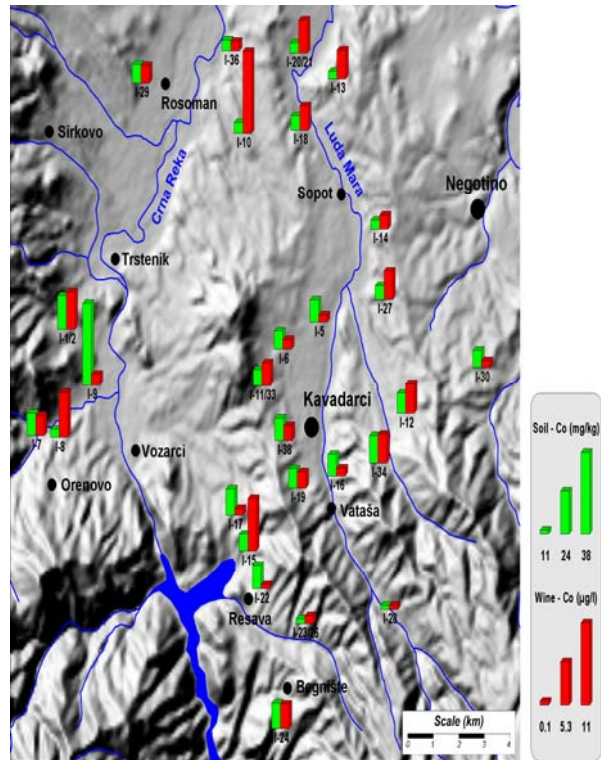


Слика 26. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемика корелација ( $Ca_{\text{почви}} / Ca_{\text{вина}}$ )

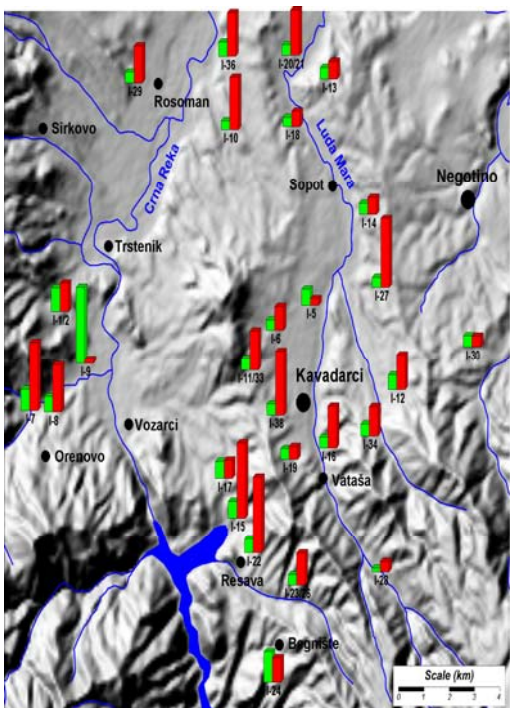




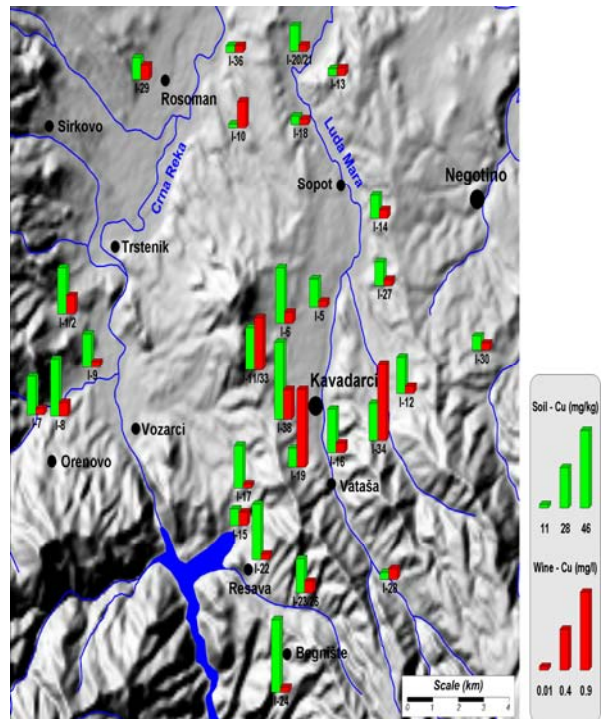
Слика 27. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемиска корелација ( $Cd_{\text{почви}}/Cd_{\text{вина}}$ )



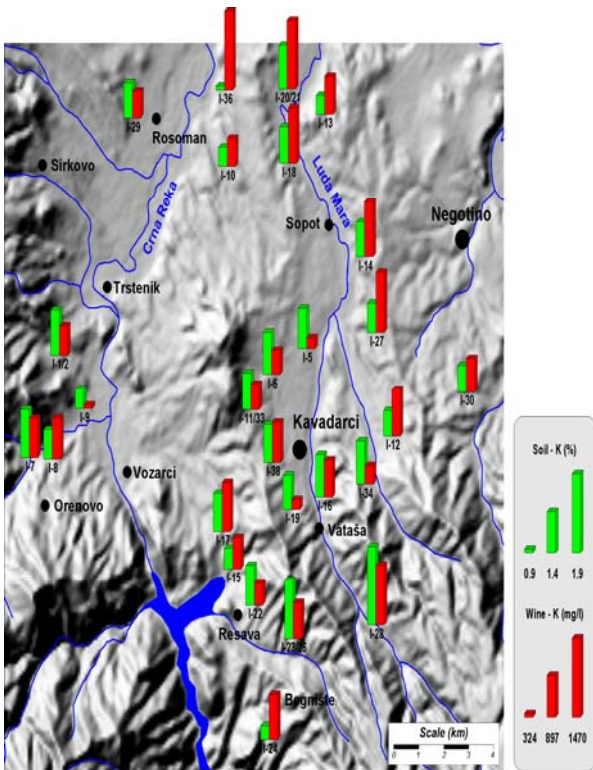
Слика 28. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемиска корелација ( $Co_{\text{почви}}/Co_{\text{вина}}$ )



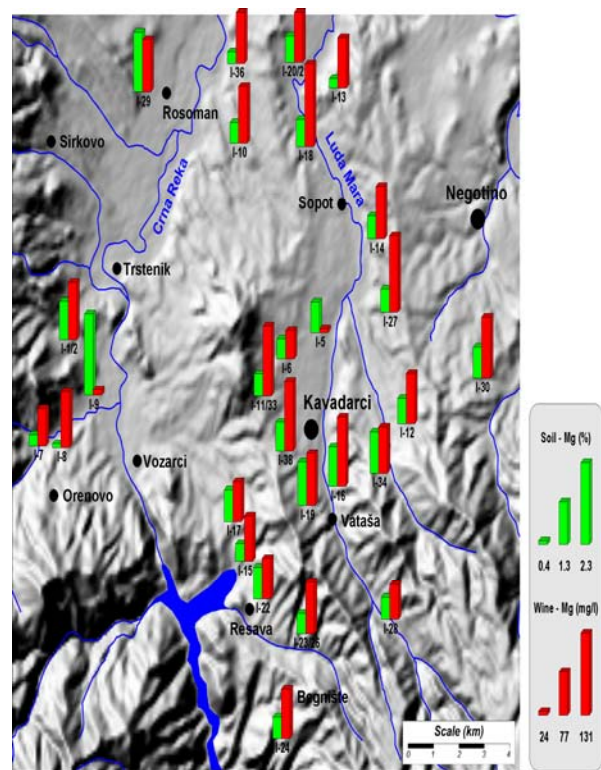
Слика 29. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемиска корелација ( $Cr_{\text{почви}}/Cr_{\text{вина}}$ )



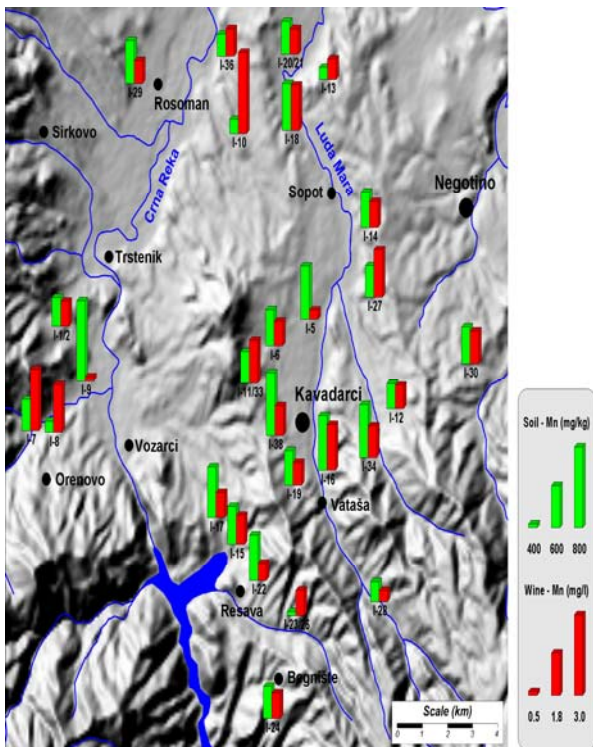
Слика 30. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемиска корелација ( $Cu_{\text{почви}}/Cu_{\text{вина}}$ )



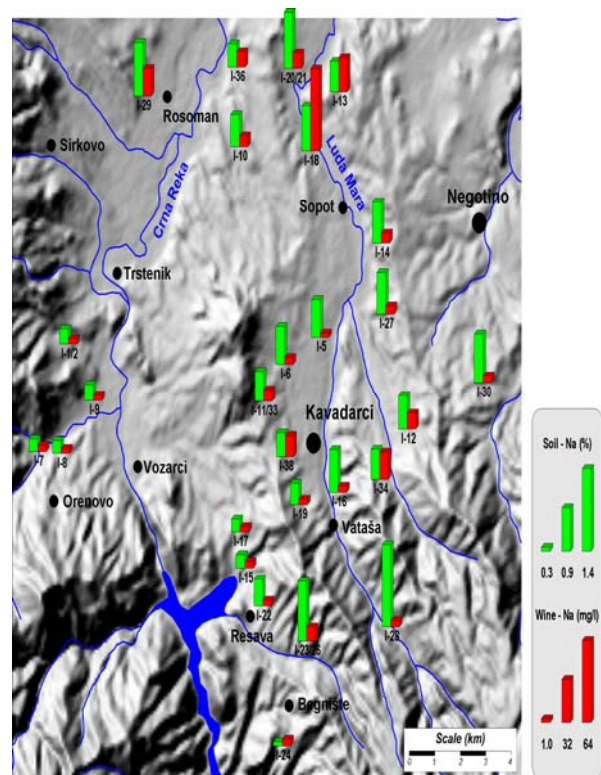
Слика 31. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемика корелација ( $K_{\text{почви}} / K_{\text{вина}}$ )



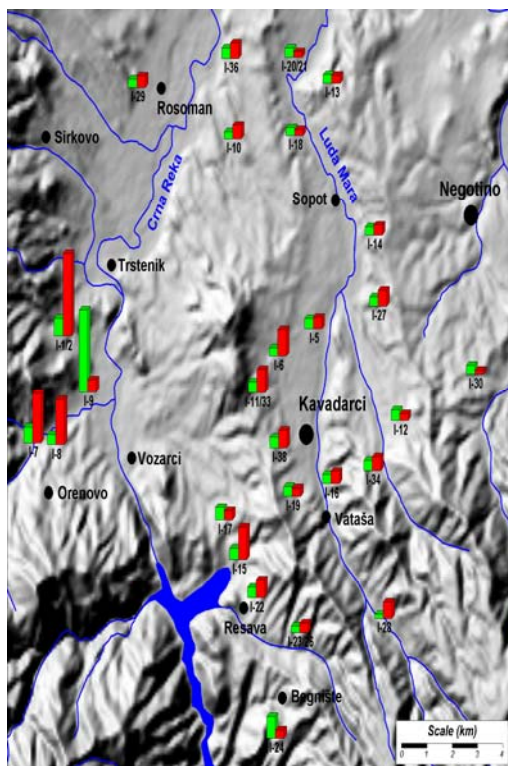
Слика 32. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемика корелација ( $Mg_{\text{почви}} / Mg_{\text{вина}}$ )



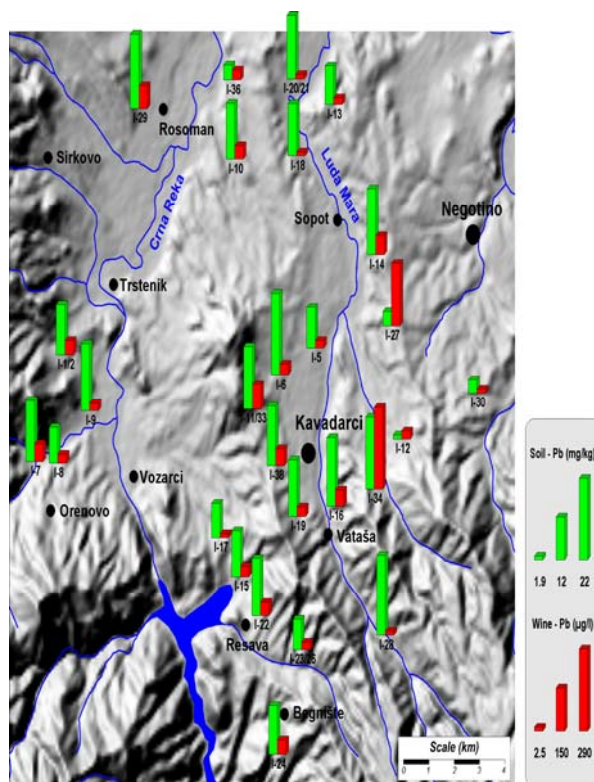
Слика 33. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемика корелација ( $Mn_{\text{почви}} / Mn_{\text{вина}}$ )



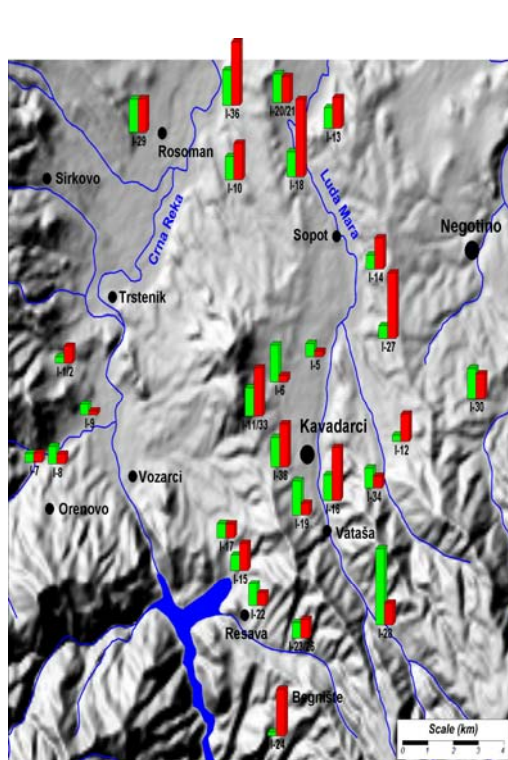
Слика 34. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемика корелација ( $Na_{\text{почви}} / Na_{\text{вина}}$ )



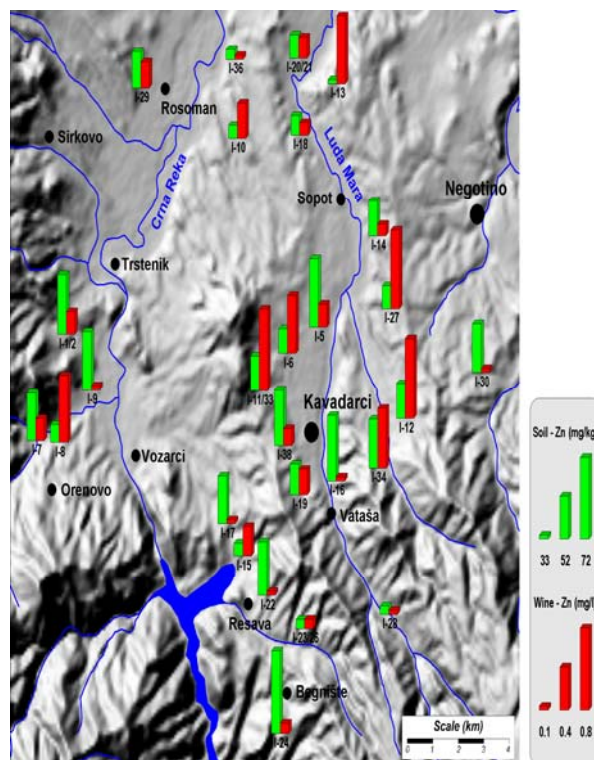
Слика 35. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемиска корелација ( $Ni_{\text{почви}} / Ni_{\text{вина}}$ )



Слика 36. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемиска корелација ( $Pb_{\text{почви}} / Pb_{\text{вина}}$ )



Слика 37. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемиска корелација ( $Sr_{\text{почви}} / Sr_{\text{вина}}$ )



Слика 38. Просторна положба на земените примероци од вина и почви и нивна геохемиска корелација ( $Zn_{\text{почви}} / Zn_{\text{вина}}$ )

Табела 9. Статистички параметри од анализираните примероци од вина

Статистички параметри												
Вино (n=31)												
	X	Xg	Md	Min	P10	P25	P75	P90	Max	s	A	E
Al	0,7700	0,5100	0,5500	0,1000	0,1700	0,2700	0,9600	1,2000	4,9000	0,9100	3,5200	14,9200
As	34,0000	9,9000	28,0000	0,5000	0,5000	0,5000	53,0000	87,0000	130,0000	36,0000	1,0300	0,3800
Ba	0,2200	0,1900	0,1800	0,0580	0,0920	0,1200	0,3400	0,3800	0,4700	0,1200	0,7800	-0,5500
Ca	51,0000	47,0000	47,0000	20,0000	30,0000	34,0000	61,0000	82,0000	110,0000	22,0000	0,9500	0,2800
Cd	0,8700	0,3800	0,4600	0,0500	0,0500	0,1200	0,9200	1,5000	5,3000	1,2000	2,5200	6,3700
Co	2,3000	1,2000	1,7000	0,0500	0,1800	0,5700	3,4000	4,5000	11,0000	2,3000	1,8000	4,4100
Cr	12,0000	7,6000	8,9000	0,5000	2,4000	4,5000	14,0000	20,0000	100,0000	17,0000	4,4800	22,7400
Cu	0,2200	0,0930	0,0790	0,0087	0,0290	0,0360	0,1800	0,8700	1,4000	0,3500	2,3800	4,8700
K	840,0000	790,0000	820,0000	320,0000	430,0000	637,0000	1000,0000	1200,0000	1600,0000	310,0000	0,5300	0,2600
Mg	87,0000	83,0000	88,0000	24,0000	67,0000	81,0000	96,0000	120,0000	130,0000	23,0000	-0,9200	1,9900
Mn	1,4000	1,3000	1,2000	0,4800	0,7400	1,1000	1,5000	1,9000	3,0000	0,5400	1,1300	2,0300
Na	9,5000	5,5000	3,6000	1,0000	2,0000	2,5000	11,0000	20,0000	64,0000	13,0000	3,0700	11,4600
Ni	38,0000	24,0000	24,0000	2,5000	6,7000	13,0000	44,0000	76,0000	200,0000	42,0000	2,5800	7,8600
Pb	53,0000	27,0000	28,0000	2,5000	2,5000	16,0000	55,0000	100,0000	290,0000	68,0000	2,4300	5,6200
Sr	1,1000	0,8200	0,9500	0,1500	0,3500	0,4400	1,4000	2,4000	2,9000	0,7400	0,9700	0,0900
Zn	0,3000	0,1900	0,2300	0,0360	0,0500	0,0500	0,5700	0,7000	0,9000	0,2600	0,9300	-0,4400

Табела 10. Коэффициенти на корелација од анализираните примероци од вина

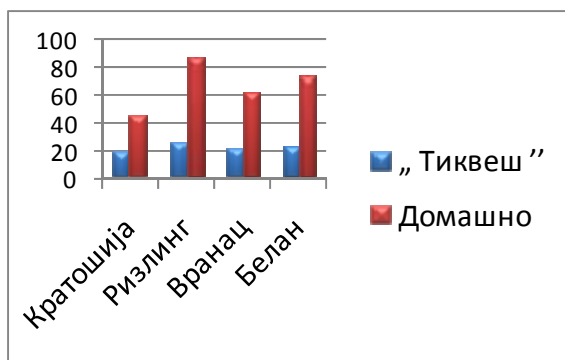
Коэффициент на корелација																
Вино																
Al	1.00															
As	0.18	1.00														
Ba	0.28	-0.10	1.00													
Ca	0.18	0.11	0.04	1.00												
Cd	0.44	0.37	-0.23	0.44	1.00											
Co	0.33	0.20	-0.17	0.42	0.59	1.00										
Cr	0.88	0.01	0.37	0.01	0.18	0.12	1.00									
Cu	-0.06	0.14	-0.05	-0.08	0.09	0.05	-0.09	1.00								
K	0.50	-0.12	0.50	0.28	-0.01	0.01	0.51	-0.34	1.00							
Mg	0.11	0.04	0.60	0.26	0.05	0.25	0.13	0.14	0.32	1.00						
Mn	0.21	-0.03	0.12	0.55	0.43	0.64	0.10	0.15	0.11	0.52	1.00					
Na	0.03	0.18	0.19	0.26	0.02	0.01	-0.07	-0.09	0.11	0.38	-0.02	1.00				
Ni	0.01	-0.38	-0.11	0.10	0.01	0.31	0.20	-0.03	-0.03	0.01	0.24	-0.30	1.00			
Pb	-0.03	-0.25	0.08	-0.07	0.19	0.04	-0.03	0.35	-0.24	0.20	0.07	0.16	-0.04	1.00		
Sr	0.07	-0.11	0.51	0.28	-0.09	0.19	0.01	-0.05	0.39	0.72	0.44	0.39	-0.19	0.07	1.00	
Zn	-0.14	0.02	0.03	0.17	0.33	0.37	-0.10	0.24	-0.16	0.26	0.27	0.02	0.12	0.37	0.09	1.00
	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	Zn

Табела 11. Коэффициент на корелација помеѓу парот (почва-вино)

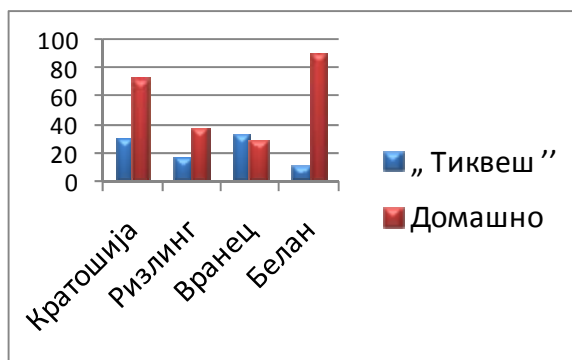
Ел.	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	Zn
Коэф.	-0.04	0.11	0.23	0.02	-0.06	-0.26	-0.04	0.04	0.00	-0.30	-0.40	0.11	0.03	0.27	0.16	-0.26

Од прикажаните резултати кои се однесуваат на корелацијата помеѓу застапеноста на макроелементите и елементите во траги во почвите и вината кои се произведени во домашни услови во областа Тиквеш може да се констатира дека нема некоја нагласена корелација во определени елементни парови (табела 9). Непостоењето на значителна корелација помеѓу анализираните почви и анализираните вина би требало да се објасни преку малиот број на примероци кои се предмет на истражување, како и преку процесите на концентрација на микроелементите во вината. Од друга страна, интересни се корелациите кои се однесуваат на концентрацијата на одредени елементи во траги во вината кои се произведени во домашни услови и вината кои се произведени во винариите во Република Македонија.

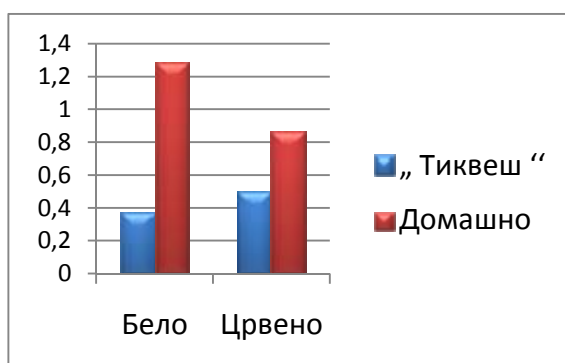
Од сликите 39 и 40, на кои се прикажани концентрациите на As (сл.39) и концентрациите на Pb (сл.40) може да се забележи дека имаме поголеми концентрации на овие два елемента во вината кои се произведени во домашни услови, со еден мал исклучок кај виното *вранец* и содржината на Pb која е приближно идентична во двата типа на вино. На сликата 41 е прикажан односот на содржините на Cd, Ni и Cr во белото и црвеното вино, кое е произведено во домашни услови и во условите на винаријата „Тиквеш“. Од оваа слика може да се констатира дека имаме поголеми концентрации на Cd и Ni во белото и црвеното вино кое е произведено во домашни услови. Треба да се спомене дека овој тренд на поголеми концентрации на елементите во вината кои се произведени во домашни услови не ја следи концентрацијата на Cr.



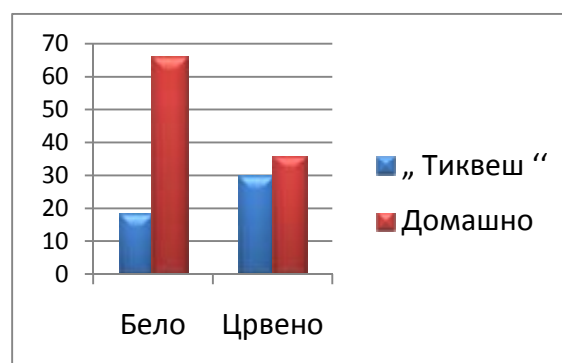
Слика 39. Содржина на As(µg/l) во вината произведени во домашни услови и вината произведени во винаријата „Тиквеш“



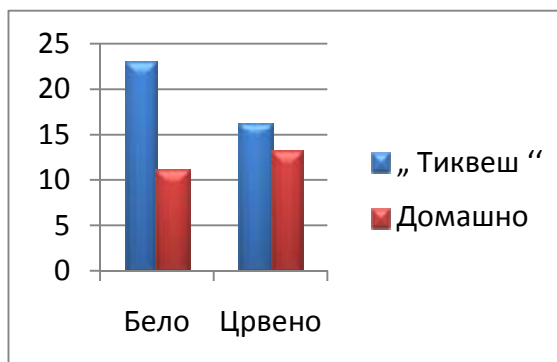
Слика 40. Содржина на Pb As(µg/l) во вината произведени во домашни услови и вината произведени во винаријата „Тиквеш“



а) Cd (µg/l)



б) Ni (µg/l)



в) Sr(µg/l)

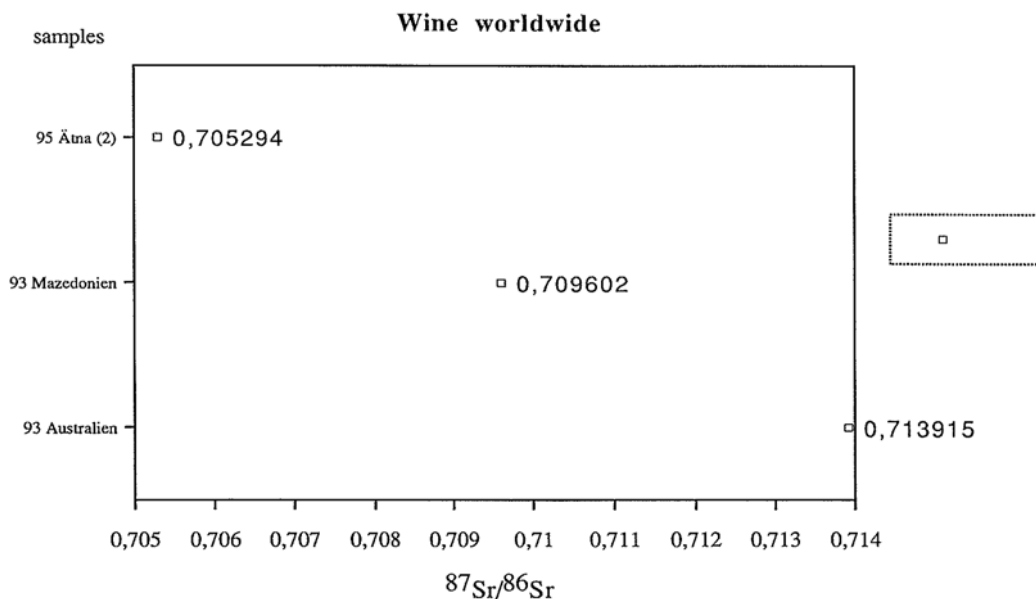
Слика 41. Содржина на Cd, Ni и Sr во бело и црвено вино произведено во домашни услови и во винаријата Тиквеш

Треба да се спомене дека овој тренд на распределба на елементите во траги во белите и црвените вина произведени во домашни услови и во услови на востановена технологија (винарии) се забележува и во останатите вински региони во Република Македонија, како што се: „Лозар“ - Велес, Џумајлија, „Винојуг“ - Гевгелија, „Лозар“ - Битола, Штип.

Објаснувањето на оваа појава најверојатно треба да се побара во начинот и средствата за филтрирање на вината кои се користат во Република Македонија.

### ИЗОТОПСКИ ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) ИСПИТУВАЊА НА ВИНО ОД ОБЛАСТА ТИКВЕШ

Во рамките на овој труд се презентирани и истражувања кои се направени во насока на воведување на метода на одредба на потеклото на виното со примена на методите на изотопната геохемија. Имено, денес во светот нашироко се применуваат изотопите на стронциумот во определувањето на потеклото на виното. За таа цел се собрани определен број на примероци од областа Тиквеш и добиените резултати се прикажани на сл. 42.



Слика 42. Одреба на потеклото на виното со примена на изотопите на стронциумот  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Max-Planck Institut Mainz, Germany)

## ЗАКЛУЧОК

Во овој труд се вклучени истражувањата кои се направени во текот на 2009/2010 година на терените во областа Тиквеш, а во насока на одредување на геохемиските карактеристики на вината кои се произведени во домашни услови. За постигнување на оваа цел се собрани поголем број на примероци:

- вина кои се произведени во домашни услови во областа Тиквеш;
- примероци почви под лозјата од кои со преработка на грозјето се произведени вината во домашни услови;
- примероци од вина кои се произведени во винариите во Република Македонија.

Собраните примероци се приготвени за геохемиски испитувања со примена на стандардните ISO-постапки за приготвување на примероци од почви и вина и истите потоа се анализирани со примена на методите на ICP-AES и ETASS. Во овие геохемиски испитувања се одредени следниве елементи: Al, Ba, Ca, Cu, K, Mg, Mn, Na, Sr, As, Cd, Co, Cr, Ni, Pb и Zn.

Добиените резултати се статистички обработени и графички прикажани на геохемиските карти, при што е извршена корелација со претходните истражувања на почвите кои се направени во овие региони. Споредбените анализи покажуваат исклучително поклопување на вредностите со многу мали отстапки кои можат да се сметаат за безначајни.

Резултатите од геохемиските испитувања на вината кои се произведени во домашни услови покажуваат концентрација на елементите во

траги кои се во границите на публикуваните вредности за вакви геохемиски медиуми.

Антропогените импакти кои можат да се претпостават дека постојат во областа Тиквеш (топилница за фероникел „ФЕНИИНДУСТРИ“) немаат голема рефлексија врз добиените аналитички податоци и истите во оваа пригода би можеле да се дефинираат како потенцијални за иднината доколку се зголеми интензитетот на антропогениот импакт.

Направените статистички обработки за корелативните врски кои постојат помеѓу концентрацијата на определена елемент на матрица во системот почва/вино од овие истражувања не зборуваат во насока на голема или пак нагласена корелативност.

Отсуството на нагласената корелативност која во основа би можела да се претпостави дека постои е последица на бројот на примероци, како и недоволната веродостојност на произведеното вино токму од површините под лозја кои се предмет на геохемиска обработка. Ова во наредниот период ќе се провери со понатмошно земање на примероци и водење на поголема контрола во потеклото на произведеното вино.

Направените анализи за застапеноста на елементите во траги од групата на Cd, Ni, Cr, Pb и As во белите и црвените вина кои се произведени во домашни и индустријски услови покажуваат многу голема корелативност во најголемиот дел од винските региони во Република Македонија (Тиквеш, Овче Поле, Велес, Битола, Гевгелија, Штип). Имено, и кај белите и кај црвените вина се зголемени концентрациите на елементите Cd, Ni, As и Pb во вината кои се произведени во домашни

услови во однос на вината кои се произведени во индустриски услови (винарии). Само кај елементот хром се појавува зголемена концентрација кај вината кои се произведени во индустриски услови.

Објаснувањето на оваа појава во секој случај треба да се побара во деталното истражување на филтрите кои се користат при филтрацијата на вината во Република Македонија.

Спроведените истражувања на примената на изотопите на стронциумот  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  во одредувањето на потеклото на виното покажуваат исклучителна можност на примена на оваа многу важна метода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. A. Kabata-Pendias, H. Pendias, *Trace Elements in Soil and Plants*, Third Edition, CRC Press, Boca Raton, 2001.
2. Encyclopædia Britannica, 2008.
3. R. Šajn, M. Bidovec, M. Andjelov, S. Pirc, M. Gosar, Geochemical Atlas of Ljubljana and Environs, *Institute of Geology, Geotechnique and Geophysics, Ljubljana*, 1998.
4. S. M. Al-Shayeb, Heavy metal levels in the soils of Riyadh city, Saudi Arabia, *Asian Journal of Chemistry*, **15**, 1212–1228 (2003).
5. R. Šajn, Distribution of mercury in surface dust and topsoil in Slovenian rural and urban areas, *RMZ-Geology and Geoenvironment*, **51**, 1800–1803 (2004).
6. L. Borůvka, O. Vacek, J. Jehlička, Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils, *Geoderma*, **128**, 289–300 (2005).
7. T. B. Chen, Y. M. Zheng, M. Lei, Z. C. Huang, H. T. Wu, H. Chen, K. K. Fan, K. Yu, X. Wu, Q. Z. Tian, Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China, *Chemosphere*, **60**, 542–551 (2005).
8. X. S. Wang, Y. Qin, S. X. Sang, Accumulation and sources of heavymetals in urban topsoils: A case study from the city of Xuzhou, China, *Environmental Geology*, **48**, 101–107 (2005).
9. A. Moller, H. W. Muller, A. Abdullah, G. Abdelgawad, J. Utermann, Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavymetals in the soils of the Damascus Ghouta, *Geoderma*, **124**, 63–71 (2005).
10. F. Bretzel, M. Calderisi, Metal contamination in urban soils of coastal Tuscany (Italy), *Environmental Monitoring and Assessment*, **118**, 319–335 (2006).
11. M. M. Diawara, J. S. Litt, D. Unis, N. Alfonso, L. A. Martinez, J. G. Crock, D. B. Smith, J. Carsella, Arsenic, cadmium, lead, and mercury in surface soils, Pueblo, Colorado: implications for population health risk, *Environmental Geochemistry and Health*, **28**, 297–315 (2006).
12. R. Kaur, R. Rani, Spatial characterization and prioritization of heavy metal contaminated soil-water resources in Peri – Urban areas of National Capital Territory (NCT), Delhi, *Environmental Monitoring and Assessment*, **123**, 233–247, (2006).
13. M. C. S. de Moura, A. N. C. Lopes, G. C. Moita, J. M. M. Neto, Multivariate study of urban soils of Teresina city, *Quimica Nova*, **29**, 429–435 (2006).
14. C. M. Davidson, G. J. Urquhart, F. Ajmone-Marsan, M. Biasioli, A. D. Duarte, E. Diaz-Barrientos, H. Grcman, L. Hossack, A. S. Hursthouse, L. Madrid, S. Rodrigues, M. Zupan, Fractionation of potentially toxic elements in urban soils from five European cities by means of a harmonised sequential extraction procedure, *Analytica Chimica Acta*, **565**, 63–72 (2006).
15. D. Crnkovic, M. Ristic, D. Antonovic, Distribution of heavymetals and arsenic in soils of Belgrade (Serbia and Montenegro), *Soil & Sediment Contamination*, **15**, 581–589 (2006).
16. I. Razo, L. Carrizales, J. Castro, F. Diaz-Barriga, M. Monroy, Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area in Mexico, *Water Air and Soil Pollution*, **152**, 129–152 (2004).
17. A. K. Krishna, P. K. Govil, Heavy metal contamination of soil around Pali industrial area, Rajasthan, India, *Environmental Geology*, **47**, 38–44 (2004).
18. A. K. Krishna, P. K. Govil, Heavy metal distribution and contamination in soils of Thane-Belapur industrial development area, Mumbai, Western India, *Environmental Geology*, **47**, 1054–1061 (2005).
19. J. Li, Z. M. Xie, Y. G. Zhu, R. Naidu, Risk assessment of heavy metal contaminated soil in the vicinity of a lead/zinc mine, *Journal of Environmental Sciences – China*, **17**, 881–885 (2005).
20. Y. Li, Y. B. Wang, X. Gou, Y. Su, G. Wang, Risk assessment of heavymetals in soils and vegetables around non-ferrous metals mining and smelting sites, Baiyin, China, *Journal of Environmental Sciences – China*, **18**, 1124–1134 (2006).
21. B. Wilson, B. Lang, F. B. Pyatt, The dispersion of heavymetals in the vicinity of Britannia Mine, British Columbia, Canada, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **60**, 269–276 (2005).
22. C. Pruvot, F. Douay, F. Herve, C. Waterlot, Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas, *Journal of Soils and Sediments*, **6**, 215–220 (2006).
23. R. K. Aryal, M. Murakami, H. Furumai, F. Nakajima, H. K. P. K. Jinadasa, Prolonged deposition of heavymetals in infiltration facilities and its possible threat to groundwater contamination, *Water Science and Technology*, **54**, 205–212 (2006).
24. S. Baron, J. Carignan, A. Ploquin, A., Dispersion of heavymetals (metalloids) in soils from 800-year-old pollution (Mont-Lozere, France), *Environmental Science & Technology*, **40**, 5319–5326 (2006).
25. B. Cemek, R. Kizilkaya, Spatial variability and monitoring of Pb contamination of farming soils affected by industry, *Environmental Monitoring and Assessment*, **117**, 357–375 (2006).
26. K. S. Patel, K. Shrivastava, P. Hoffmann, N. Jakubowski, A survey of lead pollution in Chhattisgarh State, Central India, *Environmental Geochemistry and Health*, **28**, 11–17 (2006).
27. B. D. Tembo, K. Sichelongo, J. Cernak, Distribution of copper, lead, cadmium and zinc concentrations in soils around Kabwe town in Zambia, *Chemosphere*, **63**, 497–501 (2006).
28. V. Cappuyns, R. Swennen, A. Vandamme, M. Niclaes, Environmental impact of the former Pb-Zn mining and smelting in East Belgium, *Journal of Geochemical Exploration*, **88**, 6–9 (2006).

29. *Nickel Smelting and Refining*, Pollution Prevention and Abatement Handbook, World Bank Group, pp. 349–352, 1998.
30. V. Simeonov, J. Einax, S. Tsakovski, J. Kraft, Multivariate statistical assessment of polluted soils, *Central European Journal of Chemistry*, **3**, 1–9 (2005).
31. J. L. Everhart, D. McNear Jr., E. Peltier, D. van der Lelie, R. L. Chaney, D. L. Sparks, Assessing nickel bioavailability in smelter-contaminated soils, *Science of the Total Environment*, **367**, 732–744 (2006).
32. J. A. R. Martin, M. L. Arias, J. M. G. Corbi, Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations, *Environmental Pollution*, **144**, 1001–1012 (2006).
33. C. Mico, L. Reatala, M. Peris, J. Sanchez, Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis, *Chemosphere*, **65**, 863–872 (2006).
34. A. M. G. Figueiredo, C. A. Nogueira, M. Saiki, F. M. Milian, M. Domingos, Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of Sao Paulo, Brazil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor, *Environmental Pollution*, **145**, 279–292 (2007).
35. B. Boev, J. Zivanovic, S. Lipitkova, Selenium and other trace elements in the soil of the Tikves region, Proceedings on the 3<sup>rd</sup> International Workshop on the Anthropogenic Effects on the Human Environment in the Tertiary Basins in the Mediterranean (B. Boev, T. Serafimovski, Eds.), Štip, pp. 23–35, 2005.
36. Т. Стафилов, М. Станоева, Ј. Бошковска, Д. Димитровски, М. Трајанова, Лабораториски испитувања на ржановската руда по технолошката шема на претконцентрација, 8/ПМС, Фени, Кавадарци, 1982 (Т. Stafilev, M. Stanoeva, Lj. Boškowska, D. Dimitrovski, M. Trajanova, Laboratory investigation of Ržanovo according to technological scheme of pre-concentration, 8/PMS, Feni, Kavadarci, 1982).
37. М. Стојанов, Т. Стафилов, Ј. Матески, Воведување на методи за анализа на материјали застапени во технолошкиот процес на „Фени“ на рендгенски флуоресцентен спектрометар ARL 72000S, 11/ХЕМ, Фени, Кавадарци, 1982 (M. Stojanov, T. Stafilev, J. Mateski, Development of the methods for the analysis of the materials from the technological process in "Feni" by X-ray fluorescence spectrometry, 11/PMS, Feni, Kavadarci, 1982).
38. Z. Maksimović, *Mineralogical Study of the Ore from Ržanovo Mine*, Faculty of Geology and Mining, Belgrade, 1982.
39. Ѓ. Филиповски, Деградација на почвите како компонента на животната средина во Република Македонија, *Македонска академија на науките и уметностите*, Скопје, 2003 (Gj. Filipovski, Soils Degradation as a Component of the Environment in the Republic of Macedonia, *Macedonian Academy of Sciences and Arts*, Skopje, 2003).
40. L. Barandovski, M. Cekova, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov, T. Stafilev, E. Steinnes, V. Urumov, *Air Pollution Studies in Macedonia Using the Moss Biomonitoring Technique*, NAA, AAS and GIS Technology, JINR Preprint, **E18**, 160, Dubna, 2006.
41. L. Barandovski, M. Cekova, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov, T. Stafilev, E. Steinnes, V. Urumov, Atmospheric deposition of trace element pollutants in Macedonia studied by the moss biomonitoring technique, *Environmental Monitoring and Assessment*, **138**, 107–111 (2008).
42. А. Лазаревски, *Климата во Македонија*, Култура, Скопје, 1993 (A. Lazarevski, *Climate in Macedonia*, Kultura, Skopje, 1993).
43. Т. Ракичевиќ, П. Стојанов, М. Арсовски, *Basic geological map of SFRJ, sheet Prilep, M 1:100,000 (map & interpreter)*, Federal Geological Survey, Beograd, 1965, 65 pp.
44. С. Христов, М. Каражовановиќ, М. Страчков, *Basic geological map of SFRJ, sheet Kavadarci, M 1:100,000 (map & interpreter)*, Federal Geological Survey, Beograd, 1965, 62 pp.
45. S. P. Theocharopoulos, G. Wagner, J. Sprengart, M.-E. Mohr, A. Desaulles, H. Muntau, M. Christou, P. Quevauviller, European soil sampling guidelines for soil pollution studies. *The Science of the Total Environment*, **264**, 51–62 (2001).
46. C. Reimann, S. Albanese, M. J. Batista, A. Bel-Lan, M. Birke, D. Cicchella, A. Demetriades, B. de Vivo, W. de Vos, E. Dinelli, M. Duris, A. Duszka-Dobek, V. Ernsten, D. Flight, A. Gilucis, M. Gosar, V. Gregorauskiene, A. Gulan, P. Hayoz, J. Halamic, E. Haslinger, H. Hratovic, A. Ion, Y. Ivanovna, C. Johnson, G. Jordan, J. Kisivilla, P. Klein, P. Kwecko, K. Lax, A. Lima, J. Locutura, B. I. Malyuk, R. Maquil, S. Marku, L. Martins, A. Mazreku, A. Messina, P. O'Connor, R. T. Ottesen, A. Pasieczna, W. Petersell, S. Reeder, I. Salpeteur, A. Schedl, P. Sefcik, I. Slaninka, A. Sorsa, O. Selinus, T. Stafilev, T. Tarvainen, V. Trendavilov, J. Utermann, P. Valera, D. Vidojevic, T. Volden, *Eurogeosurveys geochemical mapping of agricultural and grazing land soil of Europe (GEMAS), Field manual*, NGU Report 2008.038. Geological Survey of Norway, 2008, 46 pp.
47. R. Šajn, Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia, *Journal de Physique*, **107**, 1173–1176 (2003).
48. R. Šajn, Using attic dust and soil for the separation of anthropogenic and geogenic elemental distributions in an old metallurgic area (Celje, Slovenia), *Geochemistry: exploration, environment, analysis*, **5**, 59–67 (2005).
49. R. Šajn, Factor analysis of soil and attic-dust to separate mining and metallurgy influence, Meza Valley, Slovenia, *Mathematical Geology*, **38**, 735–747 (2006).
50. Т. Стафилов, Р. Шажн, З. Панчевски, Б. Боев, М. В. Фронтасјева, Ј. П. Стрелкова, *Геохемиски атлас на Велес и неговата околина*, Природно-математички факултет, Скопје, 2008/ Т. Stafilev, R. Šajn, Z. Pančevski, B. Boev, M. V. Frontasyeva, **L. P. Strelkova**, *Geochemical Atlas of Veles and the Environs*, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Skopje, 2008, pp. 124.
51. A. G. Darnley, A. Björklund, B. Bolviken, N. Gustavsson, P. V. Koval, J. A. Plant, A. Steinfeld, M. Tauchid, X. Xuejing, R. G. Garrett, G. E. M. Hall, *A global geochemical database for environmental and resource management. Recommendations for international geochemical mapping*, Final report of IGCP project 259, UNESCO Publishing, Paris, 1995, pp. 122.



52. R. Salminen, M. J. Batista, M. Bidovec, A. Demetriades, B. De Vivo, W. De Vos, M. Duris, A. Gilucis, V. Gregorauskiene, J. Halamic, P. Heitzmann, G. Jordan, G. Klaver, P. Klein, J. Lis, J. Locutura, K. Marsina, A. Mazreku, P. J. Connor, S. Å. Olsson, R. T. Ottesen, V. Petersell, J. A. Plant, S. Reeder, I. Salpeteur, H. Sandström, U. Siewers, A. Steenfelt, T. Tarvainen, *Geochemical Atlas of Europe*, Part 1, *Background Information, Methodology and Maps*, Geological Survey of Finland, Espoo, 2005, pp. 526.
53. A. T. Miesch, *Geochemical survey of Missouri, methods of sampling, laboratory analyzing, and statistical reduction of data*, Geological survey professional paper, USGS, 954a, 1–39, Washington, 1976.
54. G. W. Snedecor, W. G. Cochran, *Statistical Methods*, The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1967, 575 p.
55. J. C. Davis, *Statistic and Data Analysis in Geology*, Wiley in Sons, New York, 1986, p. 651.
56. R. W. Le Maitre, *Numerical Petrology, Statistical Interpretation of Geochemical Data*, Elsevier, Amsterdam, 1982, p. 281.
57. C. Reimann, P. Filzmoser, R. G. Garrett, Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities, *Applied Geochemistry*, **17**, 185–206 (2002).
58. The new Dutchlist  
<http://www.contaminatedland.co.uk/std-guid/dutch-1.htm>.
59. S. Sayegh-Petkovšek, K. Kotnik, N. Kugonič, R. Šajn, M. Janža, Š. Kumelj, M. Šešerko, M. Zaluberšek, M. Bole, P. Druks Gajšek, M. Petrič, A. Košir, J. Kogovšek, H. Poličnik, M. Čater, T. Levanič, A. Bienelli-Kalpič, A. Čarni, M. Kostadinovski, P. Košir, V. Matevski, U. Šilc, I. Zelnik, I. Jelenko, A. Brancelj, D. Tome, K. Savinek, B. Mikuž, I. Miklavžina, D. Končnik, J. Flis, U. Repinc, M. Štok, L. Benedik, S. Lojen, B. Črnič, S. Gobec, L. Ivanovski, B. Blazevski, A. Veljanovska, Z. Pavšek, B. Pokorny, Določitev vpliva vojaškega poligona Krivolak na okolje z namenom njegove ekološke sanacije, Poročilo. ERICo Velenje, Velenje, 2007, pp. 590.
60. J. Alijagić, *Distribution of chemical elements in an old metallurgic area, Zenica (Central Bosnia)*, MSc thesis, Faculty of Science, Masaryk University, Brno, 2008, pp. 102.
61. R. Šajn, J. Halamić, Z. Peh, L. Galović, Experimental geochemical map of Croatia and Slovenia. In: Režun, B. (ed.), *Proceedings on 2<sup>nd</sup> Slovenian Geological Congress*, Idrija, 2006.
62. Šajn, *Geochemical properties of urban sediments in territory of Slovenia*, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, 1999, pp. 136.
63. T. Stafilov, Z. Levkov, Preliminary assessment of the effects of pollution and water management on water quality in the Vardar river, Work Package 2 – Water Quality, Improvement of Management of Transboundary Water Resources, Project No. 3MAC01/10/104, European Agency for Reconstruction/Ministry of Environment and Physical Planning of the Republic of Macedonia, Skopje, 2005.
64. T. Dolenc, T. Serafimovski, G. Tasev, M. Dobnikar, M. Dolenc, Heavy metals contamination in paddy soil irrigated with the acid mine drainage-impacted Zletovska River (Kočani Field, Republic of Macedonia), *Proceedings on the 2nd International Workshop on the UNESCO-IGCP Project "Anthropogenic Effects on the Human Environment in Tertiary Basins in the Mediterranean"*, pp. 16–20. Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, 2005.
65. T. Stafilov, B. Krstev, Z. Karamanolevski, M. Kočubovski, M. Spirovska, Monitoring of tailings disposal site for evacuation of wastewater to the sedimentation pond and system for evacuation of surrounding waters and their impacts on the environment along the course of Kamenicka river, Kalimanci accumulation and Bregalnica river, Final Report, Ministry of Environment and Physical Planning of the Republic of Macedonia, Skopje, 2005.
66. R. Šajn, M. Bidovec, M. Gosar, S. Pirc, Geochemical soil survey at Jesenice area, Slovenia, *Geologija*, **41**, 319–338 (1999).
67. J. Цвијић, *Основи за географију и геологију Македоније и Старе Србије*, Београд, 1906 (J. Cvijić, *The Basis of Geography and Geology of Macedonia and Ancient Serbia*, Belgrade, 1906).
68. Љ. Бариќ, Минералoшки oткритија извршени врз материјали од македонски наоѓалишта, *Трудови на Геолошкиот завод на Македонија*, Скопје, стр. 55, 1969–1970, (Lj. Barić, *Mineralogical discoveries performed from the materials in the Macedonian localities, Proceedings of the Geological Survey of Macedonia*, Skopje, p. 55, 1969–1970).
69. T. Ivanov, Allshar the richest deposit of the Tl in the world, *Proceeding of the Workshop on the Feasibility of the Solar Neutrino Detection with Pb by Geochemical and Accelerator Mass Spectrometry*, Munich, 1986, GSI-Report 86–9, 1986.
70. S. Janković, The Allchar Sb-As-Tl-Au deposit, *Nuclear Instruments and methods in Physics Research*, Part A, **271**, 286 (1988).
71. T. Stafilov, T. Todorovski, B. Grozdanova, Lj. Spandževa, Determination of thallium in ore from Allchar by atomic absorption spectrometry, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **A271**, 321–323 (1988).
72. B. Boev, R. Stojanov, G. Denkovski, Geology of the polymetallic deposit "Alshar", Macedonia, *Geologica Macedonica*, **7**, 35–39 (1993).
73. T. Balić Žunić, T. Stafilov, D. Tibljaš, Distribution of thallium and the ore genesis at Crven Dol locality in Alšar, *Geologica Macedonica*, **7**, 45–52 (1993).
74. S. Janković, R. Jelenković, Thallium mineralization in the Allchar Sb-As-Tl-Au deposit, *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, **167**, 283–297 (1994).
75. T. Stafilov, S. Aleksovska, V. Jordanovska, Determination of lead in lorandite and marcasite from Allchar by electrothermal atomic absorption spectrometry, *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, **167**, 401–408 (1994).

# GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE WATERS FROM THE GEOTHERMAL SYSTEM ZDRAVEVCI

Orce Spasovski<sup>1</sup>, Daniel Spasovski<sup>1</sup>

*University Goce Delcev – Stip, Faculty for natural and technical sciences, Institute for geology,  
orce.spasovski@ugd.edu.mk, daniel.131104@student.ugd.edu.mk*

## Abstract

In this paper the results from the geochemical research of the waters from the geothermal system Zdravevci are presented. The geochemical research points to the fact that it is a case of sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide and low acid carbonic hyperterms, which is also evident from the participation rates of separate dissolved components in them. Due to this content, the thermal water from this geothermal system has bath and healing features. The waters from the researched geothermal system, apart from the other components, also contain 1/3 of the volume with pureCO<sub>2</sub>, increased contents of sulfur and increased concentrations of sulfur and also increased concentrations of many other components that most likely a product of the classic hydrothermal systems located in greater depths.

**Key words:**Zdravevci, geothermal system, AES-ICP, major elements, microelements, thermomineral water.

## INTRODUCTION

The chemical content of the hydrothermal fluids and the isotopic content of certain dissolved ions and gases are tightly connected to the thermal history of the hydrogeothermal systems. This hydrochemical property enables use of many practical methods to use the chemical content of the hydrothermal fluids in the geothermal symptomatology.

Without going into details, it should only be taken into consideration that the results from the research of the chemical content of many warm and hot waters in the world, many authors point to the fact that the content of Na, K, Ca, Mg and SiO<sub>2</sub> and many others dissolved components can provide significant data also for the temperatures which exist in the volume of the accumulation of the hydrogeothermal fluids.

The chemical content of the hydrothermal fluids is mainly conditioned by the reactions among the minerals which constitute the rocks and the fluids and which are conditioned by the temperatures.

The examination of the chemical content of the thermomineral waters from the geothermal system 'Zdravevci', as well as the waters from other springs and wells in this area, has been done during this last few years but it is not systemized yet. In order to determine the chemical content of the waters, samples have been taken from various natural springs, wells or some examined holes in the areas

surrounding the geothermal system 'Zdravevci'. The chemical analyses are done in various laboratories with different criteria and possibilities to determine the various components of the examined waters. Apart from that, it is also evident that the different laboratories have equipment with different perceptibility in the process of determining the content of separate components (comparing the data from the water from the examined hole ZD-3 from different laboratories).

The analyses are concerned with determining the content of the main elements, like Ca, Mg, Na, K and other elements present in the concentrations from the scale mg/L but also determining the content of microelements present in the concentrations from the scale mg/L. The latest examinations are done with atomic emission spectroscopy with inductively joined plasma, i.t. AES-ICP method which satisfies the required needs for sample analyses of waters of different type.

## RESULTS AND DISCUSSION

It is well known today that in the process of the examination of geothermal waters, the geochemical research has great application. These examinations are based on the fact that the warm waters in their circulation through the Earth's surface dissolve certain rocks they encounter along the way. The quantity and the proportions of the dissolved ingredients are directly depended on the temperature of the

surrounding area. During the flow of that water towards the surface its chemical content is significantly changed, but it can be stated that the thermal waters decrease the temperature compared to the temperature it had in the grater depths.

In the examination processes done in 2009, an attempt has been made to follow the chemical content of the thermomineral waters in order to determine the presence and the variability of the presence of separate elements, and also to make a comparison with the results from the previous examinations. These examinations only deal with the water from the holes ZD-3, ZD-4, ZD-7 and ZD-5. The results are presented in Table 1.

From the given Table 1 it can be seen that the mineral water from the geothermal system 'Zdravevci' is characterized with a presence of a great number of components which are most probably a product of classical hydrothermal systems, located in grater depths.

The content of the of the alkaline metals Na and K varies, for the Na from 30,54 mg/l (ZD-5) to 252,12 mg/l (ZD-3). The content of K is significantly lower that Na, varying from 1,28 mg/l (ZD-5) to 39,28 mg/l (ZD-4). The content of Ca is also different in the separate holes and it is the range from 273,79 mg/l (ZD-7) to maximum of 369, 07 mg/l (ZD-4). The magnesium does not show significant variations in terms of the content and it is the range from 30,77 mg/l (ZD-3) to maximum of 71,08 mg/l (ZD-5).

From the microcomponents of the examined samples, it is significant to notice the content of Al, Cu, Fe, Pb, Zn, Ni, Co, Sr, Ce, Cd, As and Cr. Special attention deserve the contents of As, Ce and Sr. Further on, there will be interpretation of only a small part of the microelements, while the complete content of all analyzed elements can be seen in Tables 1.

The content of the of the alkaline metals Na and K varies, for the Na from 30,54 mg/l (ZD-5) to 252,12 mg/l (ZD-3). The content of K is significantly lower that Na, varying from 1,28 mg/l (ZD-5) to 39,28 mg/l (ZD-4). The content of Ca is also different in the separate holes and it is the range from 273,79 mg/l (ZD-7) to maximum of 369, 07 mg/l (ZD-4). The magnesium does not show significant variations in terms of the content and it is the range from 30,77 mg/l (ZD-3) to maximum of 71,08 mg/l (ZD-5).

From the microcomponents of the examined samples, it is significant to notice the content of Al, Cu, Fe, Pb, Zn, Ni, Co, Sr, Ce, Cd, As and Cr.

**Table 1.** The content of microelements in the thermomineral waters from the holes ZD-3, ZD-5, ZD-7 and ZD-4(mg/l)

Element	Hole	Results from the examination(mg/l)		
Ca	ZD-3	353,03	353,03	338,19
	ZD-5	286,88	286,88	293,63
	ZD-7	294,61	294,61	273,79
	ZD-4	369,07	369,07	340,42
Mg	ZD-3	38,61	30,77	32,25
	ZD-5	71,08	49,02	58,48
	ZD-7	43,57	26,93	34,06
	ZD-4	43,67	31,56	38,32
Na	ZD-3	223,50	199,86	252,12
	ZD-5	36,54	30,54	41,34
	ZD-7	96,93	68,98	89,96
	ZD-4	214,29	301,21	213,03
K	ZD-3	37,504	36,32	36,10
	ZD-5	36,359	1,39	1,27
	ZD-7	34,050	36,82	26,53
	ZD-4	39,281	39,21	40,51
Sr	ZD-3	5,72	5,31	5,27
	ZD-5	3,71	4,15	4,71
	ZD-7	4,78	3,40	4,18
	ZD-4	5,71	5,23	5,21
Mn	ZD-3	0,230	0,245	0,209
	ZD-5	0,797	1,076	0,98
	ZD-7	0,712	0,839	0,66
	ZD-4	0,227	0,254	0,24
Fe	ZD-3	0,171	0,205	0,313
	ZD-5	0,209	1,36	1,204
	ZD-7	3,065	4,99	3,685
	ZD-4	0,164	1,78	1,003
Zn	ZD-3	0,0069	0,008	0,03
	ZD-5	0,011	0,011	0,015
	ZD-7	0,013	0,013	0,013
	ZD-4	0,632	0,012	0,011
Pb	ZD-3	0,029	0,015	0,016
	ZD-5	0,017	0,039	0,014
	ZD-7	0,0067	0,0051	0,0048
	ZD-4	0,023	0,015	0,019
Cu	ZD-3	0,0015	0,0028	0,0040
	ZD-5	0,0036	0,0130	0,0041
	ZD-7	0,0078	0,0013	0,0071
	ZD-4	0,0016	0,0016	0,0044
Ni	ZD-3	0,002	0,003	0,001
	ZD-5	0,008	0,002	0,006
	ZD-7	0,001	0,006	0,004
	ZD-4	0,001	0,0082	0,001
Cd	ZD-3	0,0016	<0,001	<0,001
	ZD-5	<0,001	0,0012	0,0005
	ZD-7	0,0013	<0,001	0,0018
	ZD-4	0,0002	<0,001	<0,001
Co	ZD-3	0,0038	0,0030	0,0026
	ZD-5	0,0036	0,0038	0,0039
	ZD-7	0,0042	0,0083	0,0030
	ZD-4	0,0049	0,0041	0,0040
As	ZD-3	0,301	0,133	0,091
	ZD-5	0,090	0,067	0,062
	ZD-7	0,097	0,035	0,107
	ZD-4	0,069	0,276	0,024
Ce	ZD-3	0,347	0,151	0,148
	ZD-5	0,114	0,137	0,158
	ZD-7	0,296	0,129	0,284
	ZD-4	0,130	0,414	0,233

*Note: The analyses are done at the Faculty of natural and technical sciences in Stip 2009.*

Special attention deserve the contents of As, Ce and Sr. Further on, there will be interpretation of only a small part of the microelements, while the complete content of all analyzed elements can be seen in Tables 5 and 6.

The content of Al is in most cases 0,02 mg/l, while Mn is in the range between 0,209 mg/l (ZD-3) to maximum 1,07 mg/l (ZD-5). The Iron showed greater variations in the content than the manganese and is mostly in the range between 0,164 mg/l (ZD-4) to maximum of 4,99 mg/l (ZD7).

The arsenic is mostly in content of 0.024mg/l (ZD-4) to maximum of 0,301 mg/l (ZD-3). The content of Ce is slightly higher and it is the range of 0.114 mg/l (ZD-5) to maximum of 0.414 mg/l (ZD-4). The Strontium is in increased content and all these three analyzed samples are the same and are in the range of 3,40 mg/l (ZD-7) to the maximum of 5,72 mg/l (ZD-3). Ni and Co are also present in the all three analyzed samples but none of them show any significant variations in their contents.

After the performed field and also laboratory physical-chemical analyses of the mineral water in the researched hole ZD-3 (Table 2) the following can be deduced:

The thermomineral water from the geothermal system 'Zdravevci' belong to the category of *sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide and low acid carbonic hyperterms*, which is also evident from the participation rates of separate dissolved components in them.

In the direction of movement of that water towards the surface of the field, its chemical content is significantly changed, but it can be stated that the thermal waters decrease the temperature compared to the temperature it had in the grater depths in the holes.

From the presented analyses (Table 2) it can be seen that the dry residue of 180°C of the examined water from the hole ZD-3 is 2.1743 gr/l, which means that it satisfies the criteria to be classified as mineral water.

From the presented analyses it can also be stated that the cations are above 20 milival% present in sodium (42.7088 milival%) and calcium (48.4343 milival%) and as for the anions hydrocarbonat (51.8153milival%) and the sulfate CO<sub>4</sub> (42.0990 milival%) which makes this water belong in the category of sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide mineral water.

**Table 2.** Physical-chemical analysis of the mineral water from the locality Borovik, researched hole ZD-3

Specific gravity	1.00172			
Ph	6.5			
Dry residue at 180°C	2.1743			
Temperature of the water	48°C			
Temperature of the air	26°C			
<i>1 (ONE) LITRE WATER CONTAINS</i>				
	<i>Grams</i>	<i>Millimole</i>	<i>Milival</i>	<i>Milival%</i>
<i>Cations:</i>				
Sodium (Na <sup>+</sup> )	0.32450	14.1086	14.1086	42.7088
Potassium (K <sup>+</sup> )	0.02500	0.6410	0.6410	1.9404
Lithium (Li <sup>+</sup> )	0.00020	0.0288	0.0288	0.0871
Ammonia (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0	0	0	0
Calcium (Ca <sup>++</sup> )	0.32000	8.0000	16.0000	48.4343
Magnesium (Mg <sup>++</sup> )	0.02500	1.0285	2.0570	6.2268
Strontium (Sr <sup>+</sup> )	0.00660	0.0753	0.1506	0.4558
Manganese (Mn <sup>++</sup> )	0.00030	0.0054	0.0108	0.0326
Iron (Fe <sup>++</sup> )	0.00090	0.0161	0.0322	0.0974
Aluminum (Al <sup>++</sup> )	0.00005	0.0180	0.0054	0.0168
<i>Anions:</i>				
Hydrocarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1.2200	20.0000	20.0000	51.8153
Chlorine (Cl <sup>-</sup> )	0.0800	2.2535	2.2535	5.8394
Bromine (Br <sup>-</sup> )	0	0	0	0
Iodide (I <sup>-</sup> )	0	0	0	0
Fluoride (F <sup>-</sup> )	0.0018	0.0947	0.0947	0.2453
Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0	0	0	0
Phosphate (HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	0.00002	0.0002	0.0004	0.0010
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	0.7800	8.1250	16.2500	42.0990
			38.5986	100.0000
<i>Weak electrolytes</i>				
Metasilicic acids	0.6680			
Metaboron acid	0.0056			
Total dry substance, dissolved in water			3.4579	
<i>Gases</i>				
Free: CO <sub>2</sub>	0.8800			
Free: H <sub>2</sub> S	0.0012			
Chemical property	The chemical content is characterized with sodium, calcium, hydrocarbonate and sulfide. The total concentration based on measures H/1000 is for Na (71.63); Ca (16.0); HCO <sub>3</sub> (20.0); SO <sub>4</sub> (16.25). The water is also characterized with presence of free CO <sub>2</sub> (0.88 g/l) and H <sub>2</sub> S (0.0012 g/l).			
Kurlov formula	H <sub>2</sub> S 0.0012 CO <sub>2</sub> 0.8800 M 3.4579 $\frac{HCO_3 51.81 SO_4 42.09}{Na 42.70 Ca 48.43}$ T 45°C			
Type of water	The water belongs in the category of sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide and low acid carbonic hyperterms.			

Based on the content of SiO<sub>2</sub>, Na, K, Ca and Li, and also based on their mutual relations in the hydrothermal fluids in the locality Borovik, by using appropriate standard formulas of Phournier, Trusdell, Ronje and Michard, the possible temperatures of the

deeper parts of the collector are also calculated. Without going into details, the temperature is estimated to be approximately 174 °C. That points to the fact that, apart from the other things, in a tight impact in time on the magmatic intrusion, i.e. the heating object, and also it can be concluded logically that there are much higher temperatures existing today.

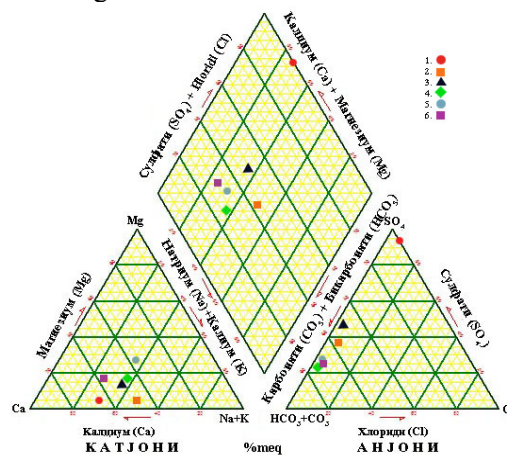
The examined water, among the rest contains 1/3 pure CO<sub>2</sub>. Its quantity in the researched hole ZD-3, with a free flow of the mineral water, estimated in the last ten years, has not changed significantly. Significant quantities of CO<sub>2</sub> are noticed in the more shallow holes which have not opened the hydrothermal fluids. The great quantities of CO<sub>2</sub> are probably due to the escalations of the final stages of the tertiary volcanism. The presence of the free CO<sub>2</sub> (0.8800 g/l) and H<sub>2</sub>S (0.012 g/l) gives this water another attribute to its categorization, that it belongs to sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide and low acid carbonic hyperterms.

This water is characterized with great content of sulfur and increased concentrations of a great number of components which are most probably a product of the classical hydrothermal systems located in the greater depths. Due to the content, the water from the mentioned locality has bath and healing characteristics. Apart from this, it is used today, only in limited quantities, as a high quality drinking water (Dobra Voda). This kind of mineral waters belongs to volcano waters, which makes them most demanded on the European and world market of mineral waters. For the illustration of the chemical content, the data presented in the trilinear diagram (Figure 1 and 2) which clearly presents that the thermomineral waters coming from the hydrothermal system ‘Zdravevci’ all have similar but in occasions different chemical content depending on the environment they originate, the length and the content of the transiting paths from the primary collector to the place of their outflow, the temperature of the collector and the one in the transiting paths, etc., does not exclude the opportunity that it influenced the accuracy of separate laboratories.

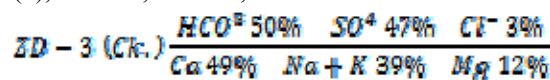
It can be seen, in the trilinear diagram, that all analyzed waters belong to hydrocarbonate, and the content of other dissolved elements (Ca, K,

Na and Mg) they can be categorized and named as certain subtypes.

For example, the thermomineral water from the researched hole ZD-3, based on the chemical analysis from the Republic Institute for Health Protection – Skopje, it can be defined as *hydrocarbonate - sulfide – calcium, sodium – potassium type of water* with the following formula:

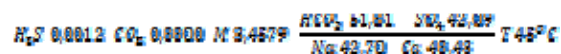


**Figure 1.** Trilinear diagram for the chemical content of the thermomineral waters by Piper for the geothermal system ‘Zdravevci’ (taken from the Analysis from 1993) 1. ZD-1, 2. ZD-3 (1), 3. ZD-3 (2), 4. ZD-5, 5. ZD-4, 6. ZD-2.



Based on the chemical analysis of the water done by the chemical laboratory at the Institute for Rehabilitation in Belgrade, it is categorized as sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide and low acid carbonic hyperterms, which is evident in presence of separate dissolved components in them (given in mg/l). The dry residue of 180°C from the examined water is 2,1743 g/l which points to the fact that it satisfies that criteria to be classified as mineral water.

The analyzed sample from the water from the researched hole ZD-3 can be presented with the following formula (by Kurlov):



It can also be stated that the cations of over 20 millival% are present: sodium (42,7088 millival%) and calcium (48,4343 millival%) while from the anions, we have hydrocarbonate 51,8153 millival% and the sulfate SO<sub>4</sub> - 42,0990 millival%, which makes this water to be categorized as sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide mineral water.

This water contains free sulfur-hydrogen H<sub>2</sub>S – 0.0012 g/l and free CO<sub>2</sub> – 0,8800 g/l and it categorizes this water as sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide and low acid carbonic hyperterms.

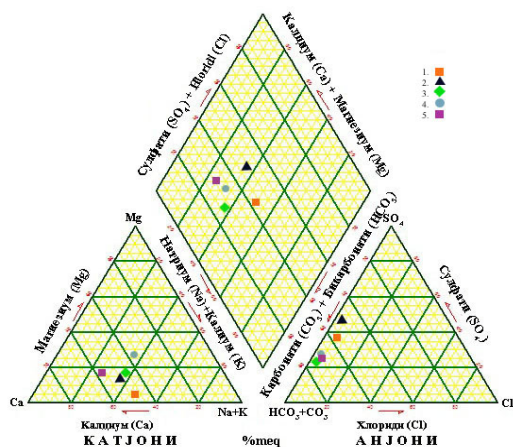
During 2009 we have performed research of five samples taken from the holes where today we have an overflow of the water and one sample from the water of the spring in the river Povisnica (Table 3). The results from this research confirmed that the water from this geothermal system belongs to the category of sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide and low acid carbonic hyperterms (Picture 2).

**Table 3.** Chemical content of the thermomineral water of the geothermal system 'Zdravec' (mg/l)

Comp onents	Label on the samples					Source
	ZD-4 (1)	ZD-4 (2)	ZD-3 (1)	ZD-3 (2)	ZD-7	
Na	214	260	252	223	90	175
K	40	39	36	37	38	53
Ca	319	340	262	320	295	271
Mg	52	38	36	32	45	79
Cl	33	34	44	80	28	39
SO <sub>4</sub>	374	492	430	560	480	332
HCO <sub>3</sub>	658	662	483	769	674	632
pH	6.8	6.8	7.0	6.9	7.1	6.8

**Note:** The analyses are done at the Institute for Health Protection in Veles.

The total mineralization of the analyzed water is significantly high and is in most cases higher than 1 g/l i.e. it is between 0.33 – 2.88 g/l.



**Figure 2.** Trilinear diagram of the chemical content of the thermomineral waters by Piper for the geothermal system 'Zdravec'

1. ZD-3, 2. Source, 3. ZD-5, 4. ZD-4, 5. ZD-2.

The analyzed waters concerning the physical properties, they are clear, no color, no smell or a slight smell of H<sub>2</sub>S, no taste or a slightly acid

taste. The temperatures vary greatly, so some can be categorized as hypothermal, others as hemothermal, while the water from ZD-3 is hyperthermal.

The pH values vary greatly and those are natural waters (with pH from 6.5 to 7.5). The extremely acid (pH 2.6) is only the water from one well on Plavica, where there is an intense dissolving of sulphide minerals.

Taking the gas content in consideration, it can be said that the mineral waters from this area where gases are present belong to carbon-acid waters where the content of CO<sub>2</sub> is over 90%, and in certain cases a presence of 100% CO<sub>2</sub>. The presence of N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> which are a result of air pollution due to the old equipment when taking and examining the samples.

The immense presence of CO<sub>2</sub> in most natural springs and in some researched holes point to the high temperature of the collector of the geothermal system and also to its great dimension. On the other hand, the immense presence of CO<sub>2</sub> in these waters confirms the possibility of the existence of great masses of carbonate within the collector of the geothermal system 'Zdravec'.

By analyzing the results from the chemical analyses of the hard metals, it can be stated that from the examined hard metals in the thermomineral water from the geothermal system 'Zdravec', they are within normal ranges.

The latest examinations of the thermomineral water of the geothermal system 'Zdravec', show that this water is characterized with higher concentrations of the great number of components, primarily Sr, Ce and As, which are most probably a product of classical hydrothermal systems, located in greater depths.

## CONCLUSION

The mineral water of the researched area belongs to the category of sodium – calcium – hydrocarbonate, sulfide and low acid carbonic hyperterms, which is evident with the presence of separate dissolved components in it (given in mg/l). Due to this content this mineral water has bath and healing characteristics. Apart from this, it is used today, only in limited quantities, as a high quality drinking water (Dobra Voda). This water from the mentioned locality, is characterized with increased concentrations of a great number of

components which are most probably a product of the classical hydrothermal systems located in the greater depths. From the analyses of the hard metals, it can be stated that they are in normal values.

Based on the presented so far about the content of macrocomponents and microcomponents, it can be noticed that the examined samples from the thermomineral water of the researched geothermal system is characterized with presence of great number of microelements which is a result of the geological constitution of the field and the paths where the fluids have passed. It is also evident that the elements such as Na, Ca are present in significant high concentrations, which confirms their classification as sodium-calcium type. Special attention deserve the high contents of As, Sr and Se and the high concentrations of the great number of components of primary importance Sr, Ce and As which are most probably a result of classical hydrothermal systems, located in greater depths.

Taking the gas content in consideration, it can be said that the mineral waters from this area where gases are present belong to carbon-acid waters, the content of CO<sub>2</sub> is over 90%, and in certain cases a presence of 100% CO<sub>2</sub>.

The presented conclusions about the content of the mineral water from the geothermal system 'Zdravevci' are based on a small number of analysed samples but they still give solid information about the content of the water.

## REFERENCES

Ракиќ, С., Мицевски, Е., Столиќ, Н., 1993: *Елаборат за досегашните геотермални истражувања на теренот западно до Кратово (геотермален систем Здравевци) со пресметка на резервите на хидротермалните флуиди.* Стручен фонд РИК "Силекс" – Кратово

Ракиќ, С., Мицевски, Е., Столиќ, Н., 1993: *Елаборат за досегашните геотермални ресурси во Република Македонија. Геотермална енергија: Состојби и перспективи во Република Македонија.* МАНУ. Ед. К. Поповски, Скопје.

Ракиќ, С., Ѓорѓевиќ, Н., Столиќ, Н., 1995: *Геотермална потенцијалност на Кратовско-Злетовската вулканска област. Геотермална енергија: состојба и перспективи во Република Македонија.* МАНУ. Ед. К. Поповски.

Rakić, S., Stojanov, R., Stolic, N., (1996): *Magmathizam and Geothermal Energsof the Kratovo – Zletovo Volcanic Area.* The Formation of the Geologic Framework of Serbia and trhe Adjanced Regiony Edd Faciltis of Mining and Geology, Belgrade.

Ракиќ, С., Столиќ, Н., 2002: *Геотермален систем Здравевци-Кратовско. Мозни температури во колекторот и грејното тело и перспектива на истражување по длабочина.* Работилница со меѓународно учество.

Серафимовски, Т., (2001): *Врската помеѓу геотермалните системи и хидротермалните минерализациони системи.* Прво советување по геотермална енергија во Република Македонија., Банско, Зборник на трудови.

Спасовски, О., Панева, В., Мирцовски, В., Стефанова, В., 2003: *Нови податоци за хемискиот состав на термоминералната вода од геотермалниот систем Здравевци-Кратовско.* Второ советување по геотермална енергија во Република Македонија, Банско. Зборник на трудови. Стр. 73-84.

Spasovski, O., Mircovski, V., 2005: *Geochemical characteristics of the thermomineral waters of the Borivic locality, Kratovo (the Republic of Macedonia).* 14<sup>th</sup> Congress of Geologists of Serbia and Montenegro, Novi Sad.

Stolic, N., 1997: *Plutonites in the Kratovo - Zletovo Volcanic Area, Cause of Geophysical Anomalies, Magmatism, Metamorphizm and Metallogeny of the Vardar zone end Serbo-Macedonian Massif.* Dojran- Stip.

# ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ТЕШКИ И ТОКСИЧНИ МЕТАЛИ ВО ВОДИТЕ ОД ГРАДСКИОТ ВОДОВОД ВО ШТИП СО ПРИМЕНА НА МЕТОДАТА НА ICP-AES

Марјан Максимов<sup>1</sup>, Блажо Боев<sup>1</sup>, Весна Зајкова Панова<sup>1</sup>

*Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип  
Гоце Делчев бр.89, Штип, Република Македонија*

## Апстракт

Тешките и токсични метали се едни од најчесто истражуваните елементи во геохемијата. Во групата на тешки и токсични метали се вбројуваат Hg, Pb, As, Ni, Cd, Cu, Co, Zn, Al, Mo, Mg, Mn, Na, P, U, K, Cr, V, Fe, Sn, Se, Al, Sr, Ca, B, Ba. Дел од овие метали се наречени и биометали, поради учеството во метаболичките процеси на организмот и имаат есенцијално значење, но од друга страна пак нивната зголемена концентрација е токсична и канцерогена. Оваа амбивалентност е карактеристична за поголем број од горе споменатите елементи, со исклучок на многу токсичните метали Pb, As, Ni и Cd, кои се токсични и во многу мали концентрации, и Mn за кој се знае дека е доста застапен во водата на штипското подрачје. Затоа и фокусот на овој труд ќе биде насочен токму кон овие метали. Како медиум во кои е вршено определувањето на тешките и токсични метали е водата од градскиот водовод на Штип, со примена на методата на ICP-AES (атомско емисиона спектрометрија со индуктивно спрегната плазма). За оваа цел се земено 80 проби од предходно внимателно избрани мерни пунктови, кои би дале репрезентативна слика за квалитетот на водата. Од следните определувани метали (Ag, As, Ni, Ba, Mn, Fe, Cr, V, Zn, Cu, Pb, Co, Cd), само Pb, Ag, As, Ni, Mn се во концентрации над дозволеното.

**Клучни зборови:** геохемика анализа, метали, вода, кадмиум, олово, арсен

## ВОВЕД

Хигиенски исправната вода за пиење е основен предуслов за добро здравје, затоа што е неопходна за одржување на животот, личната и општата хигиена. Светската здравствена организација (World Health Organization, WHO) квалитетот на водата за пиење го сврстува во дванаесете основни индикатори кој влијаат на здравствената состојба на населението во една земја, со што се потврдува нејзината значајна улога во заштитата и унапредувањето на здравјето Rajkovic, и др. (2003). Најзначајната функција на водата за пиење за организмот е физиолошката улога односно нејзиното метаболичка улога при размена на материите.

Водата е хемиско соединеие со многу сложен состав (растворени гасови, главни јони-макрокомпоненти, преодни компоненти, органски супстанции и микрокомпоненти) и нејзината природа до денес не е до крај испитана Rajkovic, (2003).

Сепак водата има одреден состав и карактеристи што ја прави водата да биде питка или не, и затоа овде би ги спомнале микроелементите, чија концентрација е битен услов за квалитетот на водата за пиење.

Концентрацијата на микроелементите е најчесто пониска од 10 mg/L, но во бројни случаи од различни причини, природни, антропогени и др, содржината на овие елементи е значително

поголема од овие концентрации. Во оваа група на микрокомпоненти спагаат: арсен, барium, бакар, хром, манган, олово, кадмиум, цинк, железо, ванадиум, стронциум, молибден, кобалт, никел, ураниум, и др. кои всушност повеќето од нив се и предмет на нашето истражување.

Од содржината т.е од видот и количината на одредени јони зависат и некој карактеристики според кој релативно едноставно може да се одреди квалитетот на водите. Таквите карактеристики ги нарекуваме параметри за квалитет на водите Мирчовски, Мајер (2011).

Евидентно е зголемено загадување на површинските води преку неконтролирано излевање на непречистени отпадни води кои по пат на дренарање ги контаминираат и подземните води или се потенцијална опасност за нивна контаминација, МАККОМ (1998). Главната причина е негрижата на луѓето кон природните ресурси и отсуството на соодветни механизми за управување и третман на отпадните води на локално и на национално ниво.

Во Македонија, во нејзината индустрија во повеќето фирми е присутна стара и неефикасна производна технологија со ниско производно ниво, а не постои адекватна опрема за третирање на отпадните води кои се главни причини за загадување на водите од страна на индустријата.



Тоа е особено случај со металуршката и хемиската индустрија. Во рударскиот сектор, отпадоците од привремените депонии претставуваат особена опасност за загадување на подземните води и реките. Рудниците Злетово, Саса, Тораница и Бучим веќе ги загадуваат ближните реки главно со тешки и токсични метали, а токму ваквите води се и главните обезбедувачи на вода за пиење, со соодветна преработка.

### ИСПИТУВАНА ОБЛАСТ

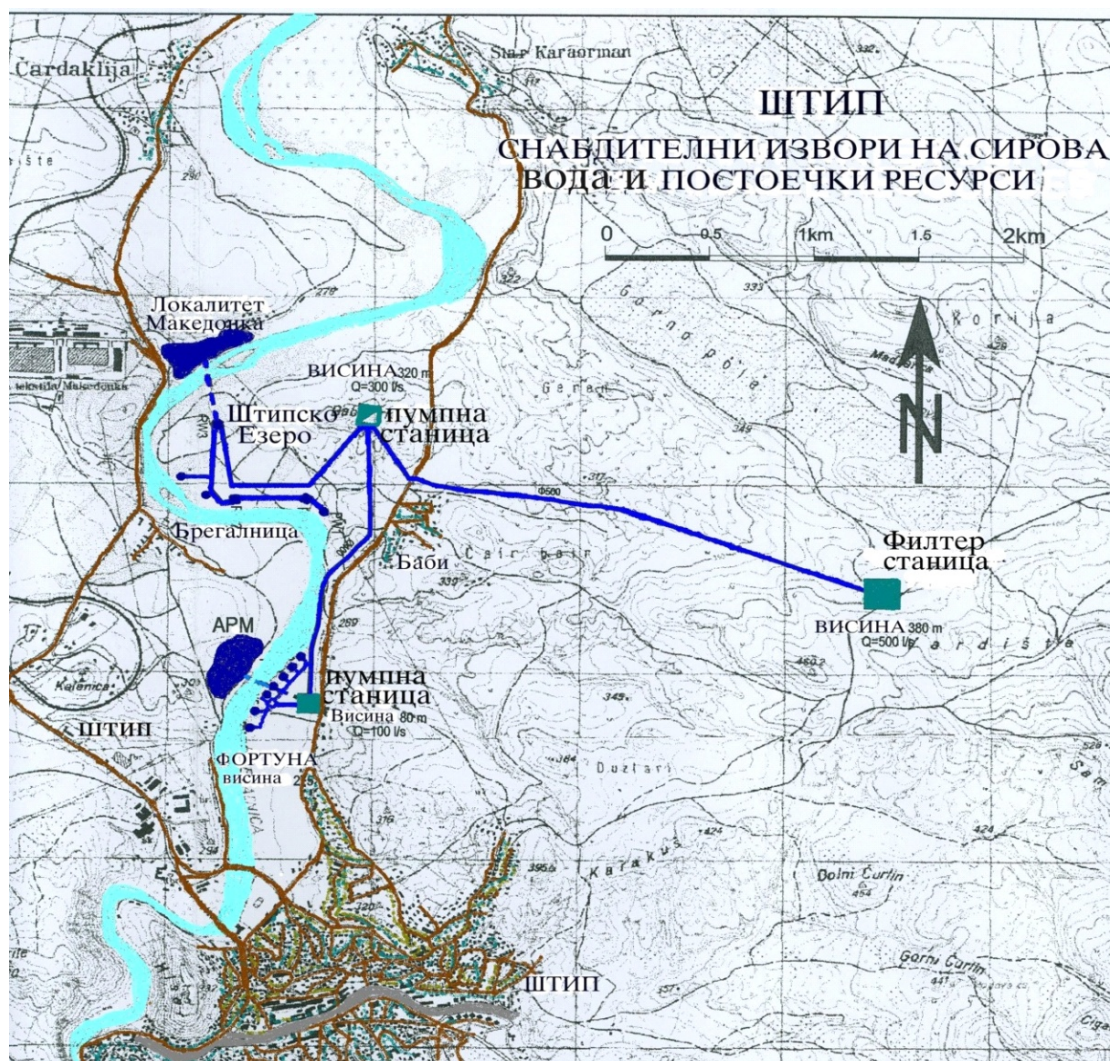
Водоснабдувањето на град Штип со вода за пиење се врши од централен градски водоводен

систем, за кој се користи подземна вода од крајбрежието на реката Брегалница.

Основни елементи на системот за водоснабдување на градот Штип се:

- бунарски ситеми
- пумпни станици
- систем за пренос на сива вода (не преработена)
- филтер станица
- систем за дистрибуција на преработена вода

Локацијата на поедините елементи од системот за водоснабдување на градот се прикажани на сликата бр.1



Слика 1. Систем за водоснабдување на Штип

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН ДЕЛ

#### Земање на примероци и подготовка на примероци

За определување на тешки и токсични метали во водата од водоводот на град Штип, со цел да бидат опфатени водите од реката, бунарите и дистрибуираната вода од градскиот водовод, земани се примероци на претходно определените

десет пунктови во временски континуитет од осум месеци, почнувајќи од месец мај до декември 2010 год, еднаш месечно, така да вкупниот број на земени проби за анализа е 80 проби. Како мерни точки се земени следните локации:

- Вода од реката Брегалница кај нас.Македонка
- Вода од бунар бр.6 во локалитет “Фортуна“
- Вода од бунар бр.9 во локалитет “Штипско езеро“

- Вода од реката брегалница кај нас.8-ми Ноември
- Вода од Филтер станица пред филтрација (влез)
- Вода од Филтер станица по филтрација (излез)
- Вода од училиштето “ Димитар Влахов “
- Вода од Здравствен дом – Штип
- Вода од фонтаната на градскиот плоштад
- Вода од Факултет за природни и технички науки ( ФПТН )

Примероците се земани во шишиња изработени од хемиски инертен полиетилен, т.е. пластични шишиња, чиј состав не влијае на составот на водата за анализа, со волумен од 2 литра.

При земањето на пробите од реката земаните мостри се од делот на реката со најсилен проток на вода и на длабочина од 20 – 30 cm под површината, а од чешмите, славината се одвртува се додека не се добие млаз вода со приближен дијаметар 0.5 cm и се остава водата да истекува 10-15 минути после што се полни шишето и откако е наполнето уште 10-ина минути се остава водата да прелева од шишето.

Земените примероци од пунктовите на реката и бунарите во лабораторија се филтрираат и конзервираат. Со цел да се зачува оригиналниот состав на испитуваните примероци, т.е. соодносот помеѓу одделни компоненти кој се застапени во испитуваниот објект да се задржи колку што е можно поверодостојно, како и во состојба во која се наоѓаат во испитуваниот објект во моментот на земање на примерокот, примероците се конзервираат со додавање на концентрирана азотна киселина,  $c(\text{HNO}_3) = 15.8 \text{ mol/l}$  до pH 2 (4mL на 2L примерок).

#### Хемиска анализа

Определувањето на следните таргетираните елементи (Ag, As, Ni, Ba, Mn, Fe, Cr, V, Zn, Cu, Pb, Co, Cd) е направено со методата на атомско емисиона спектрометрија со индуктивно спрегната плазма (АЕС-ИСП), ICP-AES (Varian, Liberty 110).

**Табела 1. Инструментални и оперативни услови за АЕС-ИСП систем**

Воведување на примерок		V-groove					
Распрскувач		Inert Sturman-Masters					
Распрскувачка комора		12 rollers, 1 turn/min increment					
Перисталтичка пумпа							
Услови за програма							
Моќност на плазма		1,0 kW	Брзина на пумпа		20 rpm		
Проток на Ag за плазма		15 L/min	Време на стабилизација		30 s		
Проток на аксијален Ag		1,5 L/min	Време за промивање		30 s		
Притисок на распрскувач		200 kPa	Време на заостанување		30 s		
Корекција на фон		Динамичка	Висина на плазма		Оптимизирано по SBR		
Услови на линија							
Ел.	Бранова должина/nm	Search window/nm	Време за интеграција/s	Репликации	Филтер	Ред на реш.	PMT/V
As	193,69	0,02	7	3	1	1	650
Ag	328,07	0,02	5	3	6	1	650
Ba	455,20	0,02	3	3	7	1	650
Cr	267,72	0,01	5	3	6	2	650
Cu	324,75	0,01	5	3	6	2	650
Cd	226,50	0,007	5	3	1	3	650
Co	228,62	0,007	5	3	6	1	650
Fe	256,94	0,01	5	3	6	2	650
Mn	257,61	0,01	5	3	6	2	650
Ni	352,45	0,02	5	3	6	1	650
Pb	220,35	0,007	7	3	1	3	650
Zn	213,86	0,007	5	3	6	1	650
V	309,31	0,01	5	3	6	2	650

Границите на детекција на АЕС – ИСП се во опсег од  $10^{-1} - 10^{-4} \text{ mg/L}^{-1}$ , за одредени елементи значајни за нашето истражување Dickinson, Fassel, (1969).

Оптималните инструментални услови се дадени во табела бр. 1. За инструментална калибрација и

#### РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Концентрација на испитуваните елементи во земените примероци во монитираниот период мај - декември, 2010, се преставени на сликите од 2 до 14.

Според редовните контроли на водите за пиење во Филтер станицата, во водата од штипскиот регион манганот е често пати застапен во повисоки концентрации (Дневник бр.257) што е потврдено и со нашите мерења.

квантитативно одредување на секој од таргетираните елементи се користеа мултиелементни стандардни раствори, (Multy elemental standard solution V и IV, едноелементни стандардни раствори за P, Ca, Mg, Fluka; multy elemental standard solution Ultra Scientific).

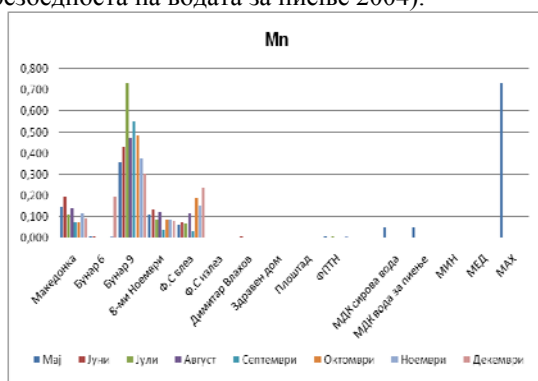
Вредностите за концентрациите на манганот (сл.2) во води од реката Брегалница се во опсег од 0,039 mg/l во месец септември во пункт 8-ми Ноември до 0,195 mg/l во месец јуни на мерно место Македонка.

Само во еден случај (мерно место 8-ми Ноември во месец септември) содржината на манганот во водите од река Брегалница е пониска од максимално дозволените концентрации за води од I-II класа (0,05 mg/l), додека во сите други 15

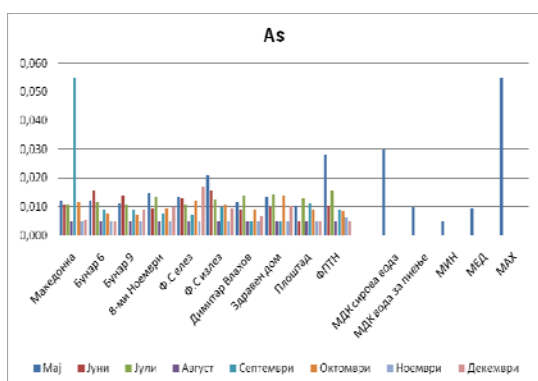
мерења, вредностите се повисоки од МДК за I-II класа (0,05 mg/l), а пониски од III-IV класа. Може да се каже дека според содржината на манганот во водите во река Брегалница во монитираниот период, водите на река Брегалница се од класа III-IV.

Содржината на манганот во примероците од следените бунари 6 и 9 како и дистрибуираната вода од бунарите до филтер станицата, се неконзистентни, во бунар 6 содржината на манганот е повисока само во едно мерење во месец декември, 0,194mg/l, додека сите други мерења укажуваат на ниски концентрации на манган (0,001-0,006mg/l). Во примероците од бунар 9 минимално измерената содржина на манганот е 0,304 mg/L во месец декември а максимално измерената е 0,729 mg/l во месец јули. Во водите на влезот на Филтер станицата најниските концентрации се измерени во месец септември, 0,033mg/l и највисоки во месец декември, 0,237 mg/l.

Одредените концентрации на манганот во водите за пиење измерени во сите 5 мерни места се со минимална вредност од <0.001 mg/l до максимална вредност од 0,008 mg/l, што укажува дека во водите за пиење во следениот период, содржината на манганот е пониска од максимално дозволените концентрации според закон за води за пиење (Правилник за безбедноста на водата за пиење 2004).



Слика 2. Графички приказ на концентрацијата на Mn во mg/L



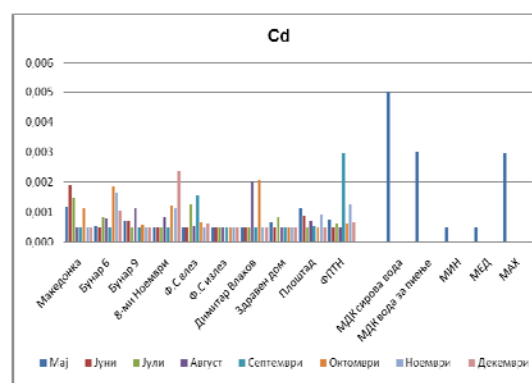
Слика 3. Графички приказ на концентрацијата на As во mg/L

Добиените резултати од мерењата на концентрациите на арсенот ( сл.3) во сите три вида на води во мониторинг периодот, се движат од минимални 0,005mg/l во 37,5% од мерењата до максимални 0,055 mg/l во само едно мерење во месец септември, со најголем удел на содржина на арсен во концентрации, 93,75% од мерењата, пониски од 0,03mg/l за класа I-II.

Во примероците од води од следените бунари како и на влезот на Филтер станицата, измерените концентрации на арсен се пониски од МДК за I-II класа води со минимални концентрации од 0,005mg/l во месец август, ноември и декември до максимална вредност од 0,017mg/l во месец декември во примерок од влез на Филтер станица,.

Концентрациите на **арсенот** во водите за пиење земени од сите 5 мерни точки за целиот испитуван период се движат од минимална вредност од 0,005 mg/L во 32,5% измерени вредности до максимална 0,028 mg/L. Во 32,5% од мерењата концентрациите на арсенот се повисоки од МДК за води за пиење (Правилник за безбедноста на водата за пиење 2004), додека во останатите 25% од мерењата измерените вредности се блиски до МДК 0,01 mg/l (0,006-0,10 mg/l).

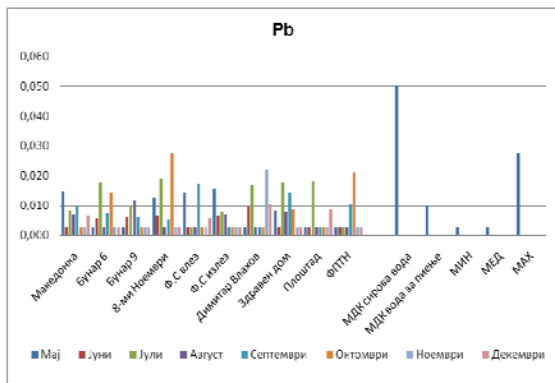
**Кадмиумот** е еден од најтоксичните метали, но за среќа тој во водата е застапен со многу ниски концентрации во граница од 0,001 до 0,003 mg/l. Максималната концентрација е измерена во водата од ФПТН и вредноста е блиска до МДК за кадмиум во водата за пиење, односно не ја надминува. Во сите примероци од реката и бунарите односно во сировите води концентрациите се под МДК за I и II класа (Уредба за класификација на водите 1999), што е јасно видливо и на графикот (сл.4).



Слика 4. Графички приказ на концентрацијата на Cd во mg/L

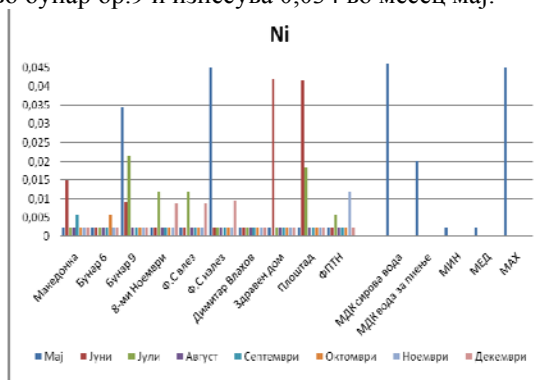
И **оловото** (сл.5) спаѓа во групата на исклучително токсични метали. Неговите концентрации во сировата вода се во опсег, пониски од 0,005 mg/l до 0,028 mg/l и овие вредности се под МДК од 0,05 mg/l. Додека пак кај водите за пиење имаме зголемени вредности во неколку локации, и тоа во Филтер станица

излез 0,016 mg/l во месец мај, потоа во пунктот Димитар Влахов 0,017 mg/l во месец јули и 0,022 mg/l, што е всушност и најголемата измерена вредност во водата за пиење при МДК од 0,01 mg/l. Други зголемени вредности имаме во Здравен дом во месец јули 0,018 mg/l и 0,014 mg/l во септември, потоа на плоштадот во месец јули 0,018 mg/l и во водата од ФПТН 0,21 во месец октомври. Во водата за пиење физичко хемиските облици на олово се карактеризираат практично со потполно отсуство на слободни јони. Главниот дел на оловото е врзан за колоидите што во многу го усложнува составот на водите.



Слика 5. Графички приказ на концентрацијата на Pb во mg/L

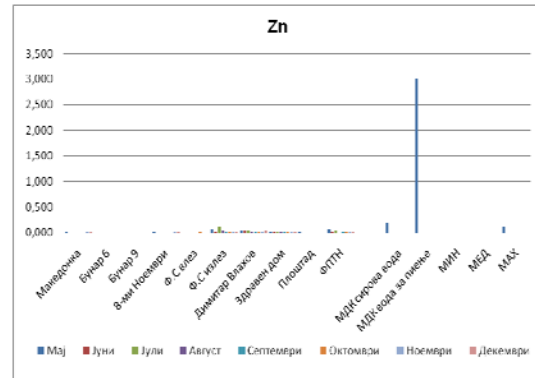
**Никелот** (сл. 6) се јавува во концентрации пониски од 0,005 mg/l до 0,045 mg/l, и во неколку случаи имаме надминување на вредностите на МДК 0,02 mg/l во водата за пиење, конкретно во примероците на вода од Здравен дом 0,042 mg/l, фонтаната на плоштадот 0,042 mg/l и излезната вода од Филтер станицата 0,045 mg/l. Овие вредности се речиси повеќе од двојно повисоки од дозволеното. Додека пак концентрацијата на Ni во водата од реката и бунарите е под МДК за ваквите води 0,05 mg/l. Максималната вредност е во бунар бр.9 и изнесува 0,034 во месец мај.



Слика 6. Графички приказ на концентрацијата на Ni во mg/L

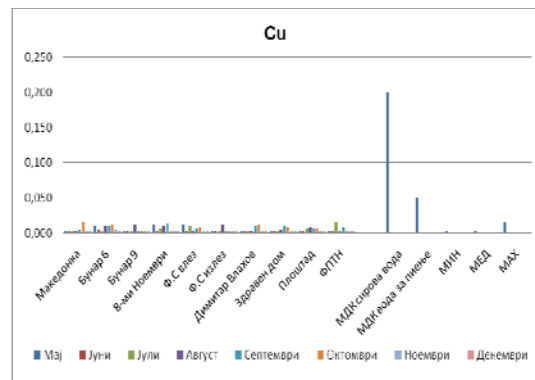
**Цинк Zn** – (сл.7) иако спаѓа во групата на многу токсични метали заедно со Cd и Hg, тој е релативно нетоксичен. Во анализираните примероци се јавува во границите од 0,001 до

0,118 mg/l, и овие вредности се доста помали од МДК 3,000 mg/l во водата за пиење. Од графичкиот приказ за концентрацијата на цинк се гледа дека Zn речиси и да нема.



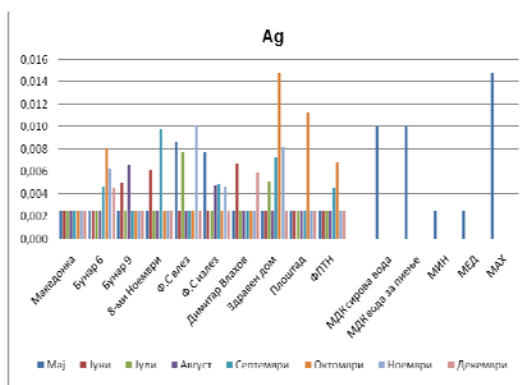
Слика 7. Графички приказ на концентрацијата на Zn во mg/L

Исто како и кај Zn и кај **бакарот** Cu, дијаграмот како да е идентичен (сл.8), што се гледа дека добиените вредности во водите од реката, бунарите и чешмите содржат бакар во концентрации далеку под МДК. Минималните вредности се пониски од 0,005mg/l, и тоа во најголем дел од анализите, додека максималната вредност изнесува 0,016 mg/l, измерена е во месец октомври во водата од реката Брегалница кај нас. Македонка и при МДК за речни води од 0,2 mg/l, оваа вредност е далеку пониска.



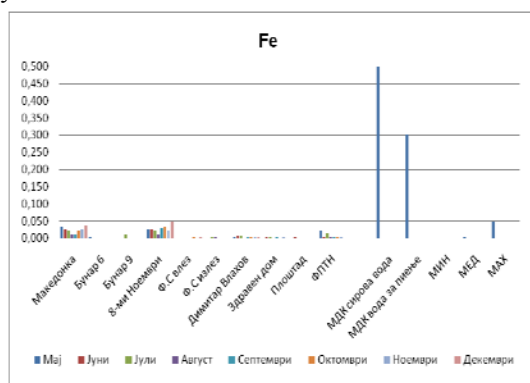
Слика 8. Графички приказ на концентрацијата на Cu во mg/L

**Сребро Ag** – (сл.9) во анализираните примероци се појавува во концентрации пониски од 0,005 mg/l до 0,015 mg/l. Максималната концентрација е во примерокот од водата во Здравен дом 0,015 mg/l и е малку повисока од МДК вредноста во водите за пиење 0,010 mg/l, исто така повисока вредност од дозволеното 0,011 mg/l имаме и во водата од фонтаната на плоштадот. Додека пак во сировата вода сите измерени концентрации се под МДК, а максималната е измерена во пунктот 8-ми Ноември во септември и е иста со МДК за сирови води 0,01 mg/l. Освен овие скокови во нјаголем број на анализи вредностите се во рангот на минимална вредност.

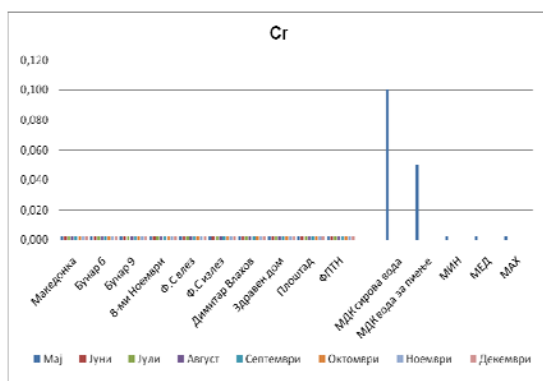


Слика 9. Графички приказ на концентрацијата на Ag во mg/L

**Железо Fe** – (сл.10) измерените содржини во водата од реката, бунарите и водата од чешмите не е поголема од вредностите на МДК во сировата вода за пиење. Вредностите се движат максимално до 0,048 mg/l. Максималната вредност е во водата од реката кај 8 ми Ноември и оваа вредност е далеку пониска од МДК 0,5 mg/l за вакви води. Железото влегува во групата на биометали потребни во метаболизмот на организмот, и само многу високи концентрации имаат токсиколошко влијание врз здравјето на луѓето.



Слика 10. Графички приказ на концентрацијата на Fe во mg/L

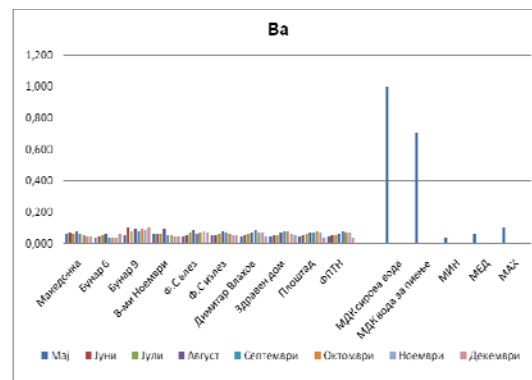


Слика 11. Графички приказ на концентрацијата на Cr во mg/L

**Хром Cr** – (сл.11) во сите анализирани примероци се појавува концентрација пониска од 0,005 mg/l, која вредност е доста помала од МДК

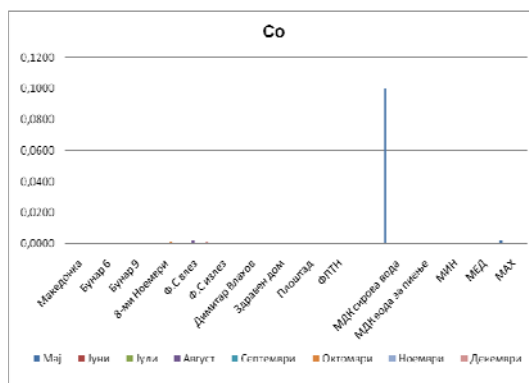
0,050 mg/l во водата за пиење и 0,1 mg/l во сировата вода. Оваа констатација е доста јасно видлива и на прикажаниот дијаграм. Само хроматите, односно шестовалентните соединеија, како супстанции растворени во вода се од токсиколошко значење Боев, Лепиткова (2002).

**Барииум Ва** – (сл.12) како и предходниот елемент се јавува во ниски незначителни концентрации од 0,034 mg/l до 0,097 mg/l. Максималната вредност е во водата од бунар 9 во месец јуни и оваа вредност е далеку помала од МДК за сирови води 1,0 mg/l.



Слика 12. Графички приказ на концентрацијата на Ba во mg/L

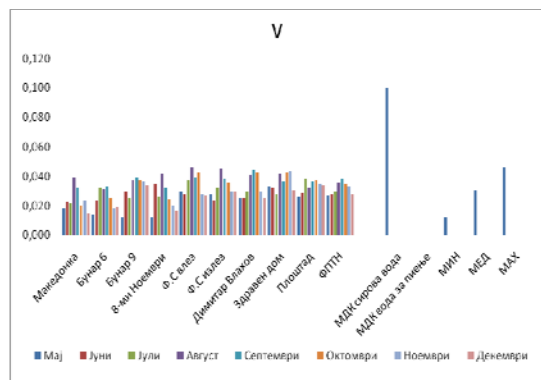
**Кобалт Со** – (сл.13) исто така се појавува во незначителни концентрации кои не претставуваат опасност. Неговите вредности се движат од пониски од 0,001 до 0,002 mg/l. Максималната вредност е определена во пробата од месец август пред филтрацијата на водата. Според правилникот за безбедност на вода за пиење нема податоци за МДК за овој метал. Кобалтот е релативно редок метал и припаѓа во групата на основните микроелементи кои влегуваат во состав на нормалните ткива на човекот и животните.



Слика 13. Графички приказ на концентрацијата на Co во mg/L

**Ванадиум V** – (сл.14) се измерени концентрации во интервал од 0,012 mg/l до 0,046 mg/l. Карактеристично е тоа што воглавно помалите содржини се определени во сировата вода, иако и

максималната вредност е во сировата вода од филтер станицата пред филтрација во месец август, сепак поголеми содржини има во водата за пиење, но според правилникот за безбедност на вода за пиење, нема податок колку изнесува МДК.



Слика 14. Графички приказ на концентрацијата на V во mg/L

## ЗАКЛУЧОК

Во овој труд со наслов „ ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ТЕШКИ И ТОКСИЧНИ МЕТАЛИ ВО ВОДИТЕ ОД ГРАДСКИОТ ВОДОВОД ВО ШТИП СО ПРИМЕНА НА МЕТОДАТА НА ICP - AES ’ истражувањата се однесуваат за периодот мај – декември 2010 година, на теренот на Штипското извориште.

При реализацијата се изведени теренски и лабораториски истражни работи.

Теренските работи се состојат од земање на примероци за анализа од репрезентативно избрани пунктови, за да бидат застапени како сировата вода така и преработената до крајните корисници.

Лабораториските работи се состојат од припрема на примероците со примена на стандардните ISO – постапки, и нивна анализа со примена на методата на ICP-AES. Со оваа метода беа определени следните метали: Ag, As, Ni, Ba, Mn, Fe, Cr, V, Zn, Cu, Pb, Co и Cd.

Од добиените резултати може да се каже дека манганот е еден од најзастапените метали, како во речната и бунарска вода, така и во водата од водоснабдителниот систем. Ова е евидентирано уште многу одамна, што било и главна причина и реалност за размислување за изградба на фабрика за обработка на водата т.е филтер станица (Мегапроект 1987), како нужна потреба за добивање квалитетна вода за пиење.

Манганот, одреден временски период во водата од одредени бунари, се појавувал во концентрации кои не одговараат на МДК од 0,05 mg/l за прва класа на вода за пиење. Манганот како и железото во подземните води се појавува во форма на бикарбонат. Присуството на манган може да настане како последица на присуството на микроорганизми од органско потекло.

Соединенијата на манган се речиси секогаш присутни во водите на баруштините. Во конкретниот случај се појавува како последица на присуството на органски материи што е типично за Брегалничкиот регион во целина, согласно резултатите од досегашните регионални истражувања правени на овој регион Мицевски, Хаџи Петрушев, Велев (2006).

Но во водата за пиење од вкупно анализирани 40 проби од 5 мерни пункта содржината на манган и железо е под МДК, ова е најверојатно поради процесот на хемиска оксидација на водата која се врши во Филтер станицата. Поимот на хемиска оксидација опфаќа селективна модификација на несаканите или токсични материи, кои со своето присуство го влошуваат квалитетот на водата и ја прават неупотреблива за намената. Со оксидационите процеси се опфатени Mn, Fe и други неоргански материи Малетиќ (1998). Ова е и објаснувањето зошто пред филтрацијата во сировата вода Mn и Fe се застапени над дозволеното а во преработената вода нивната содржина е намалена и е под дозволената концентрација.

Во поедини проби во изолирани случаи имаме зголемени концентрации на Ni, Pb, As и Ag.

Имајќи ја во предвид геолошката структура на теренот на источна Македонија, во сливното подрачје на реката Брегалница кое претставува поширока заштитна зона, за очекување е дека ретките метали како конституенти ќе се јават во многу подземни и површински води на овој регион, особено во изминатите неколку години се забележува постојано зголемување на содржината на некои од овие штетни конституенти, како на пр. арсенот, никел, олово, кадмиум, селен, сребро и др. кои ја предводат групата на најнепожелни конституенти на водата Мицевски, Хаџи Петрушев, Велев (2006), или е резултат на загадувањето од рудниците за олово и цинк „Злетово’ и „Саса’ преку Злетовска река( Dolenc at all 2005) и Каменичка река (Stafilov at all.2005).

Исто така зголемената концентрација на олово во водата за пиење може да потекнува и од оловните водоводни цевки, PVC цевките кои содржат оловни компоненти или од чешмите односно кукните приклучоци и арматура. Брзината на растварање на оловото од оловните цевки зависи од концентарцијата на хлоридите, рН вредноста, кислородот, температурата, тврдината и времето на задржување на водата во цевките Rajkovic, и др. (2003), а ваквите цевки како и поцинкованите цевки се сеуште присутни во водоводниот систем на градот.

Содржини на Zn, Ba, Cr, V, Co, Cd и Cu се под вредностите за МДК според Правилникот за безбедноста на водата за пиење, Сл. Весник бр.57 од 2004 година.

Во Р. Македонија квалитетот на водите моментално е регулиран со еден стандард на општ квалитет, кој се однесува на нивото на загадување, максимални дозволени концентрации (МДК) на загадувачи кои не смеат да се надминуваат.

Но овие резултати се променливи и постој сериозна опасност, од појава на тешки и токсични метали, се додека сите загадувачи задолжително не изградат прочистителни постројки, кои ќе ја прочистат отпадната вода пред да ја испуштат во водните рецепиенти.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боев Б, Лепиткова С, 2002, Геохемија на средината, Рударско-геолошки факултет-Штип
2. В.Мирчовски, Д.Мајер (2011), Заштита на подземни води, ФПТН – Штип
3. Водоснабдување во Р. Македонија, Заедница на комунални претпријатија на Р. Македонија, „МАККОМ“ – Скопје, 1998
4. G.W.Dickinson, V.A.Fassel, *Anal. Chem.*, (1969).
5. Главен проект свеска I, Водоснабдување на град Штип, Технолошки проект со монтажен план на опремата, РО „Мегапроект“-Штип
6. Дневник бр.257 (2012), Дневен извештај за контрола на работата на филтерските инсталации-Штип
7. Dolenc T, Serafimovski T, Tasev G, Dobrinkar M, Dolenc M,(2005), Heavy metals contamination in paddy soil irrigated with the mine drainage –impacted Zletovska River (Kočani Field, Republic of Macedonia), *Proceeding on the 2<sup>nd</sup> International Workshop on the UNESCO-IGCP Project “Anthropogenic Effects on the Human Environment in Tertiary Basins in the Mediterranean”*, pp, 16-20.
8. Малетик М,(1998) Озонирање или хлорирање како алтернативни решенија при оксидација и дезинфекција на водата за пиење,Технолошко –металуршки факултет, Институт за неорганска технологија, Скопје
9. Мицевски Е, Хаџи Петрушев Б, Велев Д (2006). Елаборат за одредување на санитарно-заштитни зони околу извориштата за водоснабдување на град Штип во локалитетите 'Фортуна', 'Штипско езеро', 'АРМ', Мај, Скопје.
10. Правилник за безбедноста на водата за пиење (Сл. Весник на Р. Македонија бр. 57 од 2004 година
11. Rajković, M.B.(2003): Neke neorganske supstance koje se mogu naći u vodi za piće i posledice po zdravlje ljudi, Hemijska industrija,
12. Rajković M.B, Stojanovic M, Lacnjevac C, Toskovic D, Stanojevic D,(2003), Detekcija I odredivanje nekih teskih metala u void gradske vodovodne mreze naselja Vidakovac-Beograd preko izdvojenog kamenca od vode, *Originalni naucni rad* UDC.628.161.1.2.06.5.46.72/.74=861
13. Stafilov T, Krstev B, Karamanolevski Z, Kočubovski M, Spirovska M, (2005) Monitoring of tailings disposal site for evacuation of wastewater to the sedimentation pond and system for evacuation of surrounding waters and their impacts on the environment along the course of Kamenica river, Kalimanci accumulation and Bregalnica river, Final report, Ministry of Environment and Physical Planing of the Republic of Macedonia, Skopje
14. Уредба за класификација на водите (Сл.Весник на Р. Македонија бр.18-стр.1165 од 1999 година.

# ГЕОХЕМИЈА НА СТРИМ СЕДИМЕНТИТЕ И НИВНА ПРИМЕНА ВО ПРОСПЕКЦИЈАТА НА НАОЃАЛИШТА ВО Р. МАКЕДОНИЈА

Виолета Стефанова<sup>1</sup>, Војо Мирчовски<sup>1</sup>, Росен Неделков<sup>2</sup>, Виолета Стојанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Факултет за природни и технички науки, ул “Гоце Делчев“ Штип, Р. Македонија

<sup>2</sup>Факултет за геологија и географија, ул “Цар Ослободител“, Софија, Р. Бугарија

## Апстракт:

Користењето на геохемијата на стрим седиментите речиси пеесет години покажува дека е стабилна метода за утврдување на потенцијалот на тешките минерали. Оваа метода се користи за да се одреди потенцијалот на големи подрачја потпирајќи се на фактот декахемизмот и минералоскиот состав на седиментите даваат информација за матичните карпи и геологијата на површината. Во отсуство на видлива минерализација, геохемијата на седиментите ја рефлектира нормалната и аномалната концентрација на елементите кои се типични за матичните карпи. Оваа метода беше применета во четири локалитети во Р. Македонија со цел да се утврди дисперзијата на елементите во стрим седиментите. При овие истражувања се потврди присуството на златото, бакарот, арсен и антимон.

**Клучни зборови:** Стрим седименти, дренажна мрежа, злато.

## ВОВЕД

Геохемиските истражувања засновани на анализа на стрим седименти се етаблирана техника која, повеќе од пет децении, се користи низ целиот свет секаде каде има добро воспоставена поточна дренажна мрежа. Нивната употреба се заснова на можноста со ваквите истражувања за да се идентификуваат аномалните сливни подрачја како потенцијални места за понатамошни истражувања. Основната претпоставка при оваа проспекција е дека стрим седиментите се сложен производ на атмосферските влијанија и ерозијата кои се создават во сливното подрачје, и се таложат по должината на коритана потоците. Мора да се нагласи дека геохемијата на стрим седименти се покажала како неверојатно значаен метод на истражување кој може да биде многу успешен, дури и кога има лоши резултати. (Fletcher, 1997). Кога материјалот ќе се депонира во потоците-реките, процесите на движење на седиментите исто така може да ја променат текстурата и геохемискиот состав на

истите. Така лесните минерални фракции помали од 100 микрони секогаш кога има можност за седиментен транспорт, тежнеат да преминат во суспензија. Ваквото класирање на минералите нема голем значај за некои основни метали но има многу голем значај за некои елементи како што е златото бидејќи тоа е претставник на ретките минерали со зголемена специфична тежина. Теоретските но и практичните испитувања покажуваат дека обогатувањето на овие елементи е во песоковата фракција во бедрокот на стрим седиментите. Како ќе се концентрираат покрупните зрна, е многу непредвидливо и во однос на времето и во однос на местото и зависи од локалните услови за движењето на материјалот. Затоа пофината фракција подобро ќе ја репрезентира геохемијата на дренираното подрачје. Освен тоа на овој начин се неутрализира така наречениот ефект на грутки за време на опробувањето, (Fletcher, 1997).

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН ДЕЛ

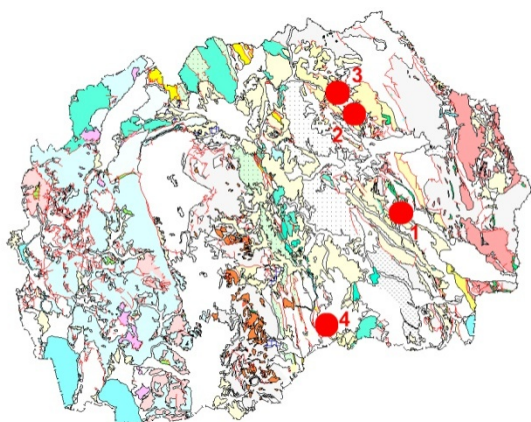
При регионална проспекција материјал кој се зема при опробувањето обично е мил и фино до среднозрнест песок кој неодамна бил транспортиран во потоците. При ова мора да се избегне земањето на материјал кој е обрушен од страните на потоците. Седиментите обично се земат од најфината фракција. Речнитеседименти се најпогодни

за детектирање на геохемиски мобилните елементи како што се Mo, Cu, As, Ni и Zn, додека не одговараат за елементи кои повеќе хемиски повеќе стабилништо се Ba, Au, Sn, W и Pb пред се поради поголемата варијабилност при опробувањето која е во асоцијација со густината на опробувањето, потоа за детритичните минерали поради ефектот на грутки (“nugget” ефект). (Lett, 2007).



За минералните истражувања големината на фракцијата на седиментите и методата за анализа, се бираат (ориентационо преку проспекциското истражување) за да се оптимизираат аномалиите земајќи го во предвид интензитетот на аномалијата (контрастот) и/или должината а аномалната дисперзирана ореола. Идеалениот примерок ќе ги претставува сите делови на сливното подрачје подеднакво, така што минерализација било каде во базенот ќе има еднакви шанси да биде откриена. Hawkes (1976) направил модел кој е во корелација со изворот на аномалија, содржината на металот на аномалниот примерок и големина на сливното подрачје. Според овој модел содржината на елементите опаѓа по течението на потоците оддалечувајќи се од примарниот извор. Во Р. Македонија се извршија истражувања на стрим седиментите во 4 локалитети: Боров Дол, Боровиќ, Алшар и Пластица. Материјалот од секоја земена проба во количина од 10 кг се сее низ две сита со отвор од 0.5 мм и 0.18 мм. При што се

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА



**Слика. 1** Геолошка карта на Македонија со позиција на испитуваните локалитети со методата на стрим седименти: 1. Боров Дол, 2. Пластица, 3. Боровиќ, 4. Алшар. Наоѓалиштето Боров Дол е дел од рудниот реон Бучим-Дамјан-Боров Дол и ги зафаќа неговите јужни делови. Геотектонски овој руден реон припаѓа на две геотектонски

добиваат две фракции. Едната фракција под 0.5 мм во количина од 2.5 кг а втората фракција под 0.18 мм во количина од 0.5 кг.

Фракцијата под 0.5 мм се користеше за испитување со BLEG - Bulk Liquid Extractible Gold (течно издвојување на злато од големи маси). Ова е посебна метода на извлекување на златото од тврди материјали со процес на цијанизација. Растворите на цијанид се многу растворливи како резултат на тоа економски е изводливо да се излужат големи примероци - дури до 2.500 г.

Златото се раствора преку формирање на неговиот цијанид комплекс кој може да се концентрира преку процесот на издвојување на раствор во органски растворувач. Комбинацијата на тежината на големиот примерок и екстракцијата на растворувачот дава многу ниска граница на детекција. Ниска до 0.1 ppb. Овој метод е ефективно средство за детектирање на дисперзии на злато во ниски концентрации. Втората фракција е испитувана со ICP-AES и MS.

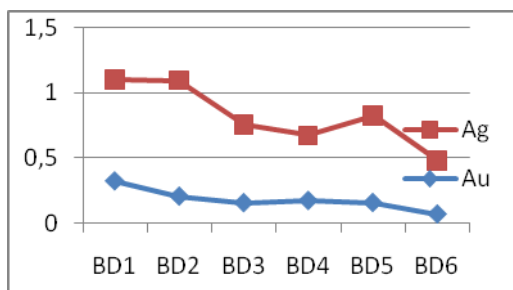
единици: Српско Македонскиот масив и Вардарската зона. Металогенијата на рудниот реон е во тесна врска со терциерниот магматизам претставен со субвулканско-вулкански фации на андезити, латити и кварц латити.

Кај ова наоѓалиште како проспекциска метода меѓу останатите се искористи и методата на стрим седименти. Стрим седиментите се земаат од поголемите и помалите потоци кои го дренираат подрачјето: Пенлив Дол и Боров Дол со напомена дека во тој период поради конфигурацијата на теренот како и климатските услови не се изврши проспекција на Крундиров Дол. Испитувањата се извршија на 11 проби. Извршени се анализи на 47 елементи. Резултатите од анализите на бакарот, златото и среброто се дадени во Табела-1.

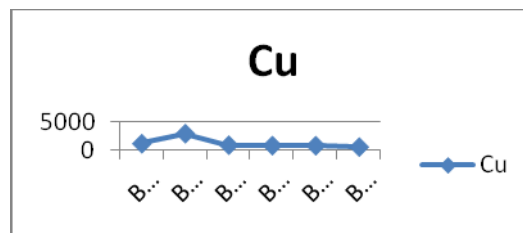
**Табела 1.** Хемиски состав на стрим седиментите од наоѓалиштето Боров Дол

Ел.	Праг на дет.	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD6
Au	0.001	0.327	0.209	0.158	0.175	0.159	0.07
Bleg Au	0.05	0.095	0.123	0.114	0.127	0.115	0.053
Ag	0.01	0.78	0.89	0.6	0.5	0.67	0.41
Bleg Ag	0.01	0.29	0.43	0.29	0.23	0.22	0.14
Cu	0.2	1155	2900	901	812	808	571
Bleg Cu	0.01	282	571	187	199	158	125

Претходните геолошки испитувања укажуваат на бакарна минерализација придружена со злато што се потврди и со испитувањата на стрим седиментите (Стефанова и др., 2007). Врз основа на добиените резултати изработени се дијаграми од кои се гледа распределбата на содржината на елементите по течението на опробуваните потоци. Она што може да се констатира е фактот што овие податоци укажуваат на постепено намалување на концентрациите на златото и среброто одејќи низводно по течението на потоците (сл. 2 и сл. 3) што е во согласност со моделот на Hawke'ској добро се вклопува за мали потоци од прв и втор ред каде падините на долините и каналите на потоците се блиску поврзани или споени.



Слика. 2 Дијаграм на распределбата на концентрацијата на златото и среброто низводно по потоците во наоѓалиштето Боров Дол



Слика. 3 дијаграм на распределбата на концентрацијата на бакарот низводно по потоците во наоѓалиштето Боров Дол

Врз основа на добиените сознанија може да се констатира дека оваа метода дава корисни проспекциски податоци бидејќи укажува на постоење на минерализација на бакар и злато.

Друга локалност на која беше применета оваа проспекциска метода е наоѓалиштето Паница. Ова наоѓалиште ги зафаќа источните делови од Кратовско-злетовската вулканска област или поточно тоа е лоцирано во централните делови на плавичкиот вулкански апарат додека рудната појава Боровиќ се наоѓа западно од Паница. И овде минерализацијата е поврзана за терциерниот интермедијарен калко алкален магматизам.

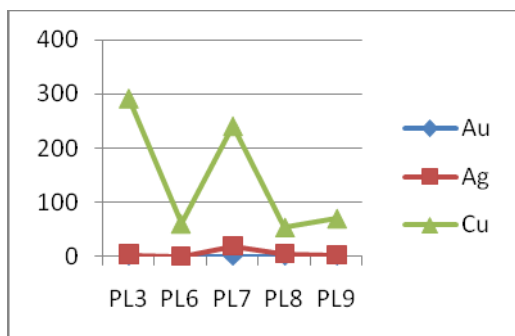
Во рамките на оваа вулканска област проспекцијата на стрим седиментите беше извршена на површина од околу 70 км<sup>2</sup>. Но поради конфигурацијата на теренот немаше доволно достапен материјал за стрим седименти (Стефанова, 2008).

Табела 2. Хемиски состав на стрим седиментите од наоѓалиштето Паница (во ppm)

Ел.	Праг на дет.	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5
Au	0.001	0.001	0.002	0.086	0.001	0.196
Bleg Au	<b>0.05</b>	0.00047	0.00095	0.0515	0.00119	0.0667
Ag	0.01	<0.01	0.05	3.66	0.1	3.9
Bleg Ag	<b>0.01</b>	<0.01	<0.01	0.61	<0.01	0.59
Cu	0.2	22.6	39	291	67.8	296
Bleg Cu	<b>0.01</b>	<0.01	2.33	29.1	8.65	28

Ел.	Праг на дет.	PL6	PL7	PL8	PL9
Au	0.001	0.002	0.008	0.034	0.029
Bleg Au	<b>BLEG 0.05</b>	0.00158	0.00914	0.0263	0.024
Ag	0.01	0.14	19.4	5.56	2.7
Bleg Ag	<b>BLEG 0.01</b>	0.02	8.44	0.7	0.47
Cu	0.2	59.8	240	52.9	69.4
Bleg Cu	<b>BLEG 0.01</b>	7.95	7.07	3.82	6.76

На наредните слики се прикажани дијаграмите на распределба на елементите во стрим седиментите.



**Слика. 4** Дијаграм на распределбата на концентрацијата на златото, среброто и бакарот низводно по потоците во наоѓалиштето Плавица

Приложениот дијаграм не може да се каже дека е во согласност со моделот на Hawke's. фактот што Моделот на Hawke's добро се вклопува за мали потоци од прв и втор ред каде падините на долините и коритата на потоците се блиску поврзани или споени. Како што расте големината на сливното подрачје, така моделот станува неприменлив особено ако врската меѓу страните на долините и снабдувањето со

седименти во потоците станува покомплексно. (Hawkes, H.E., 1976).

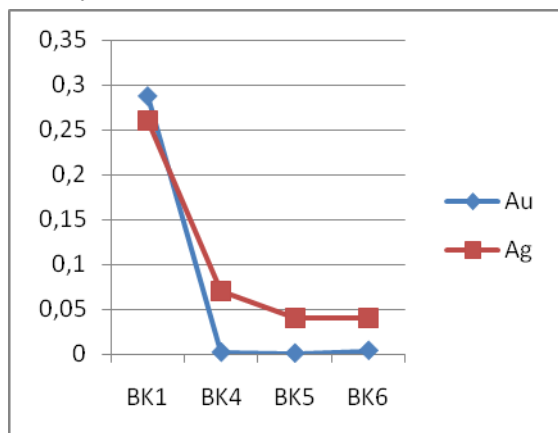
Поради тоа што во овој случај станува збор за поголемо сливно подрачје, моделот станува неприменлив бидејќи врската меѓу страните на долините и снабдувањето со седименти во потоците станува покомплексно. (Hawkes, H.E., 1976). Вредностите за бакар се највисоки што еза очекување ако се има во предвид дека овде доминира порфирската минерализација на бакар како и жично енергитско оруднување.

Другата појава во овој реон е Боровиќ кој е една од многуте вулкански манифестации во Кратовско-злетовската област. На овој простор има изразити површински манифестации пред се површински алтерации кои се доста маркантни. Од минерализациите овде се застапени бакарните минерали што сепотврдува и со испитувањата на стрим седиментите (Табела 3).

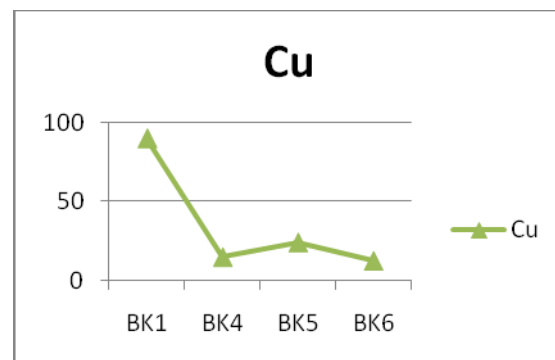
**Табела 3.** Хемиски состав на стрим седиментите од појавата Боровиќ (во ppm)

Елемент	Праг на дет.	ВК1	ВК2	ВК3	ВК4	ВК5	ВК6
Au	0.001	0.288	0.372	0.661	0.002	0.001	0.004
Bleg Au	0.05	0.17	0.25	0.231	0.0006	0.00031	0.0012
Ag	0.01	0.26	0.16	0.18	0.07	0.04	0.04
Bleg Ag	0.01	0.05	0.04	0.09	0.05	0.01	0.03
Cu	0.2	90.3	36.4	154	14.8	24.1	12.4
Bleg Cu	0.01	7.62	1.43	7.61	<0.01	0.12	<0.01

Врз основа на добиените резултати направени се дијаграми од кои се гледа содржината на позначајните елементи од испитуваните 47 елементи.



**Слика. 5** Дијаграм на распределбата на концентрацијата на златото и среброто низводно по потоците во појавата Боровиќ



**Слика. 6** Дијаграм на распределбата на концентрацијата на бакарот низводно по потоците во појавата Боровиќ

Приложените дијаграми се во согласност со моделот на Hawke's бидејќи концентрациите на металите се намалуваат низводно по течението на потоците.

Наоѓалиштето Алшар геотектонски припаѓа на Вардарската зона односно на западната субзона. Поточно Алшар припаѓа на

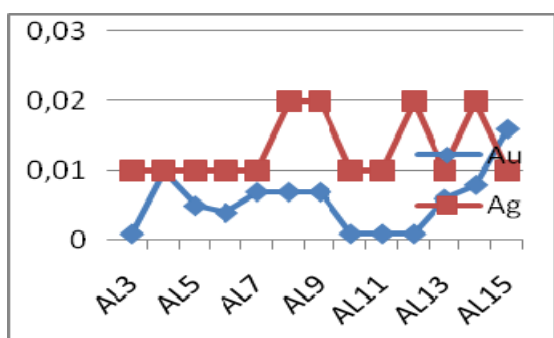
Кожуфскиот масив. Тоа е наоѓалиште на антимон, арсен и злато. Овде секако треба да се споменат и талиумовите минерали според кои Алшар претставува уникатно светско наоѓалиште. И покрај бројните претходни истражувања, не постојат публикувани податоци за минералошките карактеристики на златото. Испитувањата на стрим седиментите не се покажаа како ефективна проспекциска метода (Ковачев и др, 2006). Вредностите на златото се за 10 до 100 пати помали од просечната содржина на златото во карпите иако се очекува негово обогатување во тешката фракција и стрим седиментите. Присуството на златото во

рудата и ниските содржини на истото во стрим седиментите може да се објасни со субмикроскопските димензии на златото. Познато е дека златото со димензии помали од 5 микрони во услови на брзи водени токови може да биде носено од водата и транспортирано во долните деловикаде што брзината на потоците опаѓа што може да биде многу далеку од примарните оруднувања. За субмикроскопската големина на златото во карлинските типови на наоѓалишта говорат и бројните литературни податоци (Rieck, 1993) и др. Во наредната табела се дадени резултатите од испитуваните стрим седименти.

**Табела 4.** Хемиски состав на стрим седиментите од наоѓалиштето Алишар (во ppm)

Ел.	Праг на дет	AL1	AL2	AL3	AL4	AL5	AL6	AL7	AL8
Au	0.001	0.002	<0.001	0.001	0.01	0.005	0.004	0.007	0.007
Bleg Au	0.05	0.0004	0.0005	0.0007	0.0103	0.00427	0.0044	0.00468	0.0057
Ag	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Bleg Ag	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cu	0.2	14.6	27	18.4	17.4	21.8	21.3	19.2	16.1
Bleg Cu	0.01	2.43	1.08	0.98	0.38	0.87	0.69	1.18	0.03
As	0.2	31.9	61.1	81.9	255	144	156	234	338
Sb	0.05	7.07	4.03	5.15	77	45.1	49.7	81.3	101

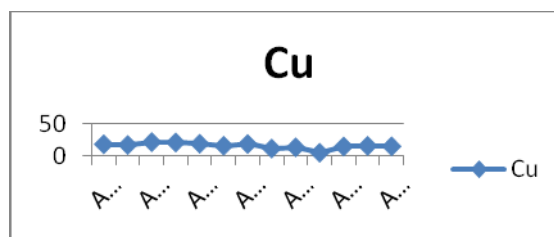
Ел.	Праг на дет	AL9	AL10	AL11	AL12	AL13	AL14	AL15
Au	0.001	0.007	0.001	0.001	<0.001	0.006	0.008	0.016
Bleg Au	0.05	0.00568	0.00071	0.00048	0.00016	0.00586	0.00955	0.00948
Ag	0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01
Bleg Ag	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
Cu	0.2	18.9	11.8	13.6	5.2	15	16	15.2
Bleg Cu	0.01	0.24	1.73	1.47	<0.01	0.76	0.47	0.75



**Слика 7.** Дијаграм на распределбата на концентрацијата на златото и среброто низводно по потоците во Алшар

Овој дијаграм во суштина не може да се каже дека е во согласност со моделот на Nawke's бидејќи содржините на металите се премногу ниски така да не покажуваат некоја закономерност во распределбата по

течението на потокот, а друга причина е должина на опробуваното подрачје по Мајданска река (околу 3 км). што не соодветно со моделот кој е претпоставува кратки и мали потоци



**Слика 8.** Дијаграм на распределбата на концентрацијата на бакарот низводно по потоците во Алшар

Кога станува збор за примена на оваа метода важно да се препознае каде потоците се одделуваат одоколните падини на долините

со цел да се заклучи дали поточните седименти ќе го реперезентираатсливното подрачје. Затоа сите потоци во испитуваното подрачје треба да бидат идентификувани со стрим седименти. За таа цел треба да се направат теренски набљудувања, по можност снимки од воздух, анализа на релјефот. Зависно од теренот, може да се направат и претходни испитувања на почвата со ретка мрежа.

## ЛИТЕРАТУРА

Fletcher, W.K. (1997): Stream sediment geochemistry in today's exploration world. In Proceedings of Exploration 97: Forth Decennial International Conference on Mineral exploration editor A.G.Gubbins, pages 249-260.

Hawkes, H.E., 1976, The downstream dilution of stream sediment anomalies: J. Geochem. Explor., 6, 345-358.

Lett, R., 2007: Drainage Geochemical Surveys - Stream Sediments, Lake Sediment, Moss Mats, Heavy Minerals. GeoFile 2007-6: Workshop Notes,

23 International Applied Geochemistry Symposium, Exploration Geochemistry - Basic Principles and Concepts, Workshop 2, 33-34

Rieck, B., 1993: Famous Mineral Localities: Allchar, Macedonia, The Mineralogical Record, 24: 437-449

Kovacev, V., Stefanova, Boev, B., Mladenov, V., 2006: Stream Sediments and Bleg Analysis by Prospecting of Gold in Alshar (Carlin Type Deposit), Macedonia. Proceedings XVIII<sup>th</sup> Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association, Belgrade, Serbia pp. 281-285

Stefanova, V., Kovacev, V., Mladenov, V., Stanimirova, C., 2007: Eluvial-alluvial gold from gold-copper occurrence Borov Dol (R. Macedonia). Part II: Mineralogy of gold and stream sediments. Review of the Bulgarian Geological Society, vo. 68, part 1-3, pp. 77-91

Стефанова, В. 2008: Геохемија на стрим седиментите во наоѓалиштето Пластица. I Конгрес на геолозите на Македонија, Посебно издание на Geologica Macedonica No 2. pp. 143-152

# INDOOR RADON AND SOIL RADIOACTIVITY IN KRUSEVO, REPUBLIC OF MACEDONIA

Zdenka Stojanovska<sup>1</sup>, Blazo Boev<sup>2</sup>, Jovan Januseski<sup>3</sup>, Mimoza Ristova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Medicine, Goce Delcev University, Stip, Republic of Macedonia

<sup>2</sup>Faculty of Natural and Technical Sciences, Goce Delcev University, Stip, Republic of Macedonia

<sup>3</sup>Institute for Public Health of RM, Laboratory for Radioecology Skopje, Republic of Macedonia

<sup>4</sup>Institute of Physic, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University in Skopje, Republic of Macedonia

**Abstract:** A study of indoor radon in Krusevo has been carried out. Krusevo was selected for the study primarily because of its underlying geology which is known to be predominantly granite, with expected higher <sup>226</sup>Ra concentration. Two sets measurements of the indoor radon concentration were performed, whereas: 8 houses were examined for the first (data from the National survey 2008-2009) and 11 houses for the second set of measurements (2010). The results showed that six of the examined houses revealed radon concentrations greater than the National action level of 400 Bq m<sup>-3</sup>, established for indoor radon concentration, 2 examined houses revealed concentrations between 200 and 400 Bq m<sup>-3</sup>, whereas 11 showed concentrations below 200 Bq m<sup>-3</sup>. In order to allocate the possible sources of the indoor radon, further studies were also carried out, including gamma spectrometry measurements of four soil samples, for determining specific activity of <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra and <sup>232</sup>Th. Dose estimates based on measurements made in this study showed that the indoor radon may represent, in the longer term, significant health risk to some people who reside in houses with elevated indoor radon concentration.

**Key words:**

## INTRODUCTION

Radon is a naturally occurring radioactive noble gas. Its presence in the environment is mainly related with the trace amounts of <sup>226</sup>Ra in rock and soil. The lower air pressure indoors gives rise to a pressure-driven flow of radon-rich soil air into the indoor environment through cracks in the bottom slab or gaps around pipes or cables. The inflow depends to a great extent to the building construction, <sup>226</sup>Ra concentration and permeability of the underlying soil. Along with the climatic factors and human habits, this leads to temporal variations of the indoor radon concentration. Based on many studies worldwide, the indoor radon is known to be the main contributor to the human exposure to natural sources of ionizing radiation and a second risk factor for lung cancer (WHO, 2009). Hence, the risk prevention for human health, requires long-term measurements of indoor radon and mapping of radon risk area which has already been reported in many countries (For example: Japan (Sanada et al., 1999); Serbia (Zunic et al., 2001); Spain (Baixeras et al., 2005) and Montenegro (Antovic et al., 2007). A national survey of the

Republic of Macedonia was carried out from December 2008 - November 2009 in 437 dwellings, using CR-39 detectors. The obtained national average indoor radon concentration of 84 Bq m<sup>-3</sup> (Stojanovska et al., 2012) is evidently higher than the worldwide 30 Bq m<sup>-3</sup> average indoor radon concentration (UNSCEAR, 2000). The survey carried out in The Republic of Macedonia as well as in other countries has shown that the indoor radon concentrations vary spatially, depending on the local geology.

Nevertheless, the radon national survey (2008-2009) of the Republic of Macedonia revealed its extreme values in the dwellings/houses selected at the Krusevo sampling sites. Krusevo is a small mountain town situated in the central-western part of the country (Fig. 1), near Prilep, at an elevation of about 1300 m above the sea level, populated with about 5000 inhabitants. In order to give a more comprehensive evaluation than the indoor radon survey of the RM (2008-2009) of the indoor radon concentration in Krusevo, in which an extreme value was detected (highest annual radon concentration of 720 Bq m<sup>-3</sup>) an

additional set of 11 measurements in 11 different houses was undertaken in 2010. Furthermore, soil samples from 0-20 cm were collected for gamma spectrometric analyses.

This paper describes the obtained results and enhanced statistics of the National radon survey.

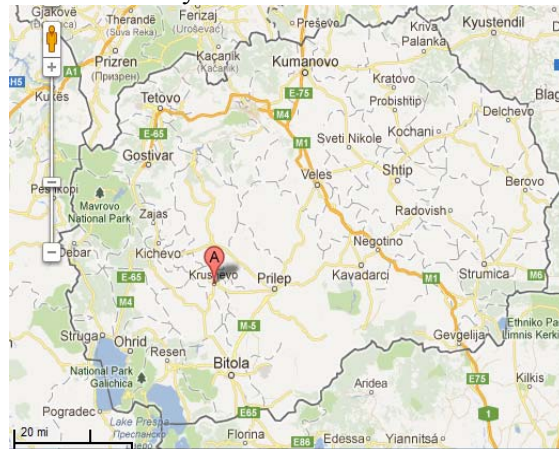


Figure 1. Geographical position of Krusevo in the map of the Republic of Macedonia

### Geology of the area

Geological composition of the Krusevo area is presented on the Fig.2. Krusevo area is mainly composed on the metamorphic and magmatic rocks from the paleozoic age. Metamorphic

rocks are presented by the different types of shists (Fig 2) whereas the magmatic rocks are represented by the granites, granodiorites and ultramafic rocks.

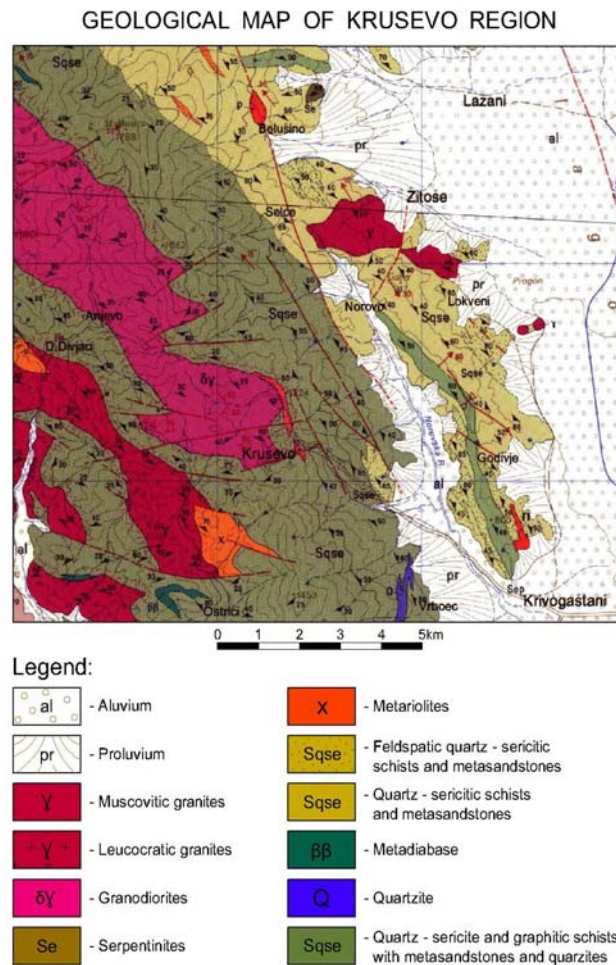


Figure 2. Geological map of Krusevo region

### Design of survey

During the national survey the indoor radon concentration measurements in four successive seasons in the 2008-2009 year were performed in 8 randomly selected houses of Krusevo. Following the methodology of the survey, the annual indoor radon concentration was estimated as an arithmetic mean value of four individual measurements. In each house, the detector was placed either in a living room or in a bedroom at a height of 1 to 1.5 m above the floor, at a distance greater than 0.5 m from each wall (to avoid influence of  $^{220}\text{Rn}$  originating from the building materials, which contributes negligibly to the room interior, due to the low diffusion length) and a minimum of 20 cm away from any other object. In the year 2010, 11 new houses were selected to be in the

### Measuring methods

The indoor radon measurements were performed with nuclear track detectors: CR-39, enclosed in a cylindrical diffusion chamber. After exposure, the CR-39 were chemically etched in 25% solution of NaOH at a temperature of 92°C for 4.5 h. Track counting was performed under an optical transmission light microscope, using an automated image analysis system.

For quality control and stability of the system, detectors exposed to known concentrations are used. The full equipment, detectors as well as appropriate calibration factors, are commercially available (produced by Radosys, Hungary). The relative measured uncertainty of the individual results from the counting statistics depending on the track density was in the range of 3% - 15%, at the 68% confidence level. The gamma spectrometry measurements were carried out with a p-type HPGe detector

neighbourhood to the previously measured 8 houses, taking into account the soil type. The methodology was the same as in the national survey, except for the fact that they were exposed throughout one season, in the period from March until June. The estimation of the annual indoor radon concentration for second set of measurements was made by taking into consideration the seasonal correctional factors (Stojanovska et. al, 2011). The soil samples for determination specific activity of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  were collected from the 0-20 cm depth of an undisturbed soil area on the four selected sampling sites. All samples were stored in plastic bags and transported to the laboratory for further gamma spectrometry analysis.

(Canberra Inc.) 25% relative efficiency, resolution of 1.79 keV at 1.33 MeV, 8192 channels digital analyser, and with software GENIE 2000 for spectrum evaluation. The activity of the following radionuclides:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , and  $^{232}\text{Th}$  were measured. The activity of  $^{40}\text{K}$  was determined from its 1460 keV line. The activity of  $^{226}\text{Ra}$  was determined from the gamma lines associated with the short-lived products of:  $^{214}\text{Pb}$  (295.22 keV, 351.93keV) and  $^{214}\text{Bi}$  (609.31 keV, 1120.29 keV, 1764.49keV). The activity of  $^{232}\text{Th}$  from the gamma lines of  $^{228}\text{Ac}$  (338.32 keV, 911.2 keV, 968.97 keV),  $^{208}\text{Tl}$  (583.19 keV) were obtained (ISO 18589-3, 2007). The analysis procedure included: the subtraction of the background spectrum, correction for the interfering lines and correction for the self absorption. The total relative combined uncertainty of each nuclide was <5%, at the 68% confidence level.

## RESULTS AND DISCUSSION

Summary statistic of the results for annual indoor radon concentration, estimated from both sets of measurements performed over

given periods of investigations is presented on Table 1.

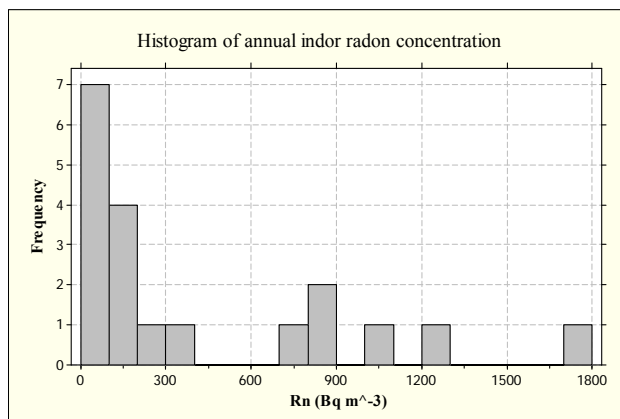
**Table 1.** Results of annual indoor radon concentration

	Indoor radon concentration (Bq m <sup>-3</sup> )		
	First set measurements	Second set measurements	All measurements
No. of values	8	11	19
Minimum	56	91	56
Median	83	269	143
Maximum	720	1745	1745
Arithmetic mean	189	601	428
Standard deviation	233	576	499
Geometric mean	120	351	224
Geometric standard deviation	2.47	3.12	3.19



The mean values of indoor radon concentration in the both sets of measurements are higher in comparison to the average national indoor radon level of  $84 \text{ Bq m}^{-3}$ . A plot of the frequency of appearance of the annual indoor radon concentrations within a certain interval is presented on Figure 3. One can see that the values with a highest frequency are those below  $200 \text{ Bq m}^{-3}$ .

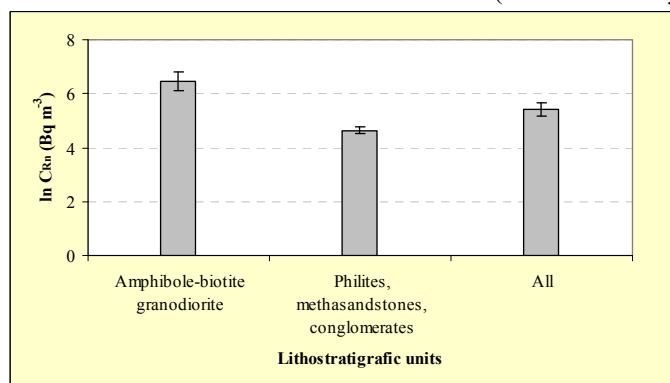
Furthermore, higher concentrations than  $400 \text{ Bq m}^{-3}$  have also been recorded. However, the obtained results for the indoor radon concentration were not found to follow the log-normal distribution as it was expected (Chi-square test,  $p=0.002$ ). Thus, the values were divided into two groups depending on the lithostratigraphic criterion.



**Figure 3.** Histogram of annual indoor radon concentration

In order to reduce the influence of the extremes, since the data grouped according to lithostratigraphic units are log-normally distributed, we used log-transformed data for the further analyses. Analysis of variance and Fisher's LSD-test were performed only where the variances were homogeneous. In case of heterogeneous variances, non-parametric Kruskal-Wallis (KW) and Mann-Whitney U test (MW) were applied.

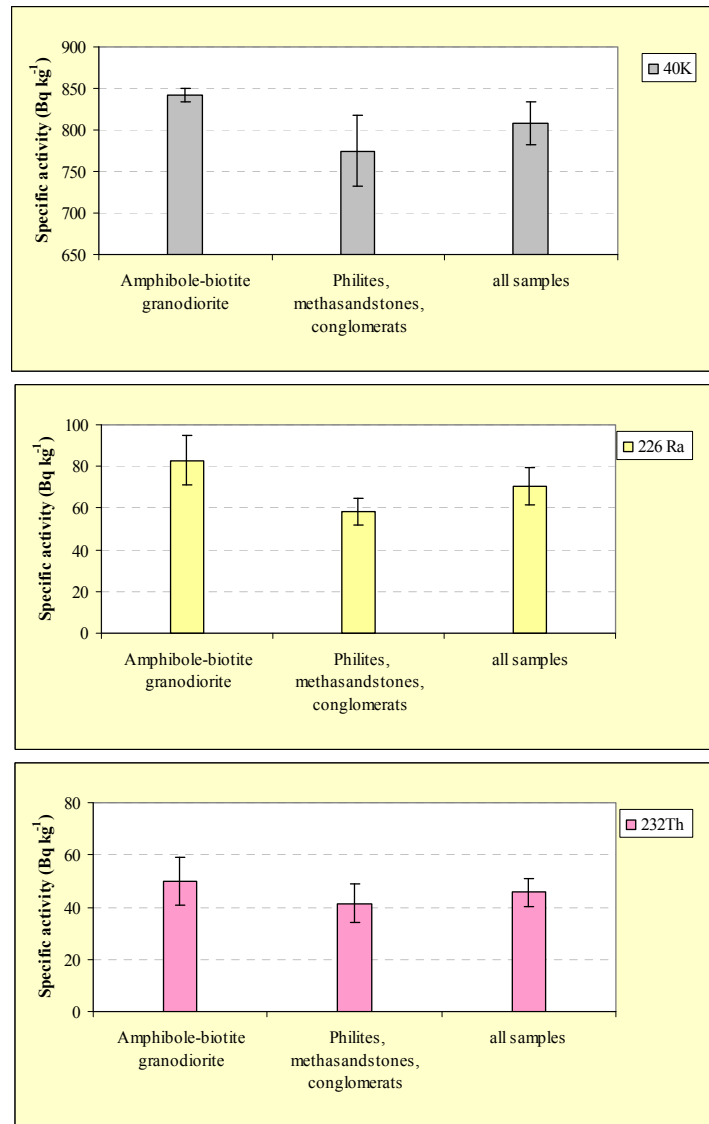
After grouping of the data, reliance of annual indoor radon concentration on the lithostratigraphic type was tested and it was found to be significantly different ( $p<0.05$ ). The analysis showed that the geometric mean value of the annual indoor radon concentration in Amphibole-biotite granodiorite area is significantly higher than values measured at the other part - Philites, methasandstones, conglomerates (Mann-Whitney test  $p=0.004$ ), Fig 4.



**Figure 4.** The indoor radon concentration in Amphibole-biotite granodiorite ( $GM=648 \text{ Bq m}^{-3}$ ;  $N=8$ ) and Philites, methasandstones, conglomerates area ( $GM=103 \text{ Bq m}^{-3}$ ;  $N=11$ )

Since the major source of indoor radon is the soil underneath the dwellings, the results for radon concentration should be consistent with the  $^{226}\text{Ra}$  specific activity in the soil samples. In the following analysis we investigated the specific activity of the natural radionuclides:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$ . As shown on a Fig. 5, the specific activity of  $^{40}\text{K}$  and  $^{226}\text{Ra}$  in the

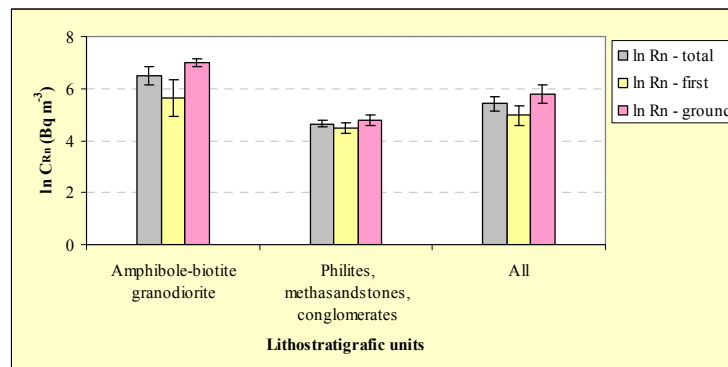
granites is significantly higher than the one of the Philites, methasandstones, conglomerate area, very similar to the indoor radon concentration. On the same figure one could see that there is no significant difference between specific activity of the  $^{232}\text{Th}$  in the lithostratigraphic units.



**Figure 5.** Specific activity of <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra and <sup>232</sup>Th in soil samples separated for the two lithostratigraphic units.

Preliminary statistics of data for each lithostratigraphic units showed that it was reasonable to divide experimental data according building characteristics and investigate in-

fluence on indoor radon concentration. Fig 6 shows general trend of decreasing radon concentration from ground towards the first floor.



**Figure 6.** Indoor radon concentration at the ground and the first floor

The effect of age was also investigated. Depending on the building age, data for indoor concentration was divided into two groups: new houses (built in the previous 40 years) and old (older than 40 years). As shown on the Fig. 7, the indoor radon concentration is higher in the

older houses than new ones. This is because some old houses were built directly on soil without concrete slab; moreover, presence of cracks in floors and walls of old houses allows radon gas to emanate easily from soil and building materials into the indoor areas.

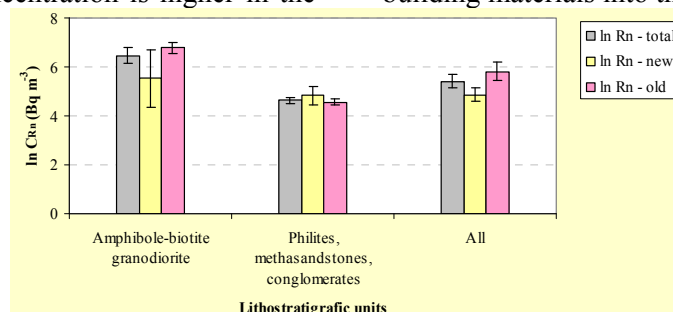


Figure 7. Indoor radon concentration in old and new houses

### Dose estimation

The annual effective dose,  $E$  ( $\text{mSv y}^{-1}$ ), caused by exposure to the indoor radon, was calculated by the following the ICRP-65 methodology, using the following formula:

$$E = C_{Rn} FTD_{CF}$$

where  $C_{Rn}$  is the estimated annual radon concentration. The value of the equilibrium factor  $F$  is taken to be 0.4; the dose conversion factor  $D_{CF} = 9 \text{ nSv (Bqhm}^{-3}\text{)}^{-1}$  and the time of

occupation is taken to be  $7000 \text{ h y}^{-1}$  (UNSCEAR, 2000). Finally, the arithmetic mean (AM) and geometric mean (GM) values for the annual effective doses were found to be:  $(11 \pm 13) \text{ mSv y}^{-1}$  and  $5.6 \text{ */ } 3.2 \text{ mSv y}^{-1}$  respectively. Those values were found to be higher than the world's mean value ( $1.15 \text{ mSv y}^{-1}$ ), as known from the UNSCEAR 2000 report.

### CONCLUSIONS

We confirmed that the local geology, that is, radon exhalations from the ground and the building characteristics are the main reasons for the high indoor radon concentration. Factors which considerably affect the indoor exposure of population to radon should be taken into consideration in the process of creation and setting of the national strategy for reducing radon risk. Accordingly, we have been recommending remedial actions in these houses. For the decision-making people, our

recommendation is that preventive measure for the new buildings should be considered. Furthermore, a more extensive indoor radon survey in all dwellings in Krusevo should be considered. It would be recommended to carry out a campaign on informing and educating inhabitants for the radon as a health risk. The residents of the houses with the high radon concentration should be advised to take some remedial actions in their dwellings.

### REFERENCES

Antovic, N., Vukotic, P., Zekic, R., Svrkota, R., Ilic, R., 2007. Indoor radon concentrations in urban settlements on the Montenegrin coast. *Radiation Measurements* 42, 1573-1579.

Baixeras, C., Bach, J., Amgarou, K., Moreno, V., Font, L., 2005. Radon levels in the volcanic region of La Garrotxa, Spain. *Radiation Measurements* 40, 509-512

ISO 18589-3, 2007. Measurement of radioactivity in the environment-Soil-Measurement of gamma-emitting radionuclides.

Sanada, T., Fujimoto, K., Miyano, K., Doi, M., Tokonami, S., Uesugi, M., Takata, Y., 1999. Measurement of nationwide indoor Rn concentration in Japan. *Journal of Environmental Radioactivity* 45, 129-137.

Stojanovska Z, Januseski J, Bossew P, Zunic ZS, Tollefsen T, Ristova M. 2011. Seasonal indoor radon concentration in FYR of Macedonia. *Radiat. Meas.*46:5-6 602-10.

Stojanovska Z, Januseski J, Boev B, Ristova M. 2012. Indoor exposure of population to radon in The FYR of Macedonia. *Radiat. Prot. Dosim.* 148:2 162-7.

UNSCEAR, 2000. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, United Nations.

WHO, 2009. WHO handbook on indoor radon- a public health perspective. WHO, Geneve.

Zunic, Z.S., Mc Laughlin, J.P., Walsh, C., Birovljev, A., Simopoulois, S.E., Jakupi, B., Gordanic, V., Demajo, M., Trotti, F., Falk, R., Vanmarcke, H., Paridaens, J., Fujimoto, K., 2001. Integrated natural radiation exposure studies in stable Yugoslav rural communities. *The Science of the Total Environment* 272, 251-259.

# **ХИДРОГЕОЛОГИЈА И ГЕОТЕРМИЈА**



# KARST AQUIFERS CHARACTERISATION ON THE RESULTS OF TIME SERIES ANALYSIS – CASE EXAMPLE OF SERBIAN KARST AQUIFER

Igor Jemcov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Department of Hydrogeology,  
Džušina 7, 11000 Belgrade, Serbia, e-mail: igor@jemcov.com

## Abstract

Karst aquifers are characterized by high heterogeneity and spatial variability of hydrogeological parameters. One possible approach to study them is the time series analysis of the recharge and discharge data as the input and output functions of the system. But the interpretation of obtained results in the sense of understanding of the functioning of karst system is very difficult and the findings are often not properly validated. One way of testing the results is to apply the method on various test areas with different characteristics. Therefore, for the purpose of this study we selected two karst aquifers from Serbian karst, with well-known characteristics – St Petka and Krupac springs. They differ above all in the characteristics of recharge, the extent of the catchment, and the degree of karstification. Based on the comparison of obtained results it was possible to draw inferences about these characteristics and the capability of the applied time series analysis to reflect and demonstrate them. We used the effective infiltration as the input function instead of precipitation in order to take into consideration various processes in air, vegetation and soil and their influence on the recharge, and to separate them from the processes within the karst aquifer. The results of the study confirm that for the assessment of the karst system structure it is essential to consider the effective infiltration as the input function instead of precipitation. Still the largest differences between the results of the applied time series analysis on two studied karst aquifers are due to their different structures, degrees of karstification and characteristics of groundwater flow.

**Key words:** Time Series, Base and Fast – flow components, Effective Precipitation and Infiltration

## INTRODUCTION

The quantitative identification of karst hydrogeological systems and the methodology of karst groundwater budget determination still represent underdeveloped fields of scientific study, mainly due to complexity of the karst hydro-geological systems. As a consequence, we are faced with the lack of adequate scientific methods of assessing certain parameters and their influence on the karst system.

In order to determine quantitative features of the karst hydro-geological systems, the base flow analysis and the time series analysis were employed. For the purposes of analyzing the time series, the autocorrelation and the unvaried spectral analysis were utilized, together with the cross-correlation and the cross-spectral analysis.

## GENERAL HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF STUDY AREA

The study deals with two karst aquifers: St Petka and Krupac, located on the karst of Carpatho-Balkanides of Eastern Serbia.

The St Petka spring catchment is developed mainly in Jurassic limestone, located at the contact with less permeable Neogene sediments

at the 250 m.asl. Average annual discharge is 0.405 m<sup>3</sup>/s. During high waters discharge exceeds 2.2 m<sup>3</sup>/s, and the minimum value is 0.08 m<sup>3</sup>/s. The mean annual precipitation exceeds 600 mm. According to detailed hydrogeological exploration and hydrological budgeting the extent of the catchment is approximately 51 km<sup>2</sup>, and its mean altitude is 700 m a.s.l.. The vegetation index is 0.6.

The Krupac spring represents a typical karst groundwater system of South-east Serbia. Its catchment is developed in Lower Cretaceous limestone and dolomite and to a lesser extent in Jurassic limestone and dolostone. Spring was predisposed by crossed faults and at the contact with less permeable Pliocene deposits. According to the hydrogeological explorations and results of groundwater budget the catchment area was assessed as 75 km<sup>2</sup>. Its average altitude is 1 000 m a.s.l. In the representative period of two hydrological years the mean discharge of the Krupac spring was 1.27 m<sup>3</sup>/s, and discharges ranged from 0.1 5 to 4.83 m<sup>3</sup>/s. Carbonate

rocks are covered with a thin layer of sclerotoidal soil typical for hollow type of karst. The vegetation index of the Krupac catchment area is about 0.4.

### **APPLIED METHODS**

To study functioning and hydrodynamic behavior of karst aquifers, different methods are used, e.g. hydrograph analysis or tracing with natural and artificial tracers Bonacci, 1987, 1993 [1,2]; Kresic, 1997 [3]; Hoetzel, 1998 [4]; Trcek, 2007 [5]. Additionally, study of the relationship between the base-flow and fast-flow provides valuable information about the hydrodynamic behavior of karst aquifers (Jemcov, 2007 [6], Jemcov, Petric, 2009 [7]). To overcome the lack of objectivity in a manual base-flow separation methods, the method of Institute of Hydrology (1980a, 1980b [8,9]) was applied in this study in order to define the shares of base-flow and fast-flow for the two compared springs.

Valuable indirect information regarding the functioning of karst systems can be obtained by the use of the time series analysis (Box & Jenkins, 1970 [10]; Yevjevich, 1972 [11]). Based on a systemic approach, Mangin, 1994 [12] introduced a methodology to study the input-output relations in karst aquifers. This method was further developed and applied by many authors (Padilla & Pulido-Bosch, 1995 [13]; Larocque et al., 1998 [14]; Rahnemai et al., 2005 [15]; Panagopoulos & Lambrakis, 2006[16]). In this study it was tested on two karst systems with different characteristics. Effective infiltration was used as the input function instead of precipitation, and as the output functions the fast and base-flow components were additionally considered (Jemcov, Petric 2009[7]). For the St. Petka spring the time series analysis was performed on data for the period of 15 hydrological years, and for the Krupac spring for 2 hydrological years. Although the same analyses were carried out on the data for test sites, only the selected graphs are presented.

### **Precipitation vs. Effective infiltration**

Numerous recharge-discharge studies introduce as the input function simply values of precipitation. The main reason for such decision usually lies in the lack of any adequate data. In karst systems, however, the frequent rationale for this constitutes also the premise that, due to

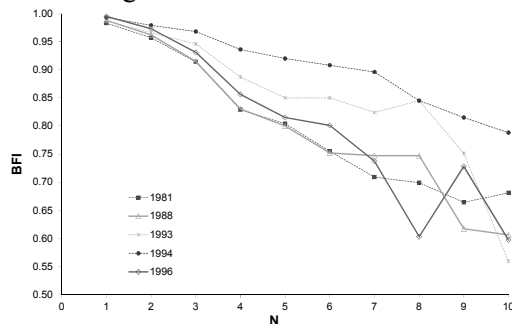
their heterogeneous structure and complex functioning, the uncertainty is high, and therefore an additional error because of the simplification of the recharge assessment does not exert any significant impact on the final result. In some situations such presumptions may be confirmed, yet in numerous other cases the processes, which affect the precipitation before and during the infiltration, significantly alter the form of the input function and should therefore be taken into account.

In the described study these two different approaches were compared. In order to separate various processes in air, vegetation and soil and their influence on the infiltration from the processes within the karst aquifer system, the interception on vegetation cover, snow and snowmelt, evapotranspiration and water storage in soil were first assessed to define the effective infiltration. The method of soil water balance was used. The sources of water are precipitation reduced by the amount of water intercepted by the vegetation cover, and the water that flows out of the snow cover during melting at adequate climatic conditions. The consumption of water is connected mainly with evapotranspiration. The relation between the source and the consumption is influenced by the hydrological characteristics of soil, which define the amount of the water storage in soil. These basic relations can be expressed by different more or less complex models (Rushton & Ward, 1979[17]; Jeannin & Grasso, 1995 [18]). For the two test sites the calibration of the models was based on the assumption that within the period of certain hydrological years the overall effective infiltration in the catchment is equal to the overall discharge of the spring. Graphs with measured precipitation and assessed effective infiltration are presented on Figures 2 to 3.

### **Hydrograph separation**

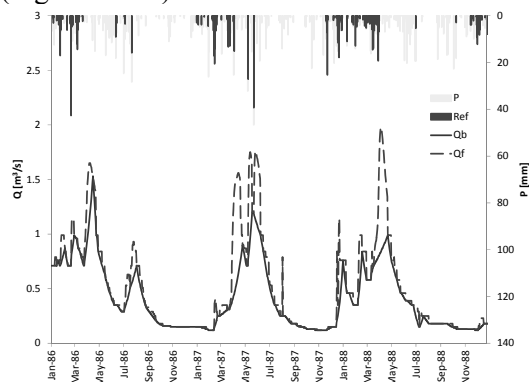
Computerized base-flow method of Institute of Hydrology (1980a, 1980b) [8,9] was used for the karst hydrograph separation. For the turning point the test factor  $f = 0.9$  was used, while for the assessment of the parameter  $N$  (the number of days over which a minimum flow is determined) the relation of BFI (the total volume of base-flow divided by the total volume of runoff) and the number of

days  $N$  were used (Fig. 1). The parameter  $N$  was defined according to a significant change of slope and at the point when a drop in the estimated base-flow becomes less pronounced (Fig.1- St. Petka case). Since a significant change of slope was not obvious (Krupac case-not shown), the parameter  $N$  was assessed according to the cross-correlation function of fast-flow with a relatively fast drop below the level of significance.



**Figure 1.** Relation of the base-flow index (BFI) and the number of days ( $N$ ) for characteristic year for St Petka spring.

For the St. Petka and Krupac springs the shares of base-flow regarding the total flow are highly differ, between 89% and 65%, consequently (Figs. 2 and 3).

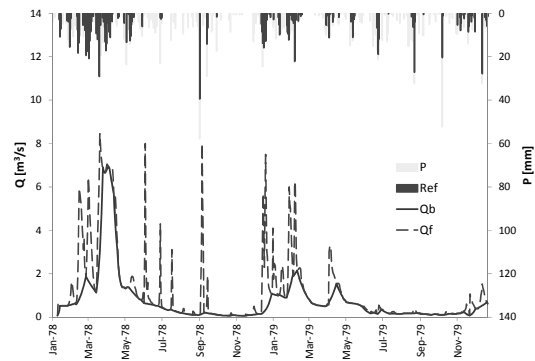


**Figure 2.** Separated flow components of the St. Petka spring ( $N = 4$  days,  $BFI = 0.89$ ), with measured precipitation and estimated effective infiltration.

### Time series analysis

The univariate analysis characterizes the individual structure of time series – autocorrelation in time domain, and spectral density in frequency domain. The autocorrelation function quantifies the linear dependency of successive values over a time period (Larocque et al., 1998 [14]) and quantifies the “memory effect” of the system (Mangin, 1994 [12]). Univariate spectral analysis is complementary to correlation analysis (Larocque et al., 1998[14]) and it

corresponds to a change from a time mode to a frequency mode using the Fourier’s transformation of autocorrelation function (Wiener-Kinschine theory). The spectral density quantifies periodicity of treated variable.

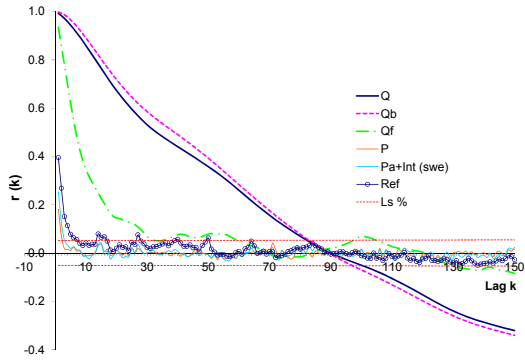


**Figure 3.** Separated flow components of the Krupac spring ( $N = 3$  days,  $BFI = 0.65$ ), with measured precipitation and estimated effective infiltration.

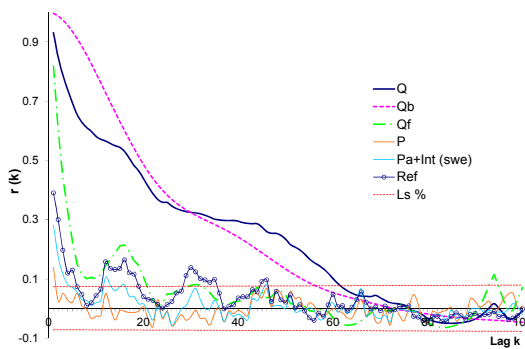
The autocorrelation of the flow rates of St Petka spring (Fig. 4) exceeds the confidence limits for approximately 81 days, which implies that storage is significant and water is released from the aquifer gradually. Similar behavior base flow and total flow components indicates well-structured karst aquifer system. The autocorrelogram of the fast-flow component does not influenced so much on total flow component, which confirms previous statement.

The autocorrelation of the discharges of Krupac spring (Fig. 5) exceeds the confidence limits for approximately 61 days, which implies that storage is also significant and water is released from the aquifer gradually. Additionally, the slope of the autocorrelogram initially drops quickly (for less than 10 days), and afterwards more slowly. This bimodal behavior indicates the duality of the karst aquifer (Panagopoulos & Lambrakis, 2006[16]). The autocorrelogram of the fast-flow component of the Krupac spring drops quickly already in 8 days, which confirms previous statement and indicates a noticeable influence of the fast-flow component on the total outflow. The autocorrelogram of the base-flow component of the Krupac spring diminishes very gradually and has a significant influence on the total outflow.





**Figure 4.** Autocorrelograms of St Pekta spring (Q – discharge, Qb – base-flow, Qf–fast-flow, Ls%–level of significance).

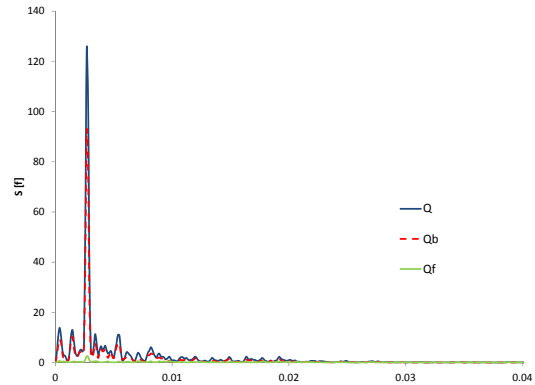


**Figure 5.** Autocorrelograms of Krupac spring (Q – discharge, Qb – base-flow, Qf–fast-flow, Ls%–level of significance).

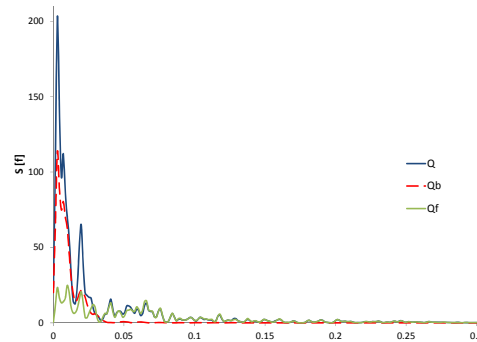
The spectral density function of daily discharges of the St. Petka spring (Fig. 6) shows high peaks at the low frequency of 0.0028 (357 days), which confirms the presence of an important annual cycle. The regulation time  $T_{reg}$  is 147 days, which indicates a very long impulse response, which implies a significant storage and well-structured karst aquifer (Larocque et al. 1998[14]). Additionally, there are several peaks of low densities up to the frequency of 0.01, and at the frequencies higher than 0.03 the function tends to zero. Considering the spectral density function of the base-flow, this component has a significant influence on the summary outflow at low frequencies.

For the Krupac spring the spectral density function of daily discharges (Fig. 7) shows annual and seasonal cycles, and the regulation time  $T_{reg}$  is 31 days. Beside mentioned there is two peaks at the higher frequencies, which corresponds to periods of the 50 and 37 days. The base-flow component has a significant influence on the summary outflow at very-low frequencies, while at the middle and higher frequencies the fast-flow component takes a

complete control of the spring discharge. This results confirms previous statement regarding bimodal behavior of karst aquifer.



**Figure 6.** Spectral density functions of the St. Petka spring

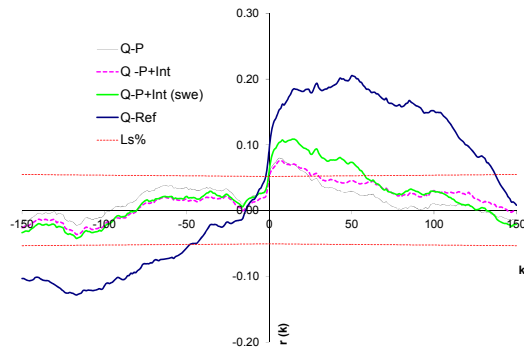


**Figure 7.** Spectral density functions of the Krupac spring

The bivariate analysis considers transformation of the input to the output signal. The degree of transformation of the input signal depends on the structure of the karst system, which represents some kind of a filter which transforms the input signal. The cross-correlation function is analyzed in a time domain, while cross-amplitude, phase, coherence and gain functions are analyzed in a frequency domain. Detailed explanations of the application of these functions can be found in the literature (Mangin, 1994 [12]; Padilla & Pullido-Bosch, 1995[13]; Larocque et al., 1998[14]; Panagopoulos & Lambrakis, 2006[16]).

The cross-correlation function (CCF) of the St Petka spring (Fig. 8) shows non-symmetrical behavior and low level of influence of precipitation on discharge rate. The initial values of  $r_{xy}(k)$  are below 0.1, and after 25 days this function becomes insignificant. A considerable gradual increase of the correlation coefficient was obtained by the change of the input variable

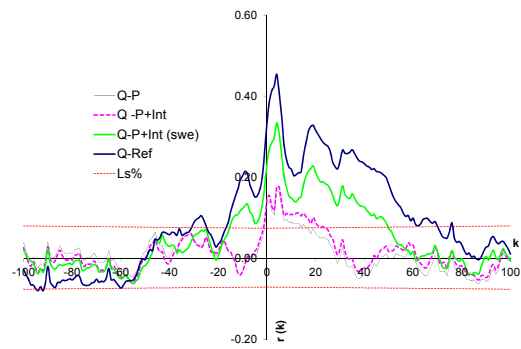
to the effective infiltration. The increase in the values of  $r_{xy}(k)$  is gradual – it is the highest (0,2) for the effective infiltration, which becomes insignificant after more than 130 days. Obtained results confirm the significance of the transformation of the input components. The delay of impulse response is for this spring is very characteristic with sub-horizontal trend of CCF, which implies high influence of epikarstic zone, soil properties and slow water transition through unsaturated zone.



**Figure 8.** Precipitation to effective precipitation and effective recharge shown on Cross-correlograms of the Krupac spring

Legend: Q - Discharge of the springs; P- Measured precipitation; P-Int - Corrected precipitation, reduced by the amount of precipitation intercepted by the vegetation cover; P-Int-SWE - Actual precipitation that reaches the ground; Ref - Effective infiltration; Ls% - Level of significance.

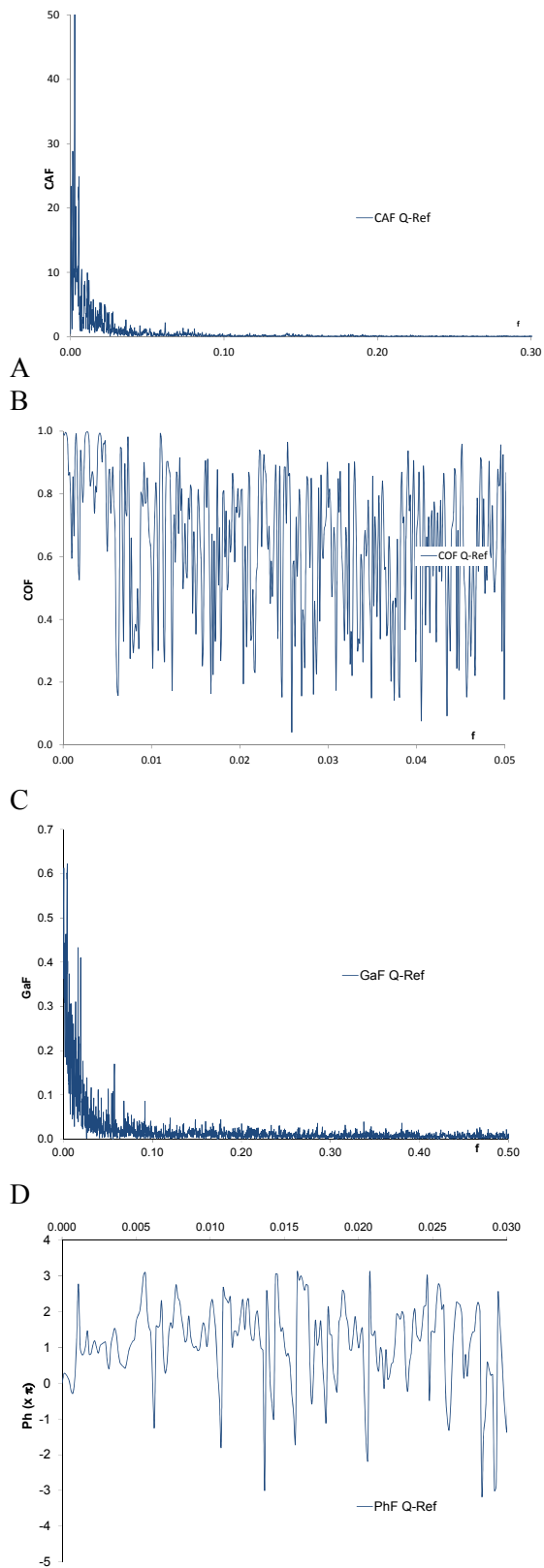
The cross-correlation function for the Krupac spring (Fig. 9), besides of non-symmetrical behavior, has slightly different characteristics. It shows direct correlation between precipitation and discharges in the first few days. The initial value  $r_{xy}(k)$  reaches 0.17, and in 13 days the CCF becomes insignificant. Beside significant increment  $r_{xy}(k) - 0.47$ , the change of the input function to the effective infiltration does not alter significantly the CCF, at low values of  $k$ , and significant improvement can be noted on the CCF after 11 days, which can be explained as a result of different processes in karst aquifer system and emphasized importance of transforming of input component – Precipitation to effective precipitation and effective recharge.



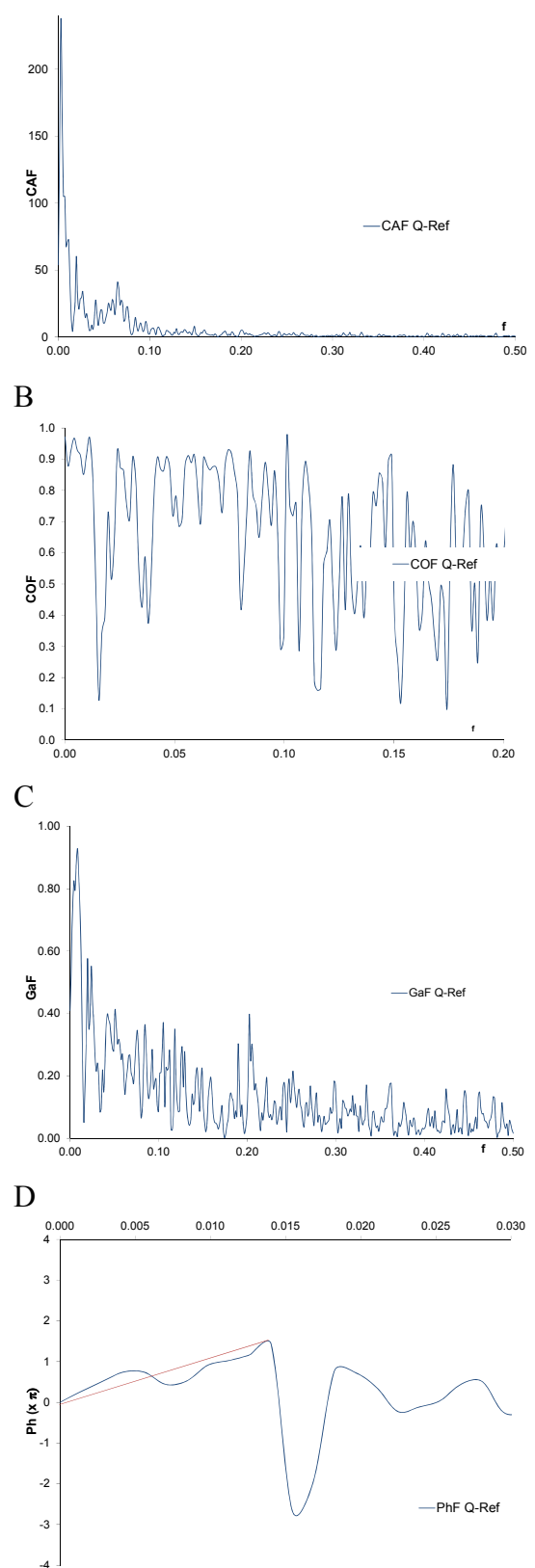
**Figure 9.** Precipitation to effective precipitation and effective recharge shown on Cross-correlograms of the Krupac spring

The described classical application of the spectral and correlation analyses provided a general information about the components of flow and the influence of transformed input data. To get some additional information about the karst hydrogeological systems the cross-spectral function in frequency domain was used. In such systems the fast-flow is superimposed on the base-flow (Padilla & Pulido-Bosch, 1995 [13]), therefore in the cross-spectral analysis different components of outflow were analysed in response to the effective infiltration as the input function.

The cross-amplitude function (CAF) of the St Petka spring shows (Fig. 10a) that KHS notably filters and attenuates the input signal at high frequencies and increases it at low frequencies. The observed peak at low frequencies clearly indicates periodicity, e.g., annual and seasonal cycles. The coherency function (COF) shows (Fig. 10b) a non-linear relation between the input and output variables with an average value of approximately 0.6. The COF for Ref reveals a linear character at very-low frequencies (0-0.01). The gain function (GAF) expresses (Fig. 10c) the relation between the base-flow and the fast-flow (Padilla & Pulido-Bosch 1995[13]). Results of the GAF confirm previously explained influence of the base flow in karst aquifer system of the St Petka spring. The obtained values of the phase function (PhF) were mainly non-coherent and unsorted in a wide range of frequency (Fig. 10d), which confirms to dominate role of base-flow component.



**Figure 10.** A/Cross-amplitude, B/Coherency, C/Gain and D/Phase functions of the effective infiltration and the discharge components of the St.Petka spring



**Figure 11.** a/Cross-amplitude, b/Coherency, c/Gain and d/Phase functions of the effective infiltration and the discharge components of the Krupac spring

A

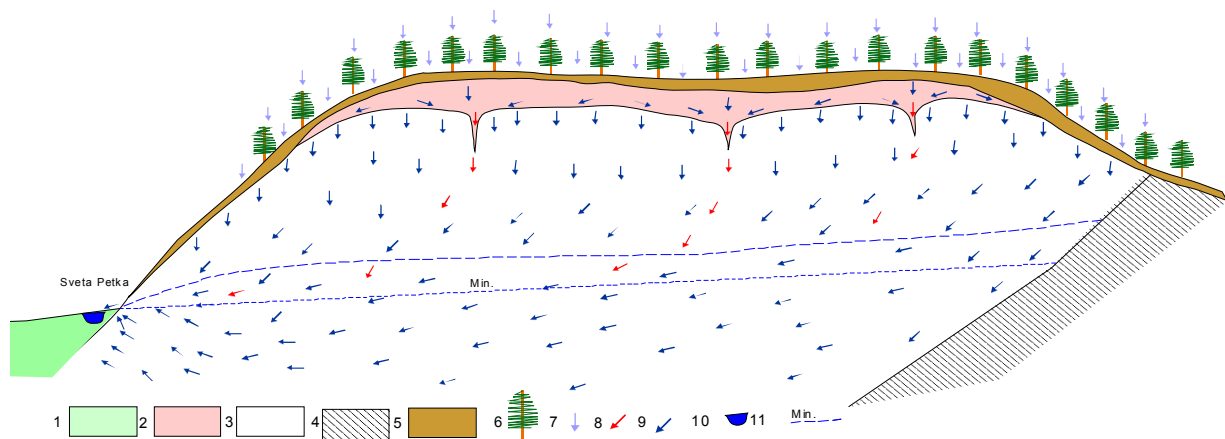
The cross-amplitude function CAF of the Krupac spring (Fig. 11a) is characterized by a notable attenuation of the input signal and high values in the zone of low frequencies, and decreases slowly at middle and high frequencies, which indicates a well-developed karst hydrogeological system with an emphasized role of the fast-flow component. Additionally, the observed peaks at the frequencies, which correspond to the period of 15.48 days, indicate a shorter input response comparing to St Petka spring, and less significant influence of the soil covers. The cross-amplitude function of the Krupac spring (Fig. 11b) shows high values at low frequencies and decreases slowly at middle and high frequencies, which indicates a highly developed karst hydrogeological system with a significant role of the fast-flow component. The low peak at the frequency (0.17), which corresponds to the period of 5.88 days, confirms an important role of the fast-flow in forming of the summary outflow. For the Krupac spring (Fig. 11c) the attenuation of the impulse response on the gain function GAF by the karst hydrogeological system is significantly lower comparing to the St Petka spring, and an important role of the fast-flow component. The phase function PhF of the Krupac spring (Fig. 11c) shows alignment only for the frequencies between 0 and 0.014, therefore the mean delay is estimated to approximately 28 days.

## KARST AQUIFER BEHAVIOR AND CHARACTERIZATION

Quantitative analysis of the elements of karst aquifer system is complementary to the traditional techniques of the hydrogeological exploration. The comparison of the results enabled us to draw inferences about these characteristics and the capability of the applied analyses of the input and output time series to reflect and demonstrate them.

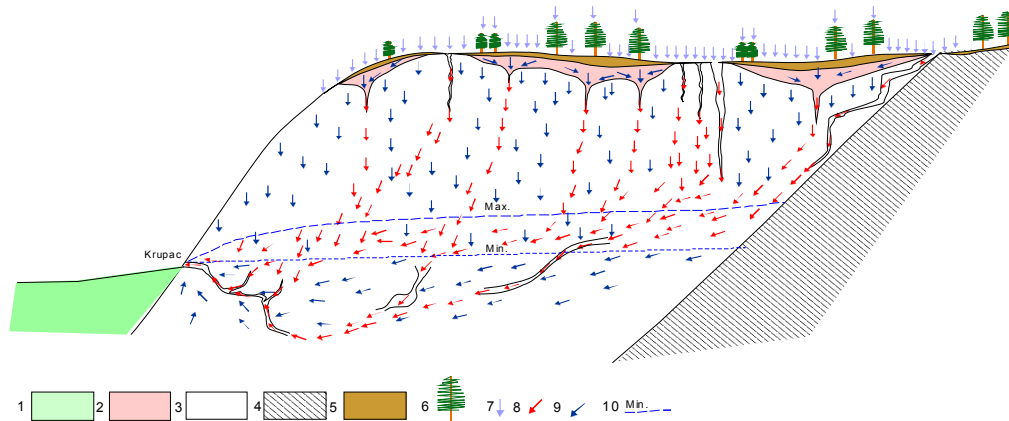
We can conclude that for the Krupac springs, a well-organized and well-developed karst hydrogeological system with slightly pronounced fast-flow component comparing to the base-flow component. On the contrary, the St. Petka spring is characterized by a large storage capacity and a well-structured system which has a significant influence on discharge components. Obtained results indicate that the hydrograph response is influenced by the degree of development of karst hydrogeological systems.

Obtained results for the Krupac spring confirm the conclusions about a highly developed karst hydrogeological system with prevailing shaft flow and transmission of a pressure pulse through the saturated zone functioning as a water hammer (Larocque et al., 1998[14]). For the St Petka spring the delay between the input and output indicates the travel of the pressure pulse in the unsaturated zone, with significant lateral component in the epikarst zone and prevailing base-flow.



**Figure 12.** Conceptual model of the St Petka karst aquifer system

Legend: 1 –Neogene deposits (sandy-clayey deposits); 2 – Epikarstic zone; 3 – Karstified limestone; 4 –Permian sandstone; 5 – soil; 6 – Vegetation; 7 – Precipitation; 8 – fast-flow component; 9 – slow-flow component; 10 - Stream; 11 – Schematic presentation of groundwater level.



**Figure 12a.** Conceptual model of the Krupac karst aquifer system

Legend: 1 –Pliocene and Quaternary deposits; 2 – Epikarstic zone; 3 – Karstified limestone; 4 –Devonian and Cretaceous sandstone and marl; 5 – soil; 6 – Vegetation; 7 – Precipitation; 8 – fast-flow component; 9 – slow-flow component; 10– Schematic presentation of groundwater level.

Based on obtained results we can conclude that a combination of applied methods is a useful tool for the comparison of karst aquifer systems and their characterization.

## REFERENCES

- Bonacci O., 1987: Karst hydrology, with special reference to the Dinaric karst. Springer Series in Physical Environment. Springer-Verlag, Berlin, 180 p.
- Bonacci O., 1993: Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. *Journal of Hydrology* 38, 51–62.
- Kresic N., 1997: Quantitative Solutions in Hydrogeology and Groundwater Modeling. Lewis Publishers, CRC, 461 p.
- Hoetzl H., 1998: Karst groundwater. In: Kaess W. (Ed.), *Tracing Technique in Geo-hydrology*. Balkema, Rotterdam, Brookfield, pp. 398–426.
- Trcek B., 2007: How can the epikarst zone influence the karst aquifer hydraulic behavior? *Environmental Geology* 51 (5), 761–765.
- Jemcov I., 2007: Water supply potential and optimal exploitation capacity of karst aquifer systems. *Environmental Geology* 51 (5), 767–773.
- Jemcov, Petric 2009: Measured precipitation vs. effective infiltration and their influence on the assessment of karst systems based on results of the time series analysis. *Journal of Hydrology* 379, 304-314.
- Institute of Hydrology, 1980a: Low Flow Studies. Wallingford, Oxon, United Kingdom, Report No. 1, pp. 1–41.
- Institute of Hydrology, 1980b: Low Flow Studies. Wallingford, Oxon, United Kingdom, Report No. 3, pp. 12–19.
- Box G.E.P., Jenkins G.M., 1970: *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day, San Francisco, 575 p.
- Yevjevich V., 1972: *Stochastic Processes in Hydrology*. Water Resources Publications, Fort Collins CO. 302 p.
- Mangin A., 1994: Karst hydrogeology. In: Gilbert, J., Danielopol D.L., Stanford J.A., (Eds.), *Groundwater Ecology*. Academic Press. pp. 43–67.
- Padilla A., Pulido-Bosch A., 1995: Study hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology* 168, 73–89.
- Larocque M., Mangin A., Razack M., Banton O., 1998: Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology* 205, pp. 217-231.
- Rahnemai M., Zare M., Nematollahi A.R., Sedghi H., 2005: Application of spectral analysis of daily water level and spring discharge hydrographs data for comparing physical characteristics of karstic aquifers. *Journal of Hydrology* 311, pp. 106-116.
- Panagopoulos G., Lambrakis N., 2006: The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: Application on two typical karst aquifers of Greece (Trifila, Almyros Crete). *Journal of Hydrology* 329, pp. 698-376.
- Rushton K.R., Ward, C. 1979: The estimation of groundwater recharge. *Journal of Hydrology* 41, pp. 345-361.
- Jeannin P-Y., Grasso, A.D., 1995: Estimation des infiltrations efficaces journalières sur le bassin karstique de la Milandrine (Ajoie, JU, Suisse). *Bulletin d'Hydrogéologie*, 14, pp. 83-93

# ХИДРОГЕОЛОШКА РЕОНИЗАЦИЈА НА ПОДРАЧЈЕТО НА ГРАД СКОПЈЕ И МОЖНОСТИ ЗА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНАТА ВОДА ЗА НАВОДНУВАЊЕ НА ЗЕЛЕНИ ПОВРШНИ

Златко Илијовски<sup>1</sup>, Моме Милановски<sup>1</sup>, Никола Димов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Градежен институт “МАКЕДОНИЈА”, Дрезденска 52, Скопје, Македонија, gimgeo@gim.com.mk

## Апстракт

Во Студијата за користење на подземните води за полевање на зеленилото и миење на јавните сообраќајни површини во град Скопје е направена анализа на постоечките подлоги и податоци, со што е извршена и хидрогеолошка реонизација на територија на град Скопје која е поделена на 5 реони. Со тоа е одреден и потребниот број на бунари за полевање на зелените површини и миење на јавните сообраќајни површини. Исто така е извршена и техноекономска анализа на потребниот обем на средства за изведба на бунарски системи за полевање на зеленилото и миење на улиците и дефинирано е техничко решение за бунарите со сите придружни пресметки и нацрти.

**Клучни зборови:** хидрогеолошки реон, искористување подземни води, полевање зеленило, миење улици.

## ВОВЕД

Врз основа на проектната задача добиена од град Скопје за изработка на физибилити студија и е дефинирано да се опфатат следните работи :

- да се проучи постојната хидрогеолошка документација за територијата на град Скопје;
- да се направи хидрогеолошка проспекција на територија на град Скопје;
- врз основа на постоечката документација да се направи хидрогеолошка реонизација на теренот од аспект на постоење на издани на подземни води и можности за експлоатација на подземни води за потреби за наводнување;
- да се изработат карти за евидентирање на поголемите зелени површини односно јавното парковско зеленило;
- да се направи анализа на актуелната состојба со полевање на зелените површини;
- да се анализираат потребните количини на подземна вода како и можностите за полевање на зеленилото со подземни води
- да се направи анализа на актуелната состојба со миење на јавните сообраќајни површини;
- да се направи техноекономска анализа и да се предложат соодветни бунари за експлоатација на подземни води.

Врз основа на детално проучување на геолошката документација на територијата на Град Скопје, извршена е хидрогеолошка реонизација според која територијата на Скопје е поделена на 5 реони (Слика 1).

Како резултат на утврдените хидрогеолошки карактеристики на теренот, дефинирани се техничките параметри на бунарите за искористување на подземната вода истите се класифицирани во 4 категории -типови на бунари.

Според хидрогеолошката реонизација и големината на зелените површини , одреден е потребниот број на бунари за полевање на истите (Табела бр. 2). Исто така утврдени се потребните количини на подземна вода за миење на главните сообраќајници во Град Скопје.

Генерално утврдено е дека подземната вода на подрачјето на град Скопје е со добар квалитет, ги исполнува критериумите за квалитет според Уредбата за класификација на води (Сл.весник 18/99) и може да се користи за полевање на зелените површини и миење на јавните сообраќајни површини. Извршена е техно-економска анализа на потребниот обем на средства за изведба на бунарските системи за полевање зелените површини и миење на сообраќајниците во градот Скопје, при што е предложено соодветно техничко решение за изведба.

## **1. Хидрогеолошки карактеристики на теренот на подрачјето на град Скопје**

### **1.1. Општи геолошки и хидрогеолошки карактеристики на теренот**

На Скопското подрачје постојат карпести маси со различен геолошки состав, различни структурно – тектонски и хидрогеолошки карактеристики и различна старост. На источниот дел на Скопската котлина се јавуваат формации на неоген составени од лапорци, глинци, песочници и конгломерати и палеогени флишни седименти претставени со песочници, глинци, конгломерати, лапорци и варовници. На северниот дел на котлината на Скопска црна гора се застапени палеозојски шкрилци составени од филитични шкрилци, аргилошисти, зелени шкрилци со мермери и флиш. На јужниот обод на котлината теренот е изграден од метаморфни карпи со висок кристалинитет претставен со микашисти, гнајсеви, амфиболити и др. На запад и југозапад се распространети големи маси на карбонатни карпи: варовници, мермеризирани и доломитизирани варовници и мермери. Централниот дел на котлината е исполнет со квартерни алувијални седименти со различна дебелина под кои лежат неогените седименти.

Во тектонски поглед Скопското подрачје лежи на три тектонски зони: источните делови припаѓаат на вардарска зона, јужните на пелагониски антиклинориум и западните на западно македонска зона. Скопската котлина спаѓа во сеизмички активно подрачје каде се случуваат посилни земјотреси како што беше тој од 1963 година. Рељефот на Скопската котлина, како современиот така и стариот палеорељеф се последица на мошне големата разновидност на геолошкиот состав, мошне активната млада тектоника и интензивното делување на подземните ендегени фактори. Од хидрогеолошки аспект најзначајни се алувијалните наслаги изградени главно од разногранулирани чакали и песоци. Иститте претставуваат колектори на подземна вода од збиен тип на издан со слободно ниво, се одликуваат со добри филтрациони карактеристики, меѓузрнеста порозност, добра водоносност и издашност на бунарите изведени во нив.

Со истражното дупчење и геофизичките испитувања во рамките на кварталните седименти со кои е исполнета Скопската котлина докажано е постоење на повеќе неодепресии исполнети со алувијални наслаги со поголема моќност. Се разликуваат следните депресии:

- Неодепресија Лепенец рапространета помеѓу селата Злоукани, Ново село и Бардовци, издолжена во правец СЗ-ЈИ со должина околу 3км и широчина од 750 до 1200м. Максималната длабочина на неодепресијата изнесува околу 130м.

- Неодепресијата Бутел го зафаќа просторот помеѓу општините Бутел, Шуто Оризари и Гази баба издолжена во правец С-Ј и лоцирана покрај реката Серава. Нејзината должина изнесува околу 3км, широчината од 500-1500м додека длабочината достигнува до 50м.

- Неодепресијата Аеродром која се протега во југоисточен и источен дел на котлината, од двете страни на река Вардар и продолжува кон с.Горно Лисиче, Драчево и Трубареве. Дебелината на кварталните наслаги во оваа депресија постепено се зголемува од 20м кај железничката станица, 100м кај Ново Лисиче до преку 150м кај с.Горно Лисиче.

### **1.2. Хидрогеолошка реонизација на теренот**

Врз база на проучувањето на хидрогеолошката документација, дебелината на алувијалните седименти и анализа на параметрите од изведените бунари (издашност, НПВ, длабочина, пречник) на територијата на град Скопје, за конкретната намена на оваа студија извршена е хидрогеолошка реонизација. Главен акцент е ставен на расчленување на алувијалните седименти од аспект на нивна дебелина и издашност на изведени бунари во нив, што пак е во директна врска со практичните потреби и цели на оваа студија. Sprema оваа реонизација градот Скопје е поделен на 5 реони во кои кварталните седименти имаат соодветни хидрогеолошки карактеристики во кои изведените бунари ќе ги имаат следните параметри:

**Првиот реон** го опфаќа просторот на општините Кисела вода, Аеродром, Гази Баба и дел од општина Центар. Покрај

наведените во овој реон припаѓаат просторот кај вливот на р.Лепенец во р.Вардар и просторот околу р.Серава во општина Бутел. Во овој реон дебелината на кварталните седименти се движи од 20-100м,  $Kf = n \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ ,  $T=700-1500 \text{ м}^2/\text{ден}$ , НПВ=7-10м додека параметрите на проектираните бунари ќе бидат следните: длабина  $H=30\text{м}$ , пречник  $\varnothing 450/315$  со PVC цевки со издашност  $Q > 15 \text{ l/s}$ .

**Вториот реон** се простира во општина Центар и Карпош од двете страни на р.Вардар но поголемиот дел се наоѓа на десната страна од р.Вардар северно од бул. Партизански одреди. Во овој реон дебелината на кварталните седименти најчесто се движи од 10-15м,  $Kf = n \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ ,  $T=300-700 \text{ м}^2/\text{ден}$ , НПВ=7-10м НПВ=5-7м, додека параметрите на проектираните бунари ќе бидат следните: длабина  $H=20\text{м}$ , пречник  $\varnothing 400/280$  PVC цевки, со издашност  $Q=8-15 \text{ l/s}$ .

**Третиот реон** се простира во општина Центар (Капиштец, Козле, Рамстор) и Карпош (Тафталиџе 1 и 2, Козле) јужно од бул. Партизански одреди до падините на Водно. Во овој реон дебелината на кварталните седименти најчесто се движи од 6-10м,  $Kf=n \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ ,  $T=50-300 \text{ м}^2/\text{ден}$ , НПВ=4-6м, додека проектираните бунари може да бидат изведени во две опции:

Опција 1: Дупчен бунар со длабина  $H=15\text{м}$ , пречник  $\varnothing 400/225$  PVC цевки со издашност  $Q=3-5 \text{ l/s}$ .

Опција 2: Копан бунар со длабина  $H=10-12\text{м}$ ; пречник  $\varnothing 1000\text{мм}$  со бетонски прстени, со издашност  $Q=3-5 \text{ l/s}$  и НПВ=4-6м.

**Четвртиот реон** се простира во општина Горче Петров и Сарај. Кварталните седименти во овој реон најчесто имаат дебелина до 6м,  $Kf=n \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ .  $T < 50 \text{ м}^2/\text{ден}$ . НПВ 3-5м и со оглед на малата дебелина на водоносниот слој проектираните бунари се предлага да бидат изведени во две опции кои ќе ги имаат следните параметри:

Опција 1: дупчен бунар со длабина  $H=10\text{м}$ ;  $\varnothing 200/140 \text{ mm}$  PVC цевки со издашност  $Q < 3 \text{ l/s}$ .

Опција 2: копан бунар со длабина  $H=8-10 \text{ m}$ ; пречник  $\varnothing 1000 \text{ mm}$  со бетонски

прстени. со издашност  $Q < 3 \text{ l/s}$  и НПВ 3-5 м.

**Петтиот реон** ги опфаќа општините Чаир, Бутел, Шуто Оризари и дел од Гази Баба каде што дебелината на кварталните седименти не е детално утврдена и потребни се дополнителни истражувања за дефинирање на хидрогеолошките карактеристики на оваа средина. Бунарите кои ќе бидат изведени на овој реон ќе имаат издашност од 0.5 - 15 l/s.

Комплетен преглед на хидрогеолошките карактеристики на секоја од средините во рамките на хидрогеолошката реонизација со типот на бунарите кои одговараат на секоја средина е даден во (табела бр. 3).

## 2. Анализа на потребните количини на вода за полевање на зелените површини во град Скопје

Потребната количина на вода за полевање на зелените површини се одредува преку нормата за полевање и големината на површините кои се полеваат. Самата норма за поливање зависи од видот на растението, типот на почвата, временските услови и др. Усвоена е просечна норма за полевање на зелените површини од  $5 \text{ л/м}^2/\text{ден}$  односно  $15 \text{ л/м}^2/\text{турнус}$  (еден турнус на секои три дена). Нормата за полевање е земена како средна за секоја зелена површина или друга површина за наводнување во студијата а пред изведбата на секој бунар потребно е да се изработи Основен проект каде ќе се опфатат сите потребни анализи и параметри. Во текот на годината се врши полевање на зеленилото во 50 турнуса односно 150 дена (пет месеци) што значи дека годишно е потребно:

$$N_{\text{год}} = 50 \times N \text{ каде } N = 15 \text{ л/м}^2/\text{ден}$$

$$N_{\text{год}} = 750 \text{ л/м}^2$$

Вкупната годишна потреба на вода за наводнување на зеленилото се добива:

$$W_{\text{год}} = N_{\text{год}} \times F \text{ каде } W_{\text{год}} = 750 \text{ л/м}^2 \text{ и } F = 15.980.531 \text{ м}^2$$

$$W_{\text{год}} = 750 \times 15.980.531 = 11.985.398 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$W_{\text{год}} = 11.985.398 \text{ м}^3/\text{год}$$

Полевањето се врши во две смени во вкупно времетраење од 16 часа. За полевање во времетраење од 12 часа потребната количина на вода изнесува:

$$Q(\text{l/s}) = 11.985.398/150/12/3600 = 1849,6 \text{ l/s}$$



За полевање во времетраење од 24 часа потребна количина на вода изнесува:

$$Q (l/s) = 11.985.398/150/24/3600 = 924,8 l/s.$$

Во зависност од големината на зелените површини, пресметани се дневните и годишните потреби за вода за полевање по општини (табела бр. 1).

**Табела 1. Дневни и годишни потреби за вода за полевање на зеленилото**

Ред. бр	Општина	Површина (m <sup>2</sup> )	W (m <sup>3</sup> /ha/god) наводнување 5 месеци	W (god m <sup>3</sup> ) за цела површина
1	Центар	1 352 336	7 500	1 014 252
2	Карпош	3 977 274	7 500	2 982 750
3	Г. Петров	1 038 271	7 500	778 703
4	Кисела. В	626 085	7 500	469 563
5	Аеродром	1 849 614	7 500	1 387 210
6	Гази баба	5 094 241	7 500	3 820 680
7	Чаир	626 735	7 500	470 051
8	Бутел	975 476	7 500	731 607
9	Ш.Ориза	200 499	7 500	150 374
10	Сарај	240 000	7 500	180 000
	вкупно	15 980 531		11 985 190

### 3. Можности за искористување на подземните води за полевање на зелените површини

Врз основа на извршените теренски истражувања на територијата на град Скопје како и врз база на проучувањето на техничката документација констатирано е дека постојат добри можности за искористување на подземните води за полевање на зелените површини. Можностите за искористување и зафаќање на подземните води се во зависност од повеќе фактори: литолошкиот состав на теренот, хидрогеолошките карактеристики, дебелината на алувијалните седименти, филтрационите карактеристики на водоносните карпи и резервите на подземна вода, односно можноста за обновливост. Најголеми можности за искористување на подземните води има во источниот дел на Скопје поточно во општините Центар, источно од Камен мост, Аеродром, Кисела вода и Гази Баба бидејќи дебелината на алувијалните пескливо чакалести седименти е најголема, главно поголема од 20м, а во некои делови од теренот (Лисиче, Аеродром) достигнува и преку 100м. Покрај тоа просторот помеѓу вливот на р.Лепенец во р.Вардар на површина од околу 3км<sup>2</sup> помеѓу селата Ново Село-Бардовци-Горче Петров и Злокуќани каде се лоцирани

бунарите за водоснабдување на Скопје има поволни можности за искористување на подземните води бидејќи дебелината на алувијалните седименти достигнува до 100м со добри филтрациони карактеристики и издашност на бунарите. Добри можности за искористување на подземната вода има во општина Бутел покрај текот на р.Серва каде дебелината на алувијалните седименти на некои места достигнува 40-50м на површина од околу 3км<sup>2</sup>. Исто така добри можности за искористување на подземните води има и во централниот дел на Скопје во кој спаѓаат општина Карпош и дел од општина Центар каде дебелината на алувијалните водоносни наслаги достигнува до 15 м.

Како најнеповолна зона за искористување на подземната вода е западниот дел на Скопје во општина Горче Петров и Сарај и северниот дел кој ги опфаќа општините Шуто Оризари, дел од Бутел, Чаир и Гази Баба. Во оваа зона дебелината на алувијалните седименти е мала, резервите на подземна вода се мали и соодветно на тоа и издашноста на бунарите е мала. Зоната која го опфаќа поголемиот дел од општините Бутел и Чаир (реон 5) е со недефинирани хидрогеолошки карактеристики на теренот бидејќи не постојат доволно релевантни податоци за хидрогеолошките карактеристики на теренот па затоа во овој реон е потребно да се извршат дополнителни хидрогеолошки истражувања. Според досегашните искуства и сознанија издашноста на изведени бунари во Скопското подрачје е различна во зависност од локацијата на бунарот и дебелината на алувијалните седименти и најчесто се движи од 3-25 l/sec, а локално помалку или повеќе. Имајќи ги во предвид хидрогеолошките карактеристики на теренот на територијата на градот Скопје (слика 1) како и очекуваната издашност на бунари, одреден е потребниот број на бунари по општини дадени во (табела бр. 2).

Според табелата за полевање на зеленилото најголем број на бунари се потребни во општина Гази Баба 36, а најмалку во општина Кисела вода само 5 што зависи од дебелината на алувијалните седименти, од коефициентот на филтрација и литолошкиот состав на теренот или вкупно за полевање на зеленилото во град Скопје се потребни 138 бунари.

**Табела 2. Потребен број на бунари за полевање на зеленило во секоја општина**

Општина	Површина (ha)	q (l/s/ha)	Q(l/s)	Претпост. издашност еден бунар (l/s).	Број на бунари	ХГ реон
Центар	135.23	0.58	78.2	10	8	2 и 3
Карпош	397.7	0.58	230.17	8	28	2 и 3
Ѓ.Петров	103.8	0.58	61.1	2	30	4
К. Вода	62.6	0.58	36.23	7	5	1
Аеродром	184.9	0.58	107.04	12	8	1
Гази баба	509.4	0.58	294.81	8	36	1
Чаир	62.6	0.58	36.27	5	8	5
Бутел	97.5	0.58	56.45	8	7	5
Ш. Оризари	20	0.58	11.60	1.5	8	5
Сарај	24.00	0.58	13.90	2	6	4
Вкупно	1598	0.58	925.77	Q <sub>sr</sub> =6.3l/s	138	

Оваа бројка може да се промени во зависност од рамномерноста на распоредот на зелените површини, односно нивната местоположба. Она што треба да се напомене во однос на бројот на бунари е дека ова претставува ориентационен број на бунари, бидејќи вистинскиот број ќе се одреди по извршените хидрогеолошки истражувања и тестирања на издашноста на пробните дупнатини во реонот, главно во општините Чаир, Бутел, Шуто Оризари и делови од Гази баба. Доколку се утврди поголема издашност на бунарите од претпоставената, нивниот број ќе се редуцира, притоа потребно е да се утврди состојбата на мрежата и нејзиниот капацитет, односно да се провери дали има доволно мрежа во непосредна близина на бунарот со соодветен капацитет за да се искористи целата расположива вода. Овој број на бунари претставува максимален број на бунари кој се очекува да биде потребен. Зелените површини лоцирани на Водно и на локалитетите во северниот дел на Скопје како паркот Кале дел од општина Центар, населба Топаана дел од општина Чаир, Зајчев рид дел од општина Карпош, Железара дел од општина Гази Баба, делови од општините Бутел и Шуто Оризари нема можности за полевање на истите со подземна вода бидејќи условите за нејзино постоење се неповолни или минимални. Согласно законот за градба за изведба на бунарите потребна е дозвола за градба, а согласно Законот за води потребна е дозвола за користење на вода од бунарите. Пред изведба на секој бунар потребно е да се изработи Основен проект во кој ќе бидат опфатени подземните

инсталации, другите параметри и потребните анализи. За донесување на конечен заклучок во врска со потенцијалот на подземните води во реонот на градот Скопје потребно е да се спроведат наменски детални хидрогеолошки истражувања за балансирање на подземните води и дефинирање на експлоатационите т.н. обновливи резерви.

#### 4. Технички параметри на бунарите за експлоатација на подземните води

Врз основа на анализата на хидрогеолошките карактеристики на теренот, добиените податоци од голем број на бунари изведени на територијата на град Скопје, определени се техничките параметри на проектираните бунари за експлоатација на подземна вода.

**Табела 3. Типови на бунари за подземна вода со нивни технички карактеристики**

Тип на бунар	НПВ (m)	Длабина (m)	Издашност (l/s)	Дијаметар (mm)	Општина	
Тип 1 за реон 1	7-10	30	>15	PVC 450/315 Дупчен бунар	Центар, Аеродром К. Вода, Гази баба	
Тип 2 за реон 2	5-7	20	8-15	PVC 400/280 Дупчен бунар	Карпош, Центар	
Тип 3 за реон 3	Тип 3А	4-6	15	3-8	400/225 PVC Дупчен бунар	Карпош, Центар
	Тип 3Б	4-6	10	3-8	Бетонск и Ø1000 копан бунар	Карпош, Центар
Тип 4 за реон 4	Тип 4А	3-5	10	< 3	PVC 200/140 Дупчен бунар	Сарај, Ѓ. Петров
	Тип 4Б	3-5	8	< 3	Бетонск и Ø1000 копан бунар	Сарај, Ѓ. Петров
Тип 5 за реон 5	Реон со недефинирани хидрогеолошки карактеристики (недоволно истражен) каде издашноста на бунарите ќе изнесува од 0,5-15л/с се изведува бунар од тип 1,2,3,4 или друг во зависност од хидрогеолошките карактеристики на теренот				Чаир, Бутел и Ш. Оризари	

Техничките параметри на бунарите се во зависност од издашноста на изданот, односно припадноста кон одреден хидрогеолошки реон, нивото на подземна вода, коефициентот на филтрација, дебелината на алувијалните водоносни седименти и гранулометрискиот состав на алувијалните наслаги. Врз база на наведените критериуми се дефинирани 5 типа на бунари претставени во (табела бр.3) *Критериум за завршување на бунар од тип2, тип3 и тип 4 треба да биде навлегување 2-3м во водонепропусна средина претставена од неогени лапоровити седименти, додека за тип1 проектираната длабочина е 30м. Копаните бунари треба да завршуваат во водонепропусна средина.*

#### 5. **Оправданост на концептот за користење на подземните води за полевање на градското зеленило и миење на јавните сообраќајни површини**

Вкупната големина на зелените површини (постоечки и планирани) изнесува 15.980.531м<sup>2</sup> или 1598,05 ха. Потребната количина на вода за полевање на сите зелени површини изнесува 11.985.398м<sup>3</sup> за период од 5 месеци или 925,77 l/sec. Имајќи ја во предвид местоположбата на зелените површини како и нивната позиционираност во хидрогеолошките реони (1,2,3,4 и 5) се проценува дека за комплетно наводнување на зелените површини со искористување на подземните води ќе биде потребно да се изведат околу 138 бунари. Миењето на јавните сообраќајни површини се изведува на површина од 5.648.973 м<sup>2</sup> за што се потребни 1.815.399 м<sup>3</sup>/год. вода за што е непходно да се изведат околу 16 бунари за полнење на цистерните. Врз основа на изнесеното се проценува дека потребниот број на бунари за полевање на зелените површини и за миење на сообраќајните површини ќе изнесува околу 154 (Табела бр. 4). Доколку оваа количина на вода се обезбеди од ЈП Вдовод и канализација по сегашните цени на вода за стопанството ќе бидат потребни 13.800.797 x 65,8 = 908.063.622 денари или 14.765.262 евра за една сезона. Пресметано по цената на вода за домаќинство ќе бидат потребни 13.800.797 x 29,39 = 405.605.423 денари или

6.595.210 евра. Во (табела бр. 5) е дадена цена на изведба на сите типови бунари поединечно заедно со комплетна опрема и просечната цена на изведба на еден бунар изнесува 13.706 евра или 16.174 евра со ДДВ. Вкупната цена за изведба на сите бунари изнесува 154 x 13.706 = 2.110.262 евра или 2.490.796 евра со ДДВ според актуелни пазарни цени. Вредноста за одржување на бунарските системи изнесува 10% годишно од вредноста на бунарот.

**Табела 4. Преглед на бунари за полевање на зелените површини и миење на јавните сообраќајни површини**

Тип на површина	Површина (m <sup>2</sup> )	Количина на вода потребна за полевање или миење на површините (m <sup>3</sup> )	Количина на вода за полевање или миење на површините (l/sec)	Потребен број на бунари
Зелени површини	15 980 531	11 985 398	925,77	138
Јавни сообраќај површини	5 648 973	1 815 399	325	16
Вкупно	20 617 845	13 800 797	1250	154

Деталната пресметка за потребната цена на чинење на м<sup>3</sup> вода е дадена подолу, притоа за пресметка е земен еден репрезентативен бунар со издашност од 10 l/sec.

**Табела 5. Цена на изведба на бунари**

Тип на бунар	Цена на изведба на бунар комплет со сета опрема (€)	Цена на изведба на бунар комплет со сета опрема со ДДВ (€)
Тип 1	22.610	26.679
Тип 2	17.150	20.237
Тип 3А	13.110	15.469
Тип 3Б	11.140	13.145
Тип 4А	7.500	8.920
Тип 4Б	10.730	12.661
Просечна цена за 1 бунар	13.706	16.174

Времето за полевање во една сезона изнесува 5 месеци, а истото изразено во часови се добива според изразот  $W=N \times M \times V$  каде што:

$W$  - време потребно за полевање на зелени површини во сезона (h)

$N$  - просечно време на работа на пумпа во изв. бунар во сезона (усвоено 10 h/дневно)

$M$  - денови во месец (усвоено 30 дена)

$V$  - месеци за полевање во сезона (усвоено 5 месеци)

Спрема тоа во една сезона времето за полевање на зелените површини изнесува

$W = N \times M \times V = 10 \times 30 \times 5 = 1500$  h односно бунарот ќе работи 1500 часа за една сезона.

Ако се усвои просечна издашност од  $Q = 10$  l/s тогаш исцрпената вода за еден час изнесува  $Q = 36$  m<sup>3</sup> вода. Произведената количина на вода за цела сезона за бунар со издашност од 10л/с би се добила според изразот:

$Q_{\text{вк.}} = W \times Q_h = 1500 \times 36 = 54000$  m<sup>3</sup> каде што

$Q_{\text{вк}}$ -вкупна количина на вода во сезона (m<sup>3</sup>)

$W$ - потребно време за полевање на зеленило во сезона, работа на пумпата (h)

$Q_h$ - количина на исцрпена вода за 1 час.

За црпење на вода со издашност од 10л/с и манометарски притисок од  $H = 60$  m потребна е пумпа со јачина од 11 KW.

Вкупната потрошена електрична енергија за цела сезона од 5 месеци изнесува  $J_{\text{вк}} = W \times J_h = 1500 \times 11 = 16\,500$  KW, каде што

$J_{\text{вк}}$ -вкупна потрошена ел.енергија (KW)

$J_h$ -потрошена електрична струја за 1 час

Ако се земе дека цената за 1 KWh индустриска струја изнесува 0,15 € со

пресметковна моќност 33,33 % од преземена активна електрична енергија, цената за вкупна потрошена електрична енергија за цела сезона би изнесувала

$16\,500 \text{ KWh} \times 0.15 \text{ €} = 2\,475 \text{ €}$

Цената на чинење на 1m<sup>3</sup> за потрошена електрична енергија ќе се добие ако се подели вредноста на вкупната потрошена електрична енергија со вкупната количина на исцрпена вода како во изразот

$2475/54000 = 0.0045 \text{ €}$  или  $2.84 \text{ den/m}^3$

Предвидено е дека периодот на амортизација на еден бунар со опрема е 10 години или околу 1500 евра за сезона-година.

Вредноста на трошоците за амортизација на бунарот за 1 m<sup>3</sup> вода ќе се добијат ако се подели вкупното време потребно за полевање на зелени површини со вкупната количина на исцрпена вода или според изразот

$A_{\text{тр}} = W_{\text{вк}}/Q_{\text{вк}} = 1500 \text{ €} / 54000 \text{ m}^3 = 0,027 \text{ €}$  или  $1,72 \text{ den/m}^3$

Со направените анализи на почетна известиција за изведба на бунар (период на амортизација 10 години) и комплетна пумпна постројка како и цената на чинење на потрошена електрична енергија за работа на пумпите се доаѓа до цена на чинење на еден метар кубен вода од 5 денари или вкупно 6 денари заедно со вкalkулирани 20% непредвидени трошоци.

Спрема изнесеното ако се споредат финансиските трошоци на изведба на сите бунари со трошоците за водата за полевање и миење добиена од ЈП Водовод и канализација евидентна е разликата во корист на изведба на бунарите.



# PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MINE WATERS AT ABANDONED MINING SITES IN SERBIA

Veselin Dragišić<sup>1</sup>, Nebojša Atanacković<sup>1</sup>, Vladimir Živanović<sup>1</sup>, Gordana Milentijević<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Džusina 7, 11000 Belgrade, Serbia,  
n.atanackovic@rgf.rs

<sup>2</sup>Faculty of Technical Sciences, University of Pristina, Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Serbia,  
blagojenedeljkovic@yahoo.com

## Abstract

Both exploration and mining of mineral resources in Serbia have been quite extensive. Over the past several years, investigations of the physicochemical characteristics of mine waters were undertaken at several tens of abandoned mining sites across Serbia, featuring different types of ore deposits.

Hydrochemical investigation revealed distinct variations in the chemical compositions of the mine waters. Based on the results reported in this paper, mine waters originating from gold and magnesite deposits exhibit chemical compositions identical to that of the groundwater in the extended area. Contrary to these, mine waters which trace to abandoned copper, molybdenum and polymetallic deposits feature elevated total dissolved solids (TDS) and low pH levels. With regard to their chemical composition, these are sulfate waters with elevated heavy metal concentrations. Mine waters originating from abandoned stone coal mining sites exhibit chemical properties which are similar to those of mine waters from polymetallic deposits.

Analyses of the dependency between pH levels and the chemical compositions of mine water samples revealed a high correlation between the pH index and the concentrations of sulfates and metals.

**Key words:** mine waters, abandoned mines, hydrochemistry

## INTRODUCTION

Mine waters were sampled from 2009 to 2011 at abandoned mines in several tens of ore-bearing deposits. Specifically, physicochemical characteristics were analyzed of mine water samples from deposits of metallic and polymetallic mineral resources (Cu, Fe-Ni, Pb-Zn, Sb, Mo, Au), radioactive elements (U), non-metals (Mg, F) and stone coal. The chemical composition of mine water is generally a result of several factors, the most important being the geological makeup of the deposits, the mineral composition of the ore and the surrounding rocks, the hydrogeological characteristics of the rock masses, and the mining technology applied. Mine waters which circulate at a mining site come into contact with primary and secondary minerals in oxidation conditions, whereby the minerals become dissolved.

The oxidation of pyrite (FeS<sub>2</sub>) and other sulfides plays a dominant role in the formation of the chemical composition of mine waters, during which hydrogen ions are released and cause the pH level to decrease and the concentrations of certain elements in the mine water to increase, such as those of sulfates,

heavy metals (Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Co, Cr, Ni, Hg), metalloids (As, Sb) and other elements (Al, Mn, Si, B, Li) (Lottermoser B., 2007). In parallel, the activity of certain microorganisms, primarily *Thiobacillus ferrooxidans* and *Thiobacillus thiooxidans*, accelerate processes which lead to the deterioration of mine water quality. Depending on the pH/Eh conditions at the site and the composition of the mine waters, certain secondary minerals are deposited on the mine walls as sediment or film, whose composition is dominated by iron oxides and hydroxides which give them a characteristic reddish-orange color. Similar processes take place in stone coal deposits. However, in certain other deposits the hydrolytic reaction is the main process of disassociation of the ore and surrounding minerals, and the resulting mine water does not differ significantly from naturally occurring groundwater (Dragišić V., 2012).

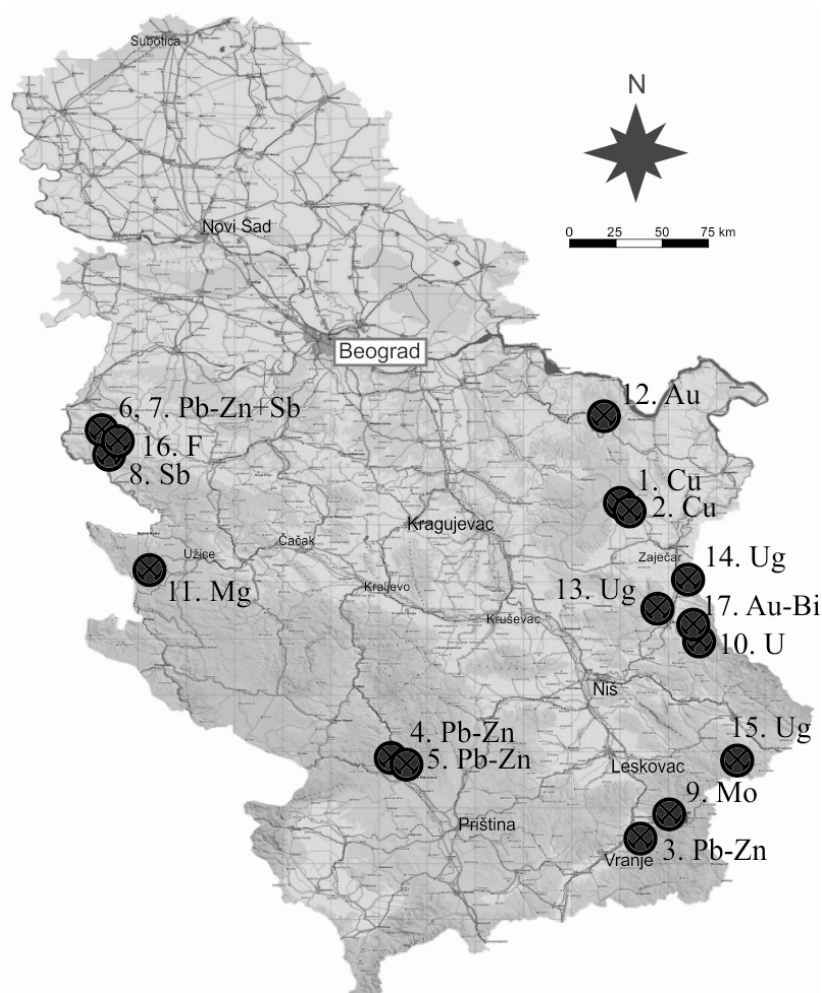
The objective of the research reported in this paper was to identify, on a regional scale, the physicochemical characteristics of mine waters originating from abandoned mining sites associated with different ore deposits within

the represented metallogenic units. The outcomes of this effort constitute the basis for further, detailed investigations of certain mine water occurrences from the environmental perspective, and for analysis of geochemical and hydrochemical processes which govern the chemical composition of the mine waters.

### SAMPLING AND CHEMICAL ANALYSES

Mine water was sampled for chemical analyses at the points of discharge from adits and from pools at the lowest levels of opencast mines. The investigations encompassed ore-bearing sites in eastern, western and southern Serbia, as well as in Kosovo and Metohija (Figure 1). Measurements of pH, conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

and temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) were conducted in-situ, using a Mi805 unit with an MA851D/1 parametric probe. Chemical analyses of the mine water samples were performed at Hemolab in Belgrade. Water samples were stored and transported in 1.5 l and 0.5 l polyethylene (PET) bottles. Samples in smaller bottles were acidified with 10-20 drops of a 50%  $\text{HNO}_3$  solution to prevent the sedimentation of metals from the water. Among the basic physical quantities, T, pH and Ep were determined in-situ, while dry residue (at  $180^{\circ}\text{C}$ ), total hardness and  $\text{KMnO}_4$  consumption were analyzed in the laboratory.



**Figure 1.** Sampling location

With regard to macrocomponents, the analyses included the main cations and anions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). The microcomponents analyzed were non-metals ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , P,  $\text{SiO}_2$ ) and metals and

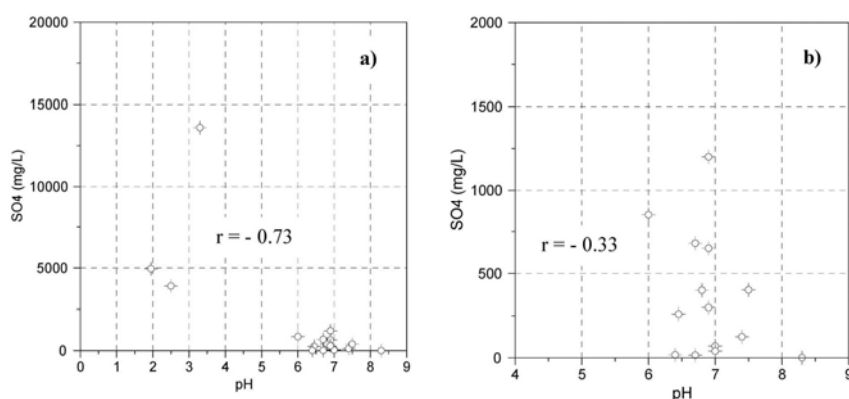
metalloids (Fe tot., Mn tot., Cr tot., Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, As). The concentrations of P, Cr, Cd and Pb were below the limits of detection and, as such, were not included in the study.

**Table 1.** Results of chemical analysis of mine waters

Item	Ore deposits	Mining site	pH	Ep	Dry residue	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	Mn	Zn	Cu	As
1	Cu-As	Gornja Lipa opencast mine	1.95	8200	7200	300.2	78.4	9.4	12.1	<0.5	-	4950	-	1650	19.94	16	51.5	1.3
2	Cu-Mo	Cerova tailing site	3.3	>4000	3500	287	1430	14.8	1.8	<0.1	22	13600	80.2	15.8	45	52.1	1120	0.0002
3	Pb-Zn	Pište adit	6.4	210	170	31.2	7.5	2.6	1.3	114	5.2	18	19.3	6.2	1.45	5.6	0.005	0.1
4	Pb-Zn	Žuta Prlina	6.9	1538	1660	40	141.5	-	-	183	8	298.2	-	10.4	6	10	0.01	0.0054
5	Pb-Zn	Koporić	7.4	418	266	25.6	88.8	-	-	195.2	8	124.8	-	3.1	0.56	0.11	0.03	<0.002
6	Pb-Zn + Sb	Bobija opencast mine	2.5	>4000	5800	371	141	3.5	0.8	<0.5	2	3900	65	780	11.3	142	30	2.8
7	Pb-Zn + Sb	Bobija adit	6.0	1500	1300	316	37	2.1	1.3	104	6.8	850	12.8	11.3	1.6	38.7	0.004	0.022
8	Sb	Stolice adit	6.8	1200	810	210	50.5	11.2	2.8	410	7	400	7.5	1.1	0.35	0.002	0.001	0.012
9	Mo	Mačkaitica adit	7.5	880	790	164.7	22.6	12.5	2.4	156	7.2	402	31.5	42.2	3.3	0.002	0.05	0.0003
10	U	Gabrovnica adit	6.7	603	420	100.6	17.2	18.3	2.1	427	7	16	26.7	0.07	0.34	0.006	0.002	0.0004
11	Mg	Liska	8.3	420	260	8.2	57.1	0.5	0.2	280.3	3.5	<1	25.1	0.01	0.003	0.002	0.001	0.001
12	Au	Sveta Barbara	7.0	350	270	70.1	12.8	4.1	3	213.5	5.2	40	3.2	0.01	0.004	0.002	0.001	0.002
13	Stone coal	Dobra Sreća	6.9	>3000	2420	347	187.1	150	5.5	880	12.4	1200	32.2	4.76	0.53	0.004	0.001	0.0008
14	Stone coal	Sveti Đorđe	6.7	1800	1540	232	142	40.5	14.4	732	12.8	680	16.5	6.1	0.12	0.002	<0.001	0.0004
15	Stone coal	Kozarnik	6.45	810	540	126.2	30.4	1.7	2.1	210.2	5.8	260	7.2	6.7	0.4	0.002	0.002	0.008
16	F	Krupanj	6.9	1520	1250	342	30.6	6.4	1.3	384	17.8	650	14.8	3.22	0.77	0.14	0.002	0.005
17	Au-Bi	Aljin Do	7	510	390	61.2	42.5	9	0.6	308.1	12.4	70	-	0.002	0.003	0.002	0.00075	0.5



## RESULTS AND DISCUSSION



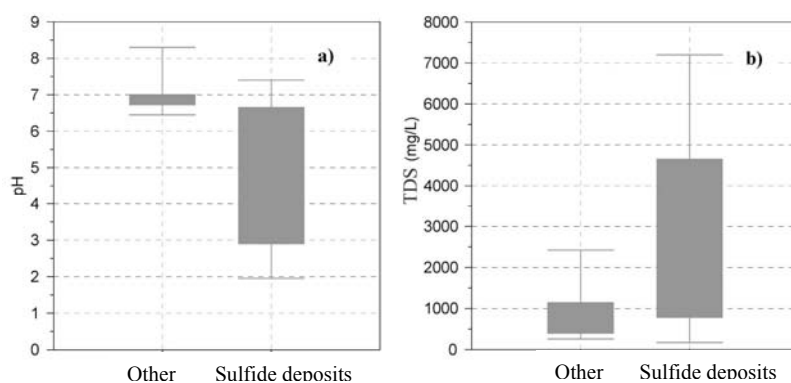
**Figure 2.** Concentrations of the  $\text{SO}_4^{2-}$  ion in relation to pH.

The results of hydrochemical analyses of mine water samples collected from abandoned mining sites (Table 1) revealed considerable differences in the chemical compositions, as a result of highly complex conditions leading to their formation. Some authors believe that the composition of mine water at each mining site is specific, due to the differences between the mineral deposits. This claim seems to be confirmed by the broad range of values of the parameters analyzed within the scope of this research. A pH index of 1.95 (Lipa opencast mine) was indicative of a highly acidic medium, while the mine water from the adit at Liska was found to be alkaline, with a pH index of 8.3. In addition to pH, the concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$  also varied (Figure 2). Figure 2 (a) shows that extremely high  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations were found in mine waters whose pH was very low. However, with the exception of the three extremely low pH values (Figure 2 (b)), this correlation was much less pronounced in most of the analyzed samples. Mine waters from the Cerova copper mine and the Dobra Sreća stone coal mine

exhibited elevated concentrations of the sulfate ion, while their pH levels between 6 and 8 were similar to those of most of the samples.

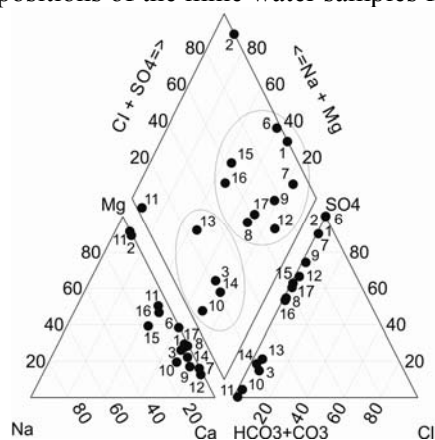
Conversely, when mine waters were grouped based on the dominant minerals in the compositions of the ore deposits, a certain correlation could be established. Cu deposits and polymetallic Pb-Zn deposits were found to be largely comprised of sulfide minerals. Compared to the Cu and Pb-Zn deposits, mine waters originating from the deposits of other minerals exhibited much lower chemical composition variations (Figure 3).

TDS values of most of the mine water samples associated with stone coal, Sb, Mo, U, F, Mg and Au deposits were found to be close to or less than 1000 mg/l, while the TDS range of the Cu and Pb-Zn deposits of the sulfide type was considerably broader (Figure 3 (a)). Similar to the concentrations of dissolved substances, pH levels associated with sulfide deposits varied to a large extent, while in mine waters from other analyzed deposits they were in the interval from 6.0 to 8.3, generally around 7 (Figure 3 (b)).



**Figure 3.** Box & Whisker plot of TDS and pH for sulfide and other mineral deposits.

The piper diagram (Figure 4) of the concentrations of the main cations and anions shows two distinct groups of mine waters. With regard to the main anions, the compositions of the mine water samples from



**Figure 4.** Piper diagram.

Cu, Pb-Zn, Mo, Sb, F and stone coal deposits were dominated by the sulfate ion, while the deposits of Au, U and Pb-Zn (adit at Pište) featured the highest concentration of the  $\text{HCO}_3^-$  ion. The cation compositions of all the samples were dominated by the  $\text{Ca}^{2+}$ , except the mine waters associated with the Liska magnesite mine and the Cerova opencast mine where magnesium concentrations of more than 80%eqv were recorded.

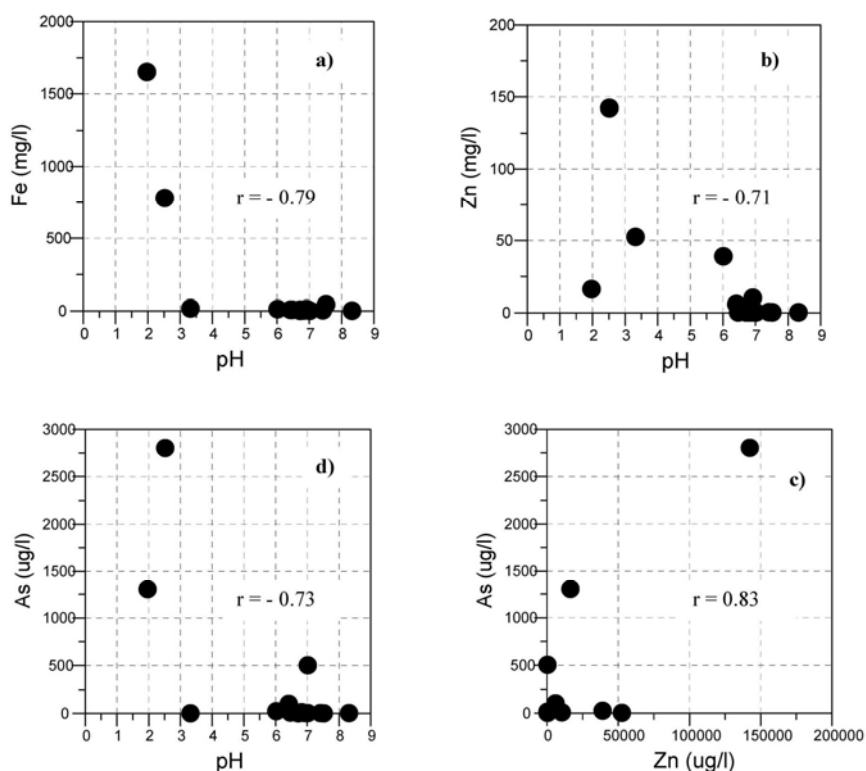
Low pH values of mine waters are generally a function of the geological characteristics and mineral composition of the pertinent rocks. Occurrences of acidic mine waters are attributed to rocks which do not contain carbonates. Deposits of metallic minerals genetically trace to magmatic intrusions, volcanic activity and the hydrothermal solutions associated with these processes. Acidic magmatic rocks which contain poorly soluble silicate minerals provide a favorable setting for the formation of mine waters with low pH values, while in basic and ultrabasic rocks made up of highly soluble silicate materials, alkaline waters are formed. (C.A.J. Appelo, 1996). Apart from carbonate minerals, pH levels increase when gibbsite –  $\text{Al}(\text{OH})_3$  is dissolved, whereby the concentrations of aluminium in the mine waters increase.

As minerals from the sulfide and oxide groups dissolve, the concentrations of metals in mine waters increase. This process primarily depends on the pH level of the mine waters (Wolkersdorfer C., 2008). The analyzed mine water samples featured elevated Fe and Mn concentrations.

Extreme concentrations of Fe were recorded in the samples collected from the Lipa copper mine, as well as the Bobija lead and zinc mine whose mine water samples also exhibited high zinc concentrations. Iron and zinc concentrations correlated with the pH index (Figure 5). As the pH level increased, the concentrations of these metals in the mine water samples declined. The samples from these two mines also featured elevated concentrations of Cu and As. The mineral composition of the respective deposits is dominated by pyrite, where the paragenesis exhibits other sulfides (galenite, sphalerite) as well. In the zone of the abandoned Lipa mine, in addition to pyrite, enargite ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) also occurs as a primary mineral ore (Janković S., 1990), which is the source of arsenic in the mine waters. As the pH levels of the mine water samples decreased and the concentrations of metals (primarily Fe and Zn) increased, the concentration of arsenic rose (Fig 5).

Very high concentrations of microcomponents were found in the chemical composition of the mine waters tracing to the Cerova opencast mine, where the concentration of Mn was 45 mg/l, of Zn 52.1 mg/l and of Cu 1120 mg/l. The mineral composition of the fluorite deposits at Ravnaja, in addition to fluorite ( $\text{CaF}_2$ ), features sphalerite, galenite and pyrite. The mineral association at this site has caused the mine waters from Ravnaja to correspond to those tracing to polymetallic deposits.

At the Jerma mining site, mine waters are discharged at a rate of 4-5 l/s from the abandoned adit at the Kozarnik stone coal mine, where iron concentration was found to be 6.7 mg/l. The point of discharge is covered with yellowish-red iron hydroxide film. In the catchment area of the Veliki Pek River, within the gold deposits at Blagojev Kamen, the abandoned adit of the Sveta Barabara mine discharges 4 l/s of low-TDS mine waters of the hydrocarbonate class, calcium group, where heavy metal concentrations equal natural background levels. On Mt. Stara Planina, at the Aljin Do site, there are gold deposits with high concentrations of bismuth. Here the abandoned Ilijin Grob mine discharges mine waters whose chemical composition is of the low-TDS  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  type, with low concentrations of metals and an elevated concentration of arsenic (0.5 mg/l).



**Figure 5.** Correlation between pH levels and metal/metalloid concentrations in mine waters

## CONCLUSION

Hydrochemical analysis of mine waters originating from abandoned mines in Cu, Pb-Zn, Sb, Mo, Mg, F, U, Au and stone coal deposits in Serbia revealed the following:

- Mine waters tracing to deposits of metallic minerals, whose composition is dominated by minerals from the sulfide group, exhibit pronounced TDS and pH variations. Based on their macrocomponent composition, these waters belong to the sulfate class, calcium group. They feature elevated concentrations of heavy metals and metalloids (Fe, Mn, Cu, Zn, As).
- Mine water samples collected from abandoned stone coal mines belong to the neutral group, based on their pH levels. Their compositions exhibit elevated concentrations of sulfates and iron.
- Mine waters discharged from abandoned mines in gold and magnesite deposits belong to low-TDS waters of the hydrocarbonate class, calcium and magnesium groups, with metal concentrations corresponding to natural background levels.
- Analyses of the correlation between pH levels and metal/metalloid concentrations showed that as the pH level of the mine water samples decreased, the concentrations of Fe, Zn and As increased.

## REFERENCES

1. Janković S., 1990: Rudna ležišta Sebije - Republički društveni fond za geološka istraživanja, Beograd
2. Lottermoser B., 2007: Mine Wastes Characterization, Treatment, Environmental Impact, second edition – Springer, New York
3. Wolkersdorfer C., 2008: Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Leipzig
4. Younger P., Wolkersdorfer C., 2004: Mining Impact on the Fresh Water Environment: Technical and Managerial Guidelines for Catchment Scale Management – Mine Water and Environment, br. 23, str. 2 – 80.
5. C.A.J. Appelo, D. Postma., 1996: Geochemistry, Groundwater and Pollution
6. Dragišić V., 2012: Rudničke vode napuštenih rudarskih radova i životna sredina u području Srbije – XIV srpski simpozijum o hidrogeologiji, str. 265., Zlatibor

# COMPARATIVE ANALYSIS OF APPLICATION OF DRASTIC AND PI METHOD IN THE PROTECTION OF NATIONAL PARK TARA GROUNDWATERS

Vladimir Živanović<sup>1</sup>, Veselin Dragišić<sup>2</sup>, Igor Jemcov<sup>3</sup>, Nebojša Atanacković<sup>4</sup>

<sup>1 & 2 & 3 & 4</sup> Faculty of Mining and Geology, Djušina 7, 11000 Belgrade, Serbia, v.zivanovic@rgf.bg.ac.rs

## Abstract

Methods for groundwater vulnerability assessment are becoming more and more important especially when it comes to groundwater protection. Maps that are obtained by applying these methods are of particular importance because they represent an important basis used to establish groundwater protection preventive measures. These maps can also find wide application in the protection of certain areas as is the case with the National Parks.

The paper describes the use of DRASTIC and PI methods to assess the vulnerability of the National Park Tara groundwaters. Selection of the proper methods for assessing the vulnerability is not an easy task, because each method requires a different level of input data and gives different results, especially if the terrain is characterized by a complex hydrogeological composition. This problem is expressed in karst terrains, where some methods do not take into account the specific characteristics of the karst aquifers. Such is the case with the DRASTIC and PI method application, and therefore this paper comparatively shows the results that are obtained by applying these methods.

**Key words:** groundwater vulnerability, karst aquifer, DRASTIC method, PI method, National Park Tara

## INTRODUCTION

The concept of groundwater vulnerability assessment was presented in the 60s of the 20<sup>th</sup> century by a French scientist Margat (Vrba and Zaporozec [1]). The idea was to describe the degree of groundwater vulnerability to pollution as a function of geological, hydrological and hydrogeological conditions of the environment. Ever since then various methods have been developed some of which have become a standard tool for groundwater vulnerability assessment (Gogu and Dassargues [2]). That is the case with DRASTIC method, Alleret al. [3], which has been applied in many countries and in different hydrogeological environment so far (Hamza et al. [4], Denny et al. [5], etc). However, although it has often been applied, this method has various disadvantages, especially when karst groundwater vulnerability is assessed. Exactly for this reason during the last decade certain methods appeared and they were designed in such a way to take into account specific recharge conditions of the karst aquifer (EPIK method - Doerfliger and Zwahlen [6], COP method – Vias et al. [7], etc.). One of these methods is the PI method (Goldscheider [8]) which not only that takes into account specific infiltration

conditions in karst terrains, but also gives a good estimation of the protective role of the unsaturated zone in the areas with other type of aquifers as well.

This paper shows methodology of application of DRASTIC and PI methods aiming to show the differences in vulnerability maps produced by application of these methods. We have various examples of application of different methods on the same area in practice (Vias et al. [9], Ravbar and Goldscheider [10]). The results produced were very often different, and sometimes even contradictory.

National park Tara (NP Tara) was chosen to be the test area for application of these methods. The geological structure of this region is dominated by carbonate formations which are highly karstified and represent significant reservoirs of karst groundwater. That is why one of the objectives of this paper was to show how important it was to apply methods which were specifically designed to assess the vulnerability of karst groundwater in order to evaluate properly the protective role of unsaturated zone, and thus prepare a good basis for protection of this natural resource.

## EXPERIMENTAL SECTION

One of the first and most used methods for groundwater vulnerability assessment is DRASTIC method (Aller et al. [3]). Analysing the characteristics of the aquifer and vadose zone, groundwater level, topography and infiltration conditions, this method considers the behaviour of pollutants from the surface which are infiltrated with rain. The method uses seven parameters: depth to groundwater level (factor D), recharge (P factor), the aquifer media (factor A), soil type (factor S), topography of the terrain (factor T), the influence of the aeration zone (factor I) and transmissibility of the aquifer (factor C). In the process of entire vulnerability calculation, to each factor the weight coefficient is added. This coefficient defines the importance of the factor in defining the natural protection. Thus the size of the vulnerability, or so called DRASTIC index, is calculated by the formula:

$$\text{DRASTIC Index} = 5 \cdot Dr + 4 \cdot Rr + 3 \cdot Ar + 2 \cdot Sr + Tr + Tw + 5 \cdot Ir + 3 \cdot Cr.$$

The numbers in front of each of the factors are values pointing the importance of individual factors on the vulnerability index. Vulnerability map is obtained when the terrain is classified into 6 different classes, from very high to very low groundwater vulnerability.

PI method was developed under the project COST 620 (Zwahlen[11]) at the Department of Applied Geology (University of Karlsruhe). PI method is GIS-based approach for mapping groundwater vulnerability of all types of aquifers, with special focus to the karst aquifer. Acronym PI points out that 2 parameters are considered: a protective factor P and the infiltration conditions I.

P factor describes the protective function of the layers that lie between the terrain surface and groundwater levels –soil, non karstified rocks and unsaturated karstified rocks. P factor is calculated by the updated version of the German GLA method (Hölting et al. [12]). By this factor, the land is classified into 5 classes where P=1 corresponds to the class with the

lowest level of protection and P=5 corresponds to the highest level of protection.

The I factor describes the infiltration conditions, i.e. degree to which the protective cover is being bypassed as a result of the lateral surface and subsurface flow in catchment of the ponors or sinking streams. In defining this factor, the catchment of the ponors or sinking streams is first being determined. Then, based on the character of the slope, vegetation and soil, the movement of pollutant from the surface to the zones of concentrated infiltration is being estimated. Values range from 0-1 where the lowest values indicate rapid infiltration conditions with bypassing the protective role of the unsaturated zone.

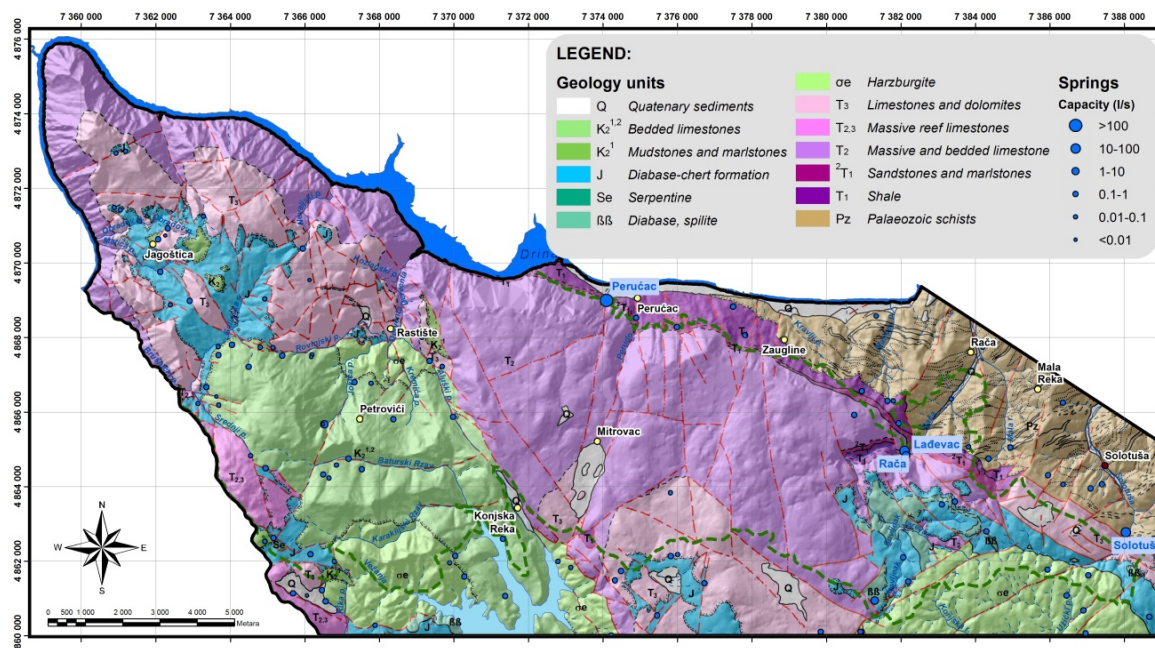
The final factor  $\pi$  is calculated as the product of P and I values:

$$\pi = P \cdot I$$

According to  $\pi$  factor, the land is divided into five classes. Values  $\pi \leq 1$  indicates a small degree of protection and extreme vulnerability to contamination. In contrast, the value of  $\pi = 5$  indicates a high degree of protection and very low vulnerability. Spatial distribution of factors of  $\pi$  is shown on the vulnerability map.

For the application of these two methods and for the creation of the vulnerability maps as a test area the territory of Tara National Park is chosen. The National Park covers an area of 192 km<sup>2</sup> and covers most of Tara Mountain. It is located in the far west of Serbia on the border with Bosnia and Herzegovina.

Carbonate rocks of Mesozoic age dominate in the structure of mountain Tara (Fig. 1). Palaeozoic schists, Jurassic diabase and gabbro, and Quaternary sediments are with limited distribution. From the hydrogeological point of view, karst aquifers have the largest distribution within the research area. This type of aquifer is the most important in the area because of the largest groundwater accumulation and because almost the entire quantity of water of mountain Tara drains through it.



**Figure 1.** Geological map of the National Park Tara (Olujuć and Karović[13])  
*Q* – Quaternary sediments (intergranular aquifer); *K<sub>2</sub><sup>1,2</sup>* – bedded limestones (karst aquifer); *K<sub>2</sub><sup>1</sup>* – Mudstones and marlstones (fissured aquifer); *J* – Diabase-chert formation (fissured aquifer); *Se*, *ββ*, *σe* – Serpentinite, diabase, spilite, harzburgite (fissured aquifer); *T<sub>3</sub>*, *T<sub>2,3</sub>*, *T<sub>2</sub>* – limestones and dolomites (karst aquifer); *<sup>2</sup>T<sub>1</sub>* – sandstones and marlstones - (fissured aquifer); *T<sub>1</sub>* – shale (low permeable rocks); *Pz* – Palaeozoic schists (low permeable rocks)

Karst aquifer recharge is highly dependent on the meteorological conditions and the composition of soil and vegetation cover. Sum of annual precipitation in this area is around 1000 mm. Infiltration of precipitation is done on the entire karst plane, but the intensity is greatest in places of concentric infiltration - sinkholes, karst valleys (Ljuto and Dobro polje), pits and ponors (Jaruga ponor, ponor near the spring Zaboje, Vasić ponor, ponor in Mitrovac, Lokvica ponor, ponor in Krnjačela et al., Jemcov [14]).

Aquifers drainage is mostly done through karst springs with different yield. The locations of the springs are related to the main fault zones or crossing of some faults, and thus the largest karst springs within the research area (Perućac, Lađevac and Rača) are related to the tectonic zones. The largest spring in the investigation area is the Perućac spring with a minimum yield of 450 l/s (Jemcov [14]).

## RESULTS AND DISCUSSION

### The application of DRASTIC method

Making a map of groundwater vulnerability of NP Tara by applying DRASTIC method

require the creation of 7 different layers, i.e. 7 maps for each analysed parameter. On these maps different areas are isolated according to the influence of the analysed factor on the groundwater vulnerability.

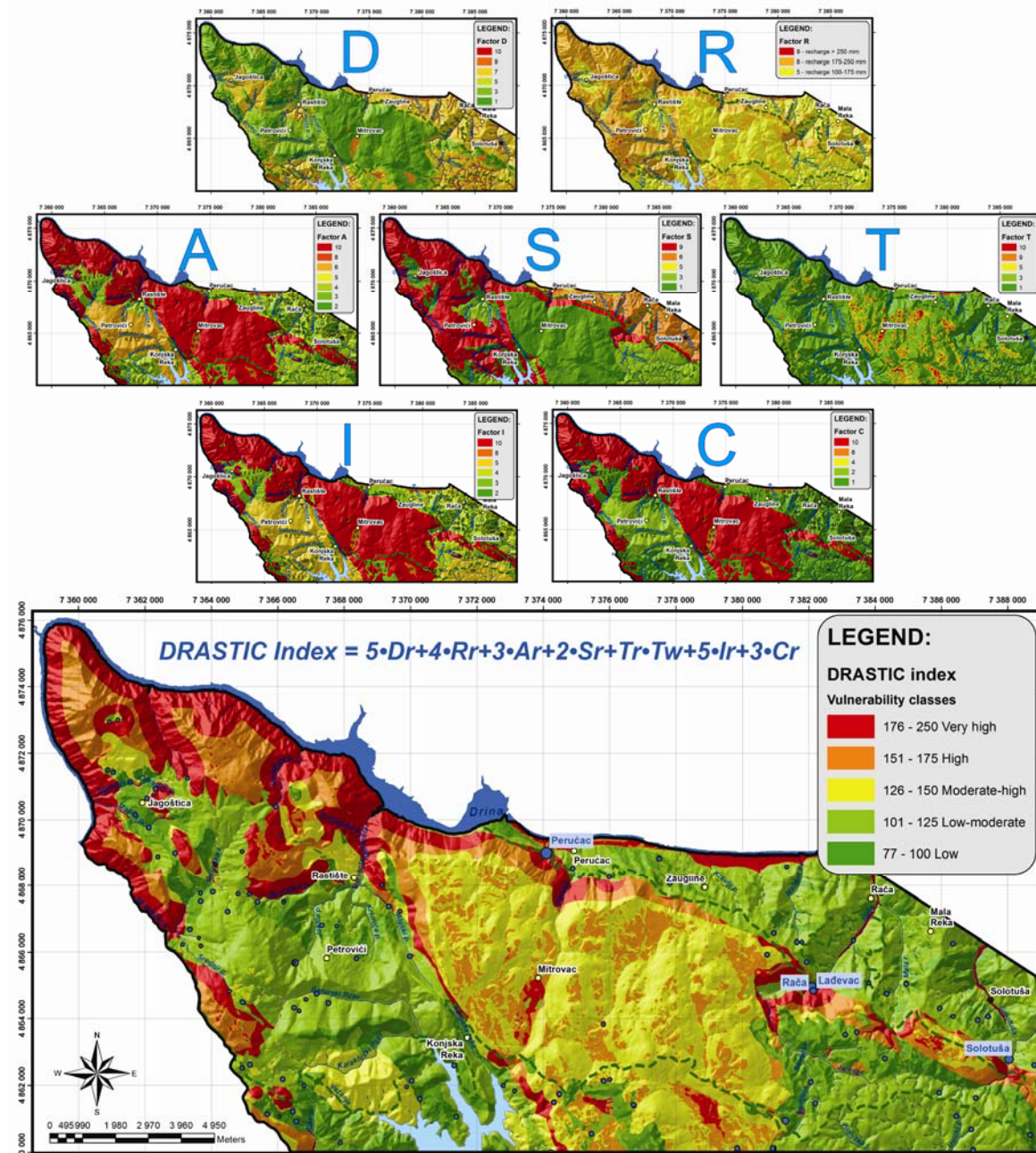
Map of factor D (depth to groundwater level) was obtained by the spatial analysis of the factors which have impact on the size of the vadose zone, Živanović [15]: hydrogeological characteristics of the rocks on one side and the nearness of water occurrences such as springs, rivers and lakes on the other. Based on the location of water occurrences, first a map that shows how much each point on the ground is away from any spring or river is done (buffer zones of 20, 50, 100 and 500 m). This map is combined with the hydrogeological map of the National park and as a final result a map that shows the influence of the depth to groundwater on the vulnerability is done.

For mapping of recharge (R factor), following layers were used through a special calculation scheme (Piscopo [16]): 1. layer showing the terrain slope that was made on the basis of DEM using slope analysis; 2. layer showing spatial distribution of rainfall (average yearly

precipitation values from existing rainfall stations were used); 3 layer showing soil composition was done based on existing pedological maps (terrain classification was made according to the soil permeability). Joining these layers a new map is created where the recharge is estimated according to the sum of points assigned to each particular layer.

The parameters A, C and I are relatively easily determined based on the known geological and

hydrogeological situation in the research area. Factors A and I are determined descriptively, based on the ranging values given from the authors of the DRASTIC method. Depending on the nature of the rocks in the saturated and unsaturated zone values in the range of 2 to 10 are assigned. The factor C depends on the filtration coefficient of the rocks which formed the aquifer. Filtration coefficient was estimated based on the lithological composition and the degree of cracking and karstification of these rocks.



**Figure 2.** Creation of the groundwater vulnerability map of the National Park Tara using the DRASTIC method

Pedological maps at a scale 1:50000 were used for creation of factor S map. Each soil type on the map is characterized by specific grain size composition on the basis of which the ranking of this factor is made. For the creation of factor T map, classification of the slope map made with spatial analysis of the DEM was done. The DEM is made in the scale of 1: 25 000 in total surface of 265 km<sup>2</sup>.

Using the DRASTIC equation, final vulnerability index is calculated and based on it, different zones (classes) with different degree of groundwater vulnerability to contamination from the surface were separated (Fig. 2). Five of the six classes of groundwater vulnerability have been allocated pointing out low to very high vulnerability.

### **The application of PI method**

The first step in applying the PI method is to determine the protection factor P which describes the protective function of the layers that lie between the terrain surface and groundwater levels - topsoil, subsoil, non-karstified rocks and karstified rocks in the unsaturated zone.

For this purpose, first the map of effective field capacity (EFC factor) was made. This parameter was calculated based on the pedological maps of the research area, where for each pedological unit estimation of the thickness and grain-size was done (Jemcov [14]). After making the EFC map, assessment of the protective function provided by the soil and the rocks in the unsaturated zone was done.

To determine the protective role of rock masses in the unsaturated zone, scoring was performed according to the type of rock (parameter L) where each L value was multiplied by the parameter F, which determines the degree of cracking or the degree of rock karstification. This product was then multiplied by the thickness of rock in the unsaturated zone.

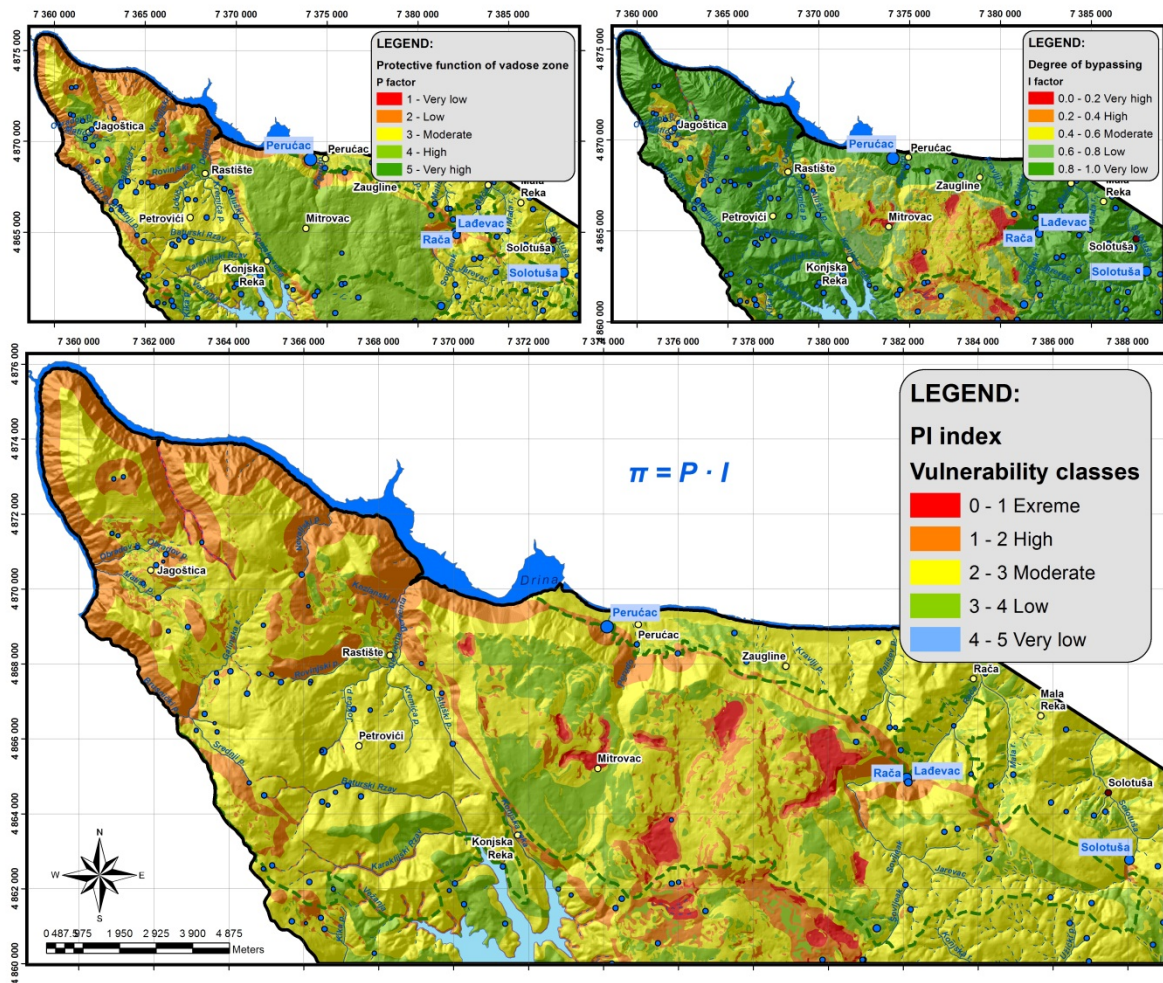
To determine the P factor, it was also necessary to determine the size of the groundwater recharge because based on it the correction factor R, which reduces or increases the protective function of the soil and the vadose zone, was calculated. For recharge estimation, the same methodology as in the DRASTIC method was used. Combining all these parameters final P factor map was obtained.

In determining the I factor it was first necessary to determine the dominant flow of surface water movement. This was done based on the estimated filtration coefficient of the upper part of the soil. To define the direct infiltration conditions it was also necessary to determine the slope and the vegetation of the terrain. The vegetation map was developed based on the satellite image where the terrain was classified into two categories: 1. meadows, pastures and fields and 2. forests. According to the degree of slope, zoning was done into 3 groups. Combining these three parameters I' map was obtained.

For creation of the final I map, it was also necessary to create the map of catchment areas. Ponor zones and zones with different distance from the ponors and sinking streams (buffer zones) are isolated on this map. Areas which gravitate towards the karst terrain as well as the areas which represent draining zones outside of karst are also isolated on this map. By combining the I' map and the catchment area map we created the I factor map which shows the degree to which the protective role of the unsaturated zone is bypassed.

Groundwater vulnerability map was created by determining the  $\pi$  factor which was done by multiplying P and I factors in each point of the research area. The resulting map shows general vulnerability and natural protection of groundwater from the highest aquifer. The value of  $\pi$  factor is in the range between 0.0 and 5.0 with high values indicating a high degree of natural protection and low vulnerability (Fig. 3).

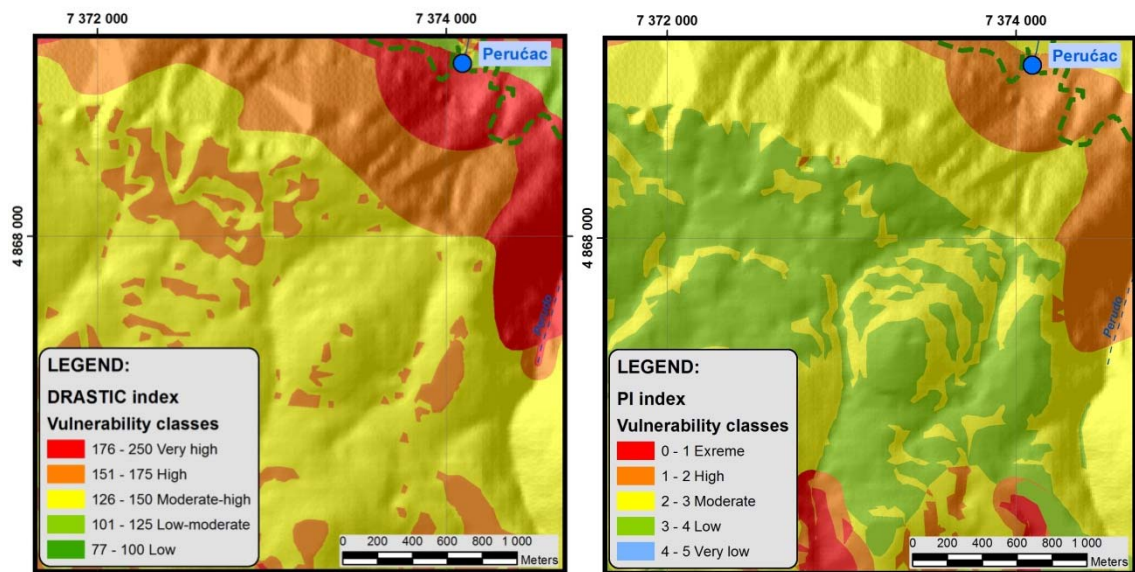




**Figure 3.** The final PI vulnerability map which was made by intersecting the P and the I map

By applying the DRASTIC method a vulnerability map was produced containing different vulnerability classes with equal percentage of participation. Very high vulnerability class covers around 15% of the research area and is mainly distributed in the northwest part of the National park. Moderate and high vulnerability are mainly isolated on the karst plateau around Mitrovac. Low groundwater vulnerability characterizes the biggest part of the research area (44.5%) and it is the most widespread in the areas with developed fissured type of aquifer as well as the terrains made of low permeable rocks.

By applying the PI method a map with the largest part of the terrain (63,4%) belonging to the moderate groundwater vulnerability class was produced. The northwest part of the park is characterized by high vulnerability. Very high vulnerability class which covers only 2.2% is isolated in the zone of ponors and dolines on the karst plateau around Mitrovac. Low vulnerability is also isolated on the karst plateau around Mitrovac, in parts outside the catchment area of ponors, where the groundwater level is deep and where there is clayey soil in surface parts.



**Figure 4.** Difference between vulnerability maps obtained using DRASTIC and PI method for the karst plateau above Perućac karst spring

## CONCLUSION

On the basis of analysis done by applying DRASTIC and PI methods, it can be concluded that the degree of groundwater vulnerability is directly influenced by karst distribution. Zones with very high and high groundwater vulnerability are isolated in these terrains by applying DRASTIC method. However, PI method recognizes low groundwater vulnerability in some parts of karst (the part of the karst plateau above Perućac karst spring) since it pays much more attention to the depth to groundwater level and pedological characteristics of the ground (Fig. 4).

## REFERENCES

- (Vrba and Zaporozec, 1994): Vrba J. and Zaporozec A. (eds.), 1994: Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, International Contributions to Hydrogeology (IAH), 16: 131 p.; Hannover.
- (Gogu and Dassargues, 2000): Gogu R.C. and Dassargues A., 2000: Current trends and future challenges in ground water vulnerability assessment using overly and index methods, *Environmental Geology*, 39(6): 549-559.
- (Aller et al., 1985): Aller L., Bennet T., Lehr J., Petty R., Hackett G., 1985: DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, U.S. EPA, Chicago, Illinois
- (Hamza et al., 2007): Hamza M.H., Added A., Rodriguez R., Abdeljaoued S., Ben Mammou, A.,

The differences in vulnerability maps produced in this way are the result of the fact that PI method is created to take into account specific characteristics of karst terrains. By applying PI method conditions of surface water infiltration are analysed, bearing in mind the existence of ponors and ponor zones as well as the zones gravitating towards them. That explains low vulnerability of some karst terrains outside the catchment areas of ponors. These terrains are characterised with deep groundwater level and thick clayey soil which significantly reduced the infiltration of pollutants from the surface.

- 2007: A GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment in an aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras Jebel-RafRaf aquifer, Northern Tunisia), *Journal of Environmental Management* 84 (2007) 12–19

- (Denny et al., 2007): Denny S.C., Allen D.M., Journeay J.M., 2007: DRASTIC-Fm: a modified vulnerability mapping method for structurally controlled aquifers in the southern Gulf Islands, British Columbia, Canada, *Hydrogeology Journal* 2007-15, 483–493

- (Doerfliger and Zwahlen, 1997): Doerfliger N. and Zwahlen F., 1997: EPIK: A new method for outlining of protection areas in karstic environment, *Karst Waters and Environmental Impacts*, Gunay and Johnson (eds), Balkema, Rotterdam

- (Vias et al., 2006): Vias J.M., Andreo B., Perles M.J., Carrasco F., Vadillo I., Jimenez P., 2006: Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method, *Hydrogeology Journal* 2006-14, 912-925
- (Goldscheider, 2002): Goldscheider N., 2002: Hydrogeology and vulnerability of karst systems – examples from the Northern Alps and Swabian Alb, PhD Thesis (Dissertation), Fakultät für Bio- und Geowissenschaften, University of Karlsruhe, 236 s, Karlsruhe
- (Vias et al., 2005): Vias J.M., Andreo B., Perles M.J., Carrasco F., 2005: A comparative study of four schemes for groundwater vulnerability mapping in a diffuse flow carbonate aquifer under Mediterranean climatic conditions, *Environmental Geology*, 47: 586-595.
- (Ravbar and Goldscheider, 2009): Ravbar N., Goldscheider N., 2009: Comparative application of four methods of groundwater vulnerability mapping in a Slovene karst catchment, *Hydrogeology Journal* 2009-17, 725-733
- (Zwahlen, 2004): Zwahlen F [ed], 2004: Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, COST Action 620, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 297 s.
- (Höltling et al., 1995): Hoelting B, Haertlé T, Hohberger KH, Nachtigall KH, Villinger E, Weinzierl W, Wrobel JP (1995) Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung, *Geol.Jb.*, C, 63, p. 5–24, Hannover (Concept for the Determination of the Protective Effectiveness of the Cover above the Groundwater against Pollution, Ad-hoc Working Group on Hydrogeology, 28 p., Hannover)
- (Olujuć and Karović, 1985): Olujuć J., Karović J., 1985: Base Geological Map at Scale 1:100,000, Sheet Visegrad (in Serbian). Saveznigeološkizavod, Belgrade.
- (Jemcov, 2009): Jemcov I., 2009: Bilans karstnih izdanskih voda i optimizacija rešenja njihovog zahvatanja u primerima iz Srbije, PhD, Faculty of Mining and Geology, Belgrade
- (Živanović, 2011): Živanović, V., 2011: Ocena ranjivosti podzemnih voda od zagađenja u primerima karsta Srbije, Magistarski rad, Faculty of Mining and Geology, Belgrade
- (Piscopo, 2001): Piscopo G., 2001: Groundwater vulnerability map explanatory notes, NSW Department of Land and Water Conservation, Australia

# ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА СУБАРТЕСКИОТ ВОДОНОСНИК ВО СЕЛОТО КРУШЕАНИ – ПРИЛЕП

Војо Мирчовски<sup>1</sup>, Виолета Стефанова<sup>1</sup>, Тена Шијакова-Иванова<sup>1</sup>, Владо Мирчовски<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Факултет за природни и технички науки, Универзитет Гоце Делчев, Штип, vojo.mircovski@ugd.edu.mk

<sup>2</sup>Кадишца Метал Пехчево

## Апстракт

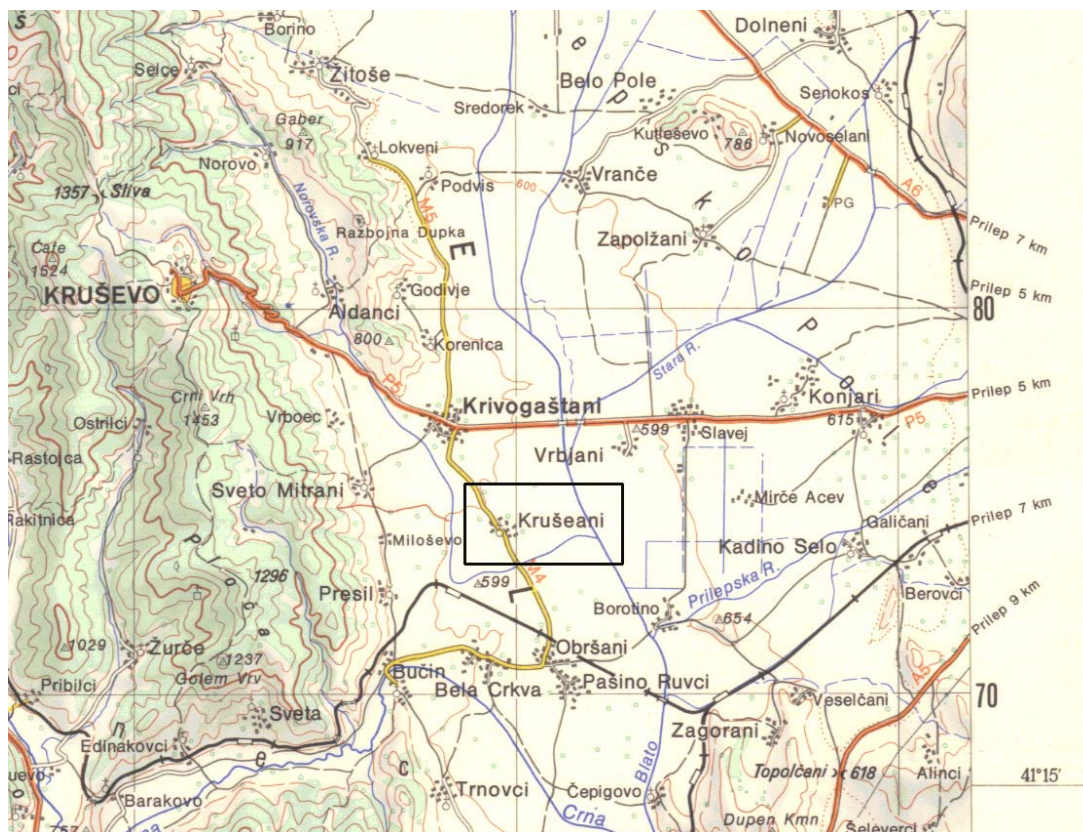
Во овој труд се прикажани резултатите од деталните хидрогеолошки истражувања за минерална вода на локалитетот Крушеани Прилепско. Врз основа на податоците кои се добиени со една истражно експлоатациона дупнатина во селото Крушеани на длабочина од 44.5 – 56 м во плиоценските седименти е констатиран субартески водоносник со минерализирана вода, која содржи одредена количина на јаглероден диоксид (CO<sub>2</sub>). Водоносниот слој е изграден од песок и чакал со прослојци од ситнозрнести заглинети песоци со вкупна дебелина од 11.5 м. Статичкото ниво на подземната вода е на длабочина од 2 м од површината на теренот.

**Клучни зборови:** субартески водоносник, Крушеани, минерализирана вода, плиоценски седименти

## ВОВЕД

Селото Крушеани се наоѓа во западниот дел на Република Македонија на западниот ободен дел на Прилепската котлина на оддалеченост од 25 км од градот Прилеп (Сл. 1.). Пошироката околина на селото е земјоделско обработливо земјиште кое претставува дел од Прилепската котлина

чија надморска висина се движи до околу 600 м. Во селото Крушеани постојат два артески и еден субартески бунар со минерализирана вода (Сл. 2, 3. и 4) кои се во употреба и укажуваат дека на овој терен постојат субартески и артески водоносни хоризонти.



Слика 1. Географска положба на теренот М 1:200 000



Слика 2. Артески бунар Б-2 во центарот на селото Крушеани.



Слика 3. Субартески бунар Б-3 во центарот на селото Крушеани.



Слика 4. Артески бунар Б-4 во центарот на селото Крушеани.

### ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОШИРОКОТО ПОДРАЧЈЕ

Истражувниот простор претставува дел од Прилепскиот неоген басен кој според тектонската реонизација на Македонија М. Арсовски (1997) со најголемиот свој дел припаѓа на Пелагонискиот хорст антиклинориум, а со сосема мал дел на Западно Македонската зона (југо-западниот дел на басенот).

Во геолошката градба на пошироката околина на селото Крушеани учествуваат прекамбриски, палеозоиски, мезозоиски и квартерни карпи Ракичевиќ Т., и др. (1965). Геолошката градба на пошироката околина на теренот е прикажана на геолошката карта 1:100 000 (Сл. 5).

Прекамбриските карпи се претставени со: гнајсеви (G), графитични микашисти (Smgr), и микашисти (Sm).

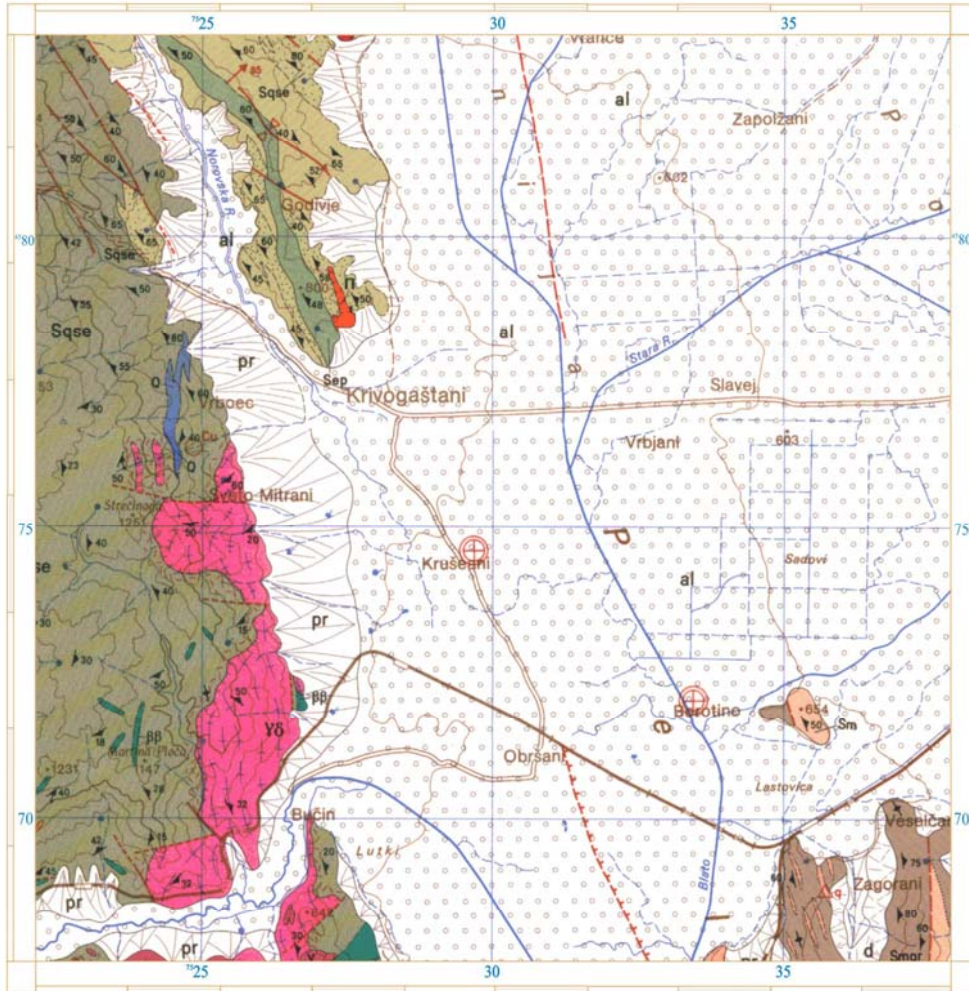
Палеозоикот е изграден од: филити, аргилошисти, аргилофилити и метапесочници (Sqse), дијабази ( $\beta\beta$ ), кварц-серицитски шкрилци и метапесочници (Sqse), метариолити (x), шкрилести гранодиорити, ( $\gamma\delta$ ), алкални гранити ( $\gamma$ ) и кварцити (Q)

Мезозоикот е претставен само со гранитпорфири ( $\pi$ ), а квартерните седименти на површината се претставени со: пролувиум (Pr), делувиум (d) и алувиум (al).

# ГЕОЛОШКА КАРТА

(на пошироката околина на Крушеани)

R 1 : 100 000



## ЛЕГЕНДА

<b>Квартер</b>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">al</td><td>Алувиум</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">pr</td><td>Пролувиум</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d</td><td>Делувиум</td></tr> </table>	al	Алувиум	pr	Пролувиум	d	Делувиум																																			
al	Алувиум																																									
pr	Пролувиум																																									
d	Делувиум																																									
<b>Мезозик</b>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">n</td><td>Гранитопорфир</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">y</td><td>Алкални гранити</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">y</td><td>Леукократен миремекитски гранит</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">yδ</td><td>Шкриласт гранодиорит</td></tr> </table>	n	Гранитопорфир	y	Алкални гранити	y	Леукократен миремекитски гранит	yδ	Шкриласт гранодиорит	<b>Палеозик</b>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">x</td><td>Метариолити</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Sqse</td><td>Кварц - серицитки шкрилци и метапесочници</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ββ</td><td>Метадијабази</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">q</td><td>Кварцити Филити, аргилошисти, аргилофилити, метапесочници, метаморфни конгломерати</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Sm</td><td>Микашести</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Smgr</td><td>Графитски микашести</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</td><td>Гнајсеви</td></tr> </table>	x	Метариолити	Sqse	Кварц - серицитки шкрилци и метапесочници	ββ	Метадијабази	q	Кварцити Филити, аргилошисти, аргилофилити, метапесочници, метаморфни конгломерати	Sm	Микашести	Smgr	Графитски микашести	G	Гнајсеви	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px;"></td><td>Нормална граница: утврдена и покрена</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black; width: 20px;"></td><td>Постепен преод: утврден и покрен</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px;"></td><td>Ерозивна граница утврдена</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px;"></td><td>Пробив на магматско тело: утврдено</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px;"></td><td>Елементи на падот на фолијацијата.</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px;"></td><td>Оска на антиклинала и синклинала</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px;"></td><td>Расед - утврден и претпоставен</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px;"></td><td>Чело на лушпа: претпоставено</td></tr> </table>		Нормална граница: утврдена и покрена		Постепен преод: утврден и покрен		Ерозивна граница утврдена		Пробив на магматско тело: утврдено		Елементи на падот на фолијацијата.		Оска на антиклинала и синклинала		Расед - утврден и претпоставен		Чело на лушпа: претпоставено
n	Гранитопорфир																																									
y	Алкални гранити																																									
y	Леукократен миремекитски гранит																																									
yδ	Шкриласт гранодиорит																																									
x	Метариолити																																									
Sqse	Кварц - серицитки шкрилци и метапесочници																																									
ββ	Метадијабази																																									
q	Кварцити Филити, аргилошисти, аргилофилити, метапесочници, метаморфни конгломерати																																									
Sm	Микашести																																									
Smgr	Графитски микашести																																									
G	Гнајсеви																																									
	Нормална граница: утврдена и покрена																																									
	Постепен преод: утврден и покрен																																									
	Ерозивна граница утврдена																																									
	Пробив на магматско тело: утврдено																																									
	Елементи на падот на фолијацијата.																																									
	Оска на антиклинала и синклинала																																									
	Расед - утврден и претпоставен																																									
	Чело на лушпа: претпоставено																																									
<b>Прекамбриум</b>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Smgr</td><td>Графитски микашести</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</td><td>Гнајсеви</td></tr> </table>	Smgr	Графитски микашести	G	Гнајсеви																																					
Smgr	Графитски микашести																																									
G	Гнајсеви																																									

ПРИЛОГ - 4

Слика. 5 Геолошка карта на пошироката околина на селото Крушеани

## ХИДРОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА

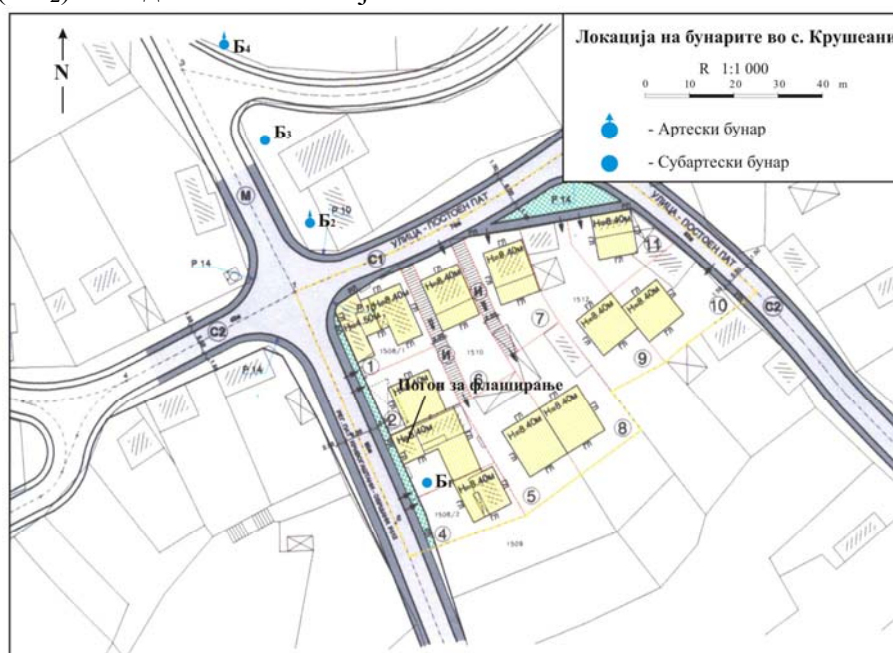
За искористување на подземните артеско – субартески вода од локалитетот Крушеани како вода за пакување беше изработена една истражно експлоатациона дупнатина Б-1 со длабина од 56.9 м, која се наоѓа во населениот простор од селото Крушеани (Сл.6). Дупнатина Б-1 се наоѓа на растојание од 60 m од артескиот бунар Б-2, 80 m од субартескиот бунар Б-3 и на 100 m од вториот артески бунар Б-4 (Сл.6).

Со истражно експлоатационата дупнатина Б-1 е утврден еден субартески водоносен слој со природно газирани минерализирана вода која содржи одредена количина на јаглероден диоксид (CO<sub>2</sub>). Водоносниот слој се

наоѓа на длабина од 44.5 – 56 м, а е изграден од песок и чакал со прослојци од ситнозрнести заглинети песоци. Вкупната дебелина на водоносниот слој изнесува 11.5 м. Статичкото ниво на подземната вода се наоѓа на длабина од 2 м од површината на теренот.

Хидрогеолошко – литолошкиот профил и техничките карактеристики на истражно - експлоатационата дупнатина Б-1 се прикажани на (Сл.7).

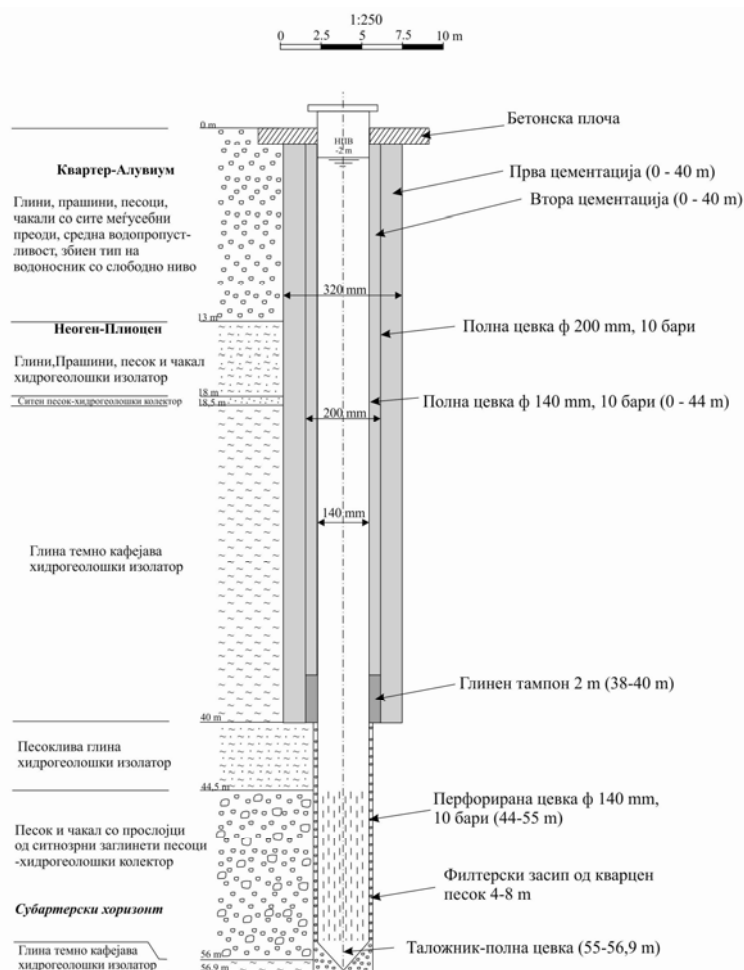
Описот на литолошко-хидрогеолошки профил на истражно – експлоатационата дупнатина Б-1 е прикажан во таб. 1.



Слика 6. Локација на субартеските и артеските бунари во селото Крушеани

Табела 1. Литолошко-хидрогеолошки профил на истражно – експлоатационата дупнатина Б-1 на локалитетот с. Крушеани - Кривогаштани.

Од (m)	До (m)	Опис на геолошкиот материјал
0	13	<b>Квартер-алувиум:</b> глини, прадини, песоци, чакали со сите меѓусебни преоди (колектор, средна водопронетливост, збиен тип на водоносник со слободно ниво)
13	18	<b>Неоген-Плиоцен:</b> глини и прашина ( хидрогеолошки изолатор)
18	18.5	Ситен песок (хидрогеолошки колектор, добра водопронетливост)
18.5	40	Глина (хидрогеолошки изолатор)
40	44.5	Песоклива глина (хидрогеолошки изолатор, слаба водопронетливост)
44.5	56	Песок и чакал со прослојци од ситнозрнести слабо заглинети песоци (хидрогеолошки колектор, добра водопронетливост) <b>субартески слој</b>
56	56.9	Глина (хидрогеолошки изолатор)



Слика 7. Хидрогеолошко-литолошки профил и технички карактеристики на експлоатационата дупнатина Б-1.

## ПРЕСМЕТКА НА ХИДРОГЕОЛОШКИТЕ ПАРАМЕТРИ

Пресметувањето на хидрогеолошките параметри за дупнатината Б -1 е направено врз основа на добиените податоци од нејзиното пробно тестирање. Пробното тестирање е вршено се три различни капацитети со вкупно времетраење од 24 ч. односно со времетраење по 8 часа за секој капацитет. Добиените резултати од пробното тестирање се прикажани на табела 2.

Табела 2. Податоци од пробното црпење

НПВ Статич. (m)	НПВ Динам. (m)	Капац Q (l/s)	Депресија S (m)	време на тестирање t (h)
2	8.75	1	6.75	8
2	14	1.5	12.00	8
2	20.3	2	18.3	8

Коефициентот на водопроводноста е пресметан преку дијаграмот  $S = f(\log t)$  и формулата:

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{S_2 - S_1} \cdot \log \frac{t_2}{t_1}$$

$$T = 1.35 \cdot 10^{-4} m^2 / s \text{ или } T = 11.664 m^2 / den$$

Коефициентот на филтрација  $K$  (m/s) е одреден од односот помеѓу коефициентот на водопроводноста и вкупната моќност на водоносната средина која е зафатена со дупнатината:

$$K = \frac{T}{M}$$

$T = 1.35 \cdot 10^{-4} m^2 / s$  - коефициент на водопроводност  
 $M = 11.5 m$  - вкупна моќност на водоносната средина

$$K = 1.174 \cdot 10^{-5} m / s$$

$$K = 1.015 m / den$$

Врз основа на резултатите добиени од тестирањето на дупнатината и хидрогеолошките карактеристики на литолошките членови, е одреден и оптималниот и максималниот капацитет на дупнатината:

$$S_{opt} = \frac{H}{3}$$

$H = 54.9 m$  - дебелина на водениот столб во дупнатината

$$S_{opt} = 18.3 m$$

$$Q_{opt} = 2.00 l / s$$



Максималниот капацитет се однесува на работење на дупнатината во критични периоди (за време на долготрајни суши), а не се препорачува да работи постојано:

$$S_{\max} = \frac{H}{2}$$

$$H = 54.9 \text{ м}$$

$$S_{\max} = 27.45 \text{ м}$$

$$Q_{\max} = 2.6 \text{ l/s}$$

Бидејќи бо близина на дупнатината Б-1 се наоѓаат и други артеско-субартески бунари извршено е пресметка и на радиусот на влијание со цел да се види дали при експлоатација таа ќе има влијание врз соседните бунари. Радиусот на влијание на експлоатацијата е пресметан според два автори при што се добиени следните резултати: според формулата на Šulc-veber

$$R = 74 \sqrt{\frac{6HKT}{\mu}}$$

$$R = 74 \sqrt{\frac{6 \cdot 11.5 \cdot 0.000011743 \cdot 24}{0.1}}$$

$$R = 33 \text{ м}$$

H - дебелина на водоносниот слој во метри (м)  
K - коефициент на филтрација m/s  
T - време од почетокот на црпење до моментот на воспоставувањето на нивото (24 часа)  
μ - Специфична издашност (се движи од 0.1-0.3)

Според формулата на Кусакин:

$$R = 47 \sqrt{\frac{6HKT}{\mu}}$$

$$R = 47 \sqrt{\frac{6 \cdot 11.5 \cdot 0.000011743 \cdot 24}{0.1}}$$

$$R = 21 \text{ м}$$

Радиусот на влијание при експлоатацијата со оптималниот капацитет на црпење од Q= 2 l/s се движи во границите од 21 - 33 м. Дупнатината Б-1 нема влијание на останатите околни водозафатни објекти во селото бидејќи нејзиното максимално влијание при црпењето е до 33 м, а најблискиот бунар се наоѓа на растојание од 60 м.

## КВАЛИТЕТ НА ВОДАТА

Квалитетот на водата од дупнатината Б-1 е одредуван во Републичкиот завод за здравствена заштита со две анализи. Од анализираниите елементи единствено манганот покажува поголеми содржини од максимално дозволените концентрации според правилникот за квалитетот на минералните води. Според вредноста на рН која се движи

во рамките од од 6.230 - 6.54 оваа вода спаѓа во групата на неутрални води а според сувиот остаток на испарување кој се движи од 1480 мг/л во едната анализа до 1532 мг/л во другата анализа спаѓа во групата на минерализирани води.

## ЗАКЛУЧОК

Со изработената истражно – експлоатациона дупнатина во селото Крушеани во плиоценските седименти на длабина од 44.5–56 м. е утврден еден субартески водоносен слој со минерализирана вода, која содржи одредена количина на јаглероден диоксид (CO<sub>2</sub>). Водоносниот слој е со дебелина од 11.5 м а е изграден од песок и чакал со прослојци од ситнозрнести заглинети песоци. Статичкото ниво на подземната вода е на длабочина од 2 м.

Оптималниот капацитет на црпење на дупнатината е Q<sub>опт.</sub> = 2 l/s при оптимално снижување од S<sub>опт.</sub> 18.3 м, а максималниот капацитет Q<sub>max</sub> = 2.6 l/s. при S<sub>max</sub> = 27.45 м.

## ЛИТЕРАТУРА

- Арсовски М., 1997: Тектоника на Македонија. РГФ - Штип.
- Думуричанов Н., Стојанов Р., Петровски К., 1979: Толкувач на ОГК на лист Крушево во размер 1:100 000.
- Думуричанов Н., Стојанов Р., Петровски К., 1979: Толкувач на основната геолошка карта на Република Македонија, лист Крушево 1:100 000.
- Илијовски З., Лончар И., Пешовска С., 2000: Толкувач на ОХГК лист Крушево 1:100 000.
- Илијовски З., Лончар И. 1992 - 1999: Основна хидрогеолошка карта на Р. Македонија, лист Крушево. Градежен Институт Македонија Скопје.
- Карајовановиќ М., Ивановски Т., 1979: Толкувач на ОГК на лист Битола во размер 1:100 000.
- Мираковски Г., Алексовски Д., и други., 1996: Извештај за хидрогеолошките истражувања на подземните води во Пелагонија - Прилепско Поле.
- Мирчовски В., Баара Н., В. Стефанова, 2011: Елаборат за резултатите од деталните геолошки истражувања на минерална суровина подземна вода на локалитетот село Крушеани Општина - Кривогаштани
- Ракичевиќ Т., Стојанов Р., Арсовски М., 1965: Толкувач на ОГК на лист Прилеп во размер 1:100 000.
- Филиповиќ Б., 1980: Методика хидрогеолошких истражувања. Рударско – геолошки факултет Београд. Научна књига Београд.

# МАЛИ ВОДИ НА КАРСТНИОТ ИЗВОР СТУДЕНЧИЦА

Атанас Угрински<sup>1</sup>, Војо Мирчовски<sup>2</sup>, Гоше Петров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Управа за хидрометеоролошки работи на Република Македонија a.ugrinski@gmail.com

<sup>2</sup>Факултет за природни и технички науки, Универзитет Гоце Делчев, Штип, vojo.mircovski@ugd.edu.mk

## Абстракт

Во овој труд е извршена анализа на малите води на карстниот извор, при што се користени податоци од хидролошките станици долж течението на р.Студенчица.

По изградбата на регионалниот водовод “Студенчица” во 1981 год. кон крајот на осумдесетите години настани сушен период со особено сушните години 1988, 1989 и посебно 1990 година. Продолжениот сушен период резултираше со екстремно намалување на протекот во текот на 1990 год. со појава на екстремно низок протек на изворот измерен на 20.10.1990 год. од  $Q_{\min}=0,372 \text{ m}^3/\text{s}$ . Градовите Прилеп, Кичево, Македонски Брод и околните села во тој период се соочија со екстреман недостаток на вода, рестрикции и реакции на населението.

**Клучни зборови:** карстен извор, Студенчица, водоснабдување, мали води, хидролошки податоци

## ВОВЕД

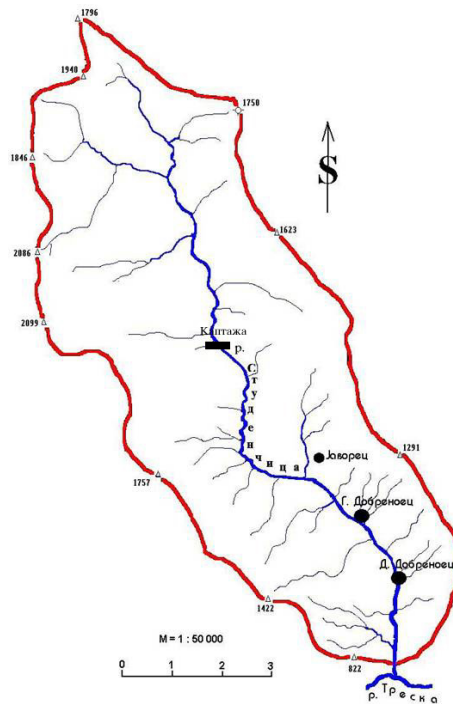
Дефинирањето на малите води на карстниот извор Студенчица и низводните профили е од исклучителна важност од причина што од водите на изворот се врши водоснабдување на повеќе од 100 000 жители во градовите Прилеп, Кичево, Македонски Брод, Крушево, околните села и ТЕЦ Осломеј. Во минатото во повеќе наврати доаѓало до кризи во регионот поради недоволните количини на вода во изворот. Месното население било иритирано од недостигот на вода и оправдано барало решение за настанатите тешки ситуации. Определувањето на малите води на изворот е од огромно значење за водоснабдувањето на населените места. Познавањето на карактеристиките на режимот на малите води на р.Студенчица е од посебно значење за зачувување и заштита на нејзините води, во смисла на тоа дека речните води не смеа да се деградираат ниту хемиски ниту биолошки до критичен степен кога повеќе не би можеле да се користат во различните

сектори на живеење. Посебно треба да се истакне фактот дека во услови на мали води водотекот има најмала способност за разредување и транспорт на течните и други загадувачки материи.

Изворот „Студенчица“ се наоѓа на источната страна на планината „Бистра“ на надморска висина од 965m, 4-5 километри возводно од с.Горни Добреневоц, општина Другово (Сл.1). Координатите на изворот се  $41^{\circ} 28' 52''$  северна географска ширина и  $20^{\circ} 53' 46''$  источна географска должина. Географската сливна површина на реката „Студенчица“ заклучно до изворот изнесува  $22.4 \text{ km}^2$  (Сл.2), но како и други карстни извори „Студенчица“ се прихранува и од соседните сливни подрачја, односно има долги патишта на прихранување.



Слика 1. Географска положба на карстниот извор Студенчица, ● - Каптажа

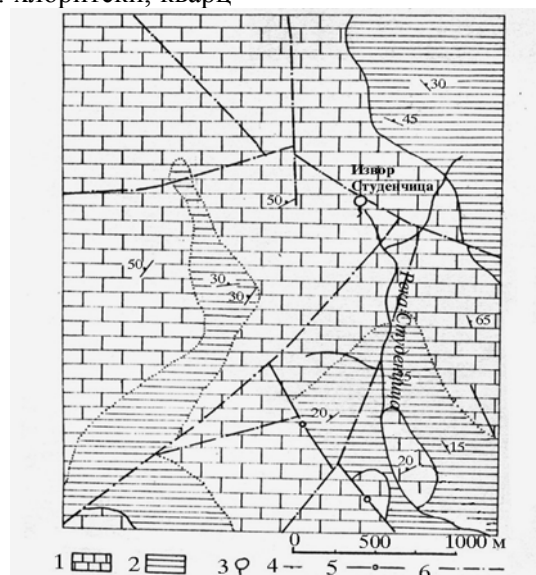


Слика 2. Топографско сливно подрачје на р.Студенчица

### ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ПОТЕСНАТА ОКОЛИНА НА КАРСТНИОТ ИЗВОР СТУДЕНЧИЦА

Во геолошката градба на потесната околина на карстниот извор Студенчица учествуваат девонски плочести мермери и мермеризирани варовници, филоитоиди претставени со: филити, аргилошисти, метапесочници и конгломерати и зелени шкрилци претставени со : хлоритски, кварц

– хлорит - серицитски и епидот амфиболски шкрилци (Сл. 3). Карстниот извор Студенчица истекува од карстен водоносник кој е формиран во девонски плочести мермери и мермеризирани варовници (Сл.3).



Слика 3. Геолошка карта на потесната околина на карстниот извор Студенчица. ДЕВОН: 1.Плочести мермери и мермеризирани варовници 2.Филоитоиди (филити, аргилошисти, метапесочници и конгломерати), Зелени шкрилци (хлоритски, кварц-хлорит-серицитски и епидот амфиболитски шкрилци); 3.извор Студенчица; 4.Елементи на падот на слојот; 5.Расед; 6.Фотогеолошки расед. Кекиќ А. (1982).

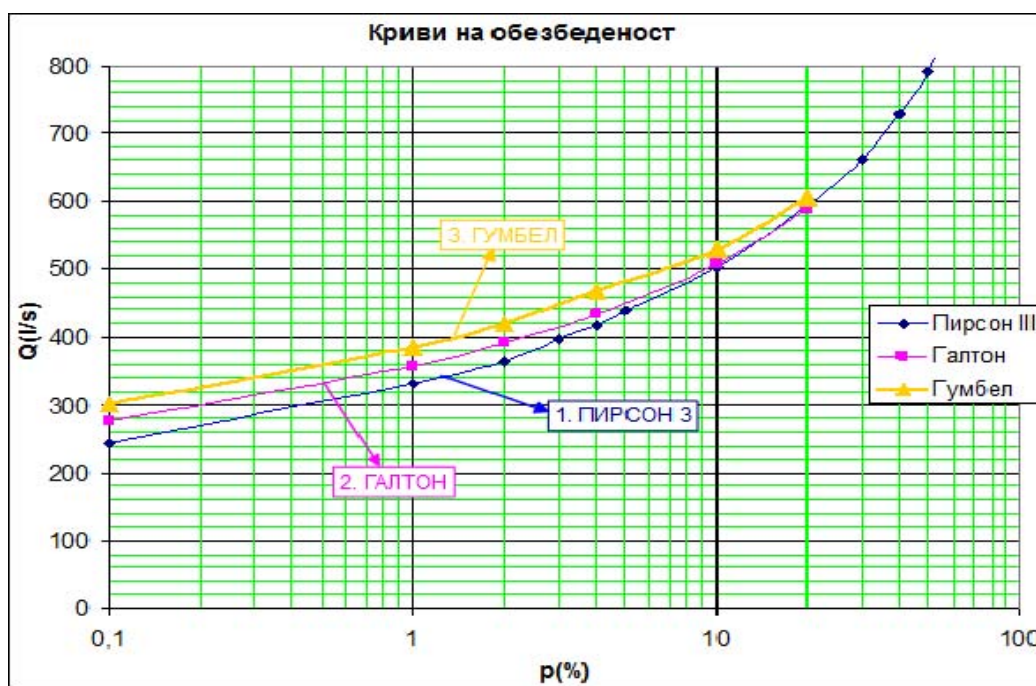
## ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА МАЛИТЕ ВОДИ НА Р.СТУДЕНЧИЦА – КАПТАЖА

За веројатностните или статистички методи често се користи и терминологијата стохастички методи. Овие податоци базираат на користење на историски податоци за регистрирани мерени мали води. Со примена на законите од математичката статистика и теоријата на веројатност, се определува линијата на веројатност на појава на малите води. Од оваа линија, можат да се дефинираат малите води за било кој период на повторување. Во овој труд е извршена анализа на малите води по статистички методи користејќи ги годишните минимума на протекот за период 1981 – 2010 година, односно за периодот после изградбата на регионалниот водовод. Податоците за периодот 1993 – 2010 се земени од ЈП Студенчица, додека периодот 1981 – 1992 е добиен врз основа на големиот број на хидрометрички мерења на протекот. Овие мерења, како што беше предходно истакнато, извршувани се во критичните состојби со издашноста на изворот, особено во периодите август – ноември. На тој

начин можно е формирање на низа од 30 години за годишните минимални протечи на изворот која ќе се искористи за пресметување на обезбеденоста на минималните води. Користени се неколку функции на обезбеденост на малите води (Пирсон III, Галтон, Гумбел), како и емпириската функција на Чегодаев. Најдобро прилагодување на емпириската функција покажа теоретската функција Пирсон III, која е усвоена како меродавна за дефинирање на малите води со веројатност на појава на секои 5, 10, 25, 50 и 100 години. Пресметката на обезбеденоста на малите води е прикажана табеларно во табела 1. и графички на слика 4. Од Слика 4. може да се забележи дека стогодишната мала вода е определена на  $Q_{1\%} = 0,332\text{m}^3/\text{s}$ , додека педесетгодишната мала вода изнесува  $Q_{2\%} = 0,348\text{ m}^3/\text{s}$ . Со оглед на тоа дека апсолутниот измерен минамелен протек изнесува  $Q = 0,372\text{ m}^3/\text{s}$ , тоа приближно одговара на педесет годишна мала вода.

**Табела 1.** Пресметка на малите води за различни функции на обезбеденост

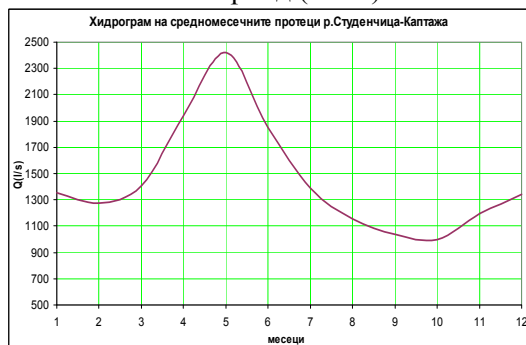
T(години)	1000	100	50	25	10	5
p(%)	0.1	1	2	4	10	20
Galton	276 (l/s)	351 (l/s)	392 (l/s)	434 (l/s)	508 (l/s)	589 (l/s)
Gumbel	300 (l/s)	384 (l/s)	419 (l/s)	467 (l/s)	529 (l/s)	604 (l/s)
Pirson 3	242 (l/s)	332 (l/s)	348 (l/s)	316 (l/s)	416 (l/s)	438 (l/s)



**Слика 4.** Криви на обезбеденост на малите води на изворот Студенчица

## РЕЖИМ И КАРАКТЕРИСТИКИ НА МАЛИТЕ ВОДИ НА Р.СТУДЕНЧИЦА

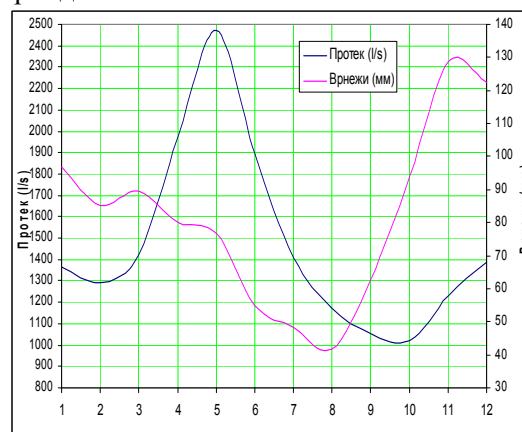
На профилот Каптажа на р.Студенчица (како и на сите природни водотеци во Р.Македонија каде човекот не врши вештачко влијание на истекувањето), најчесто се јавуваат два маловодни периоди, и тоа во зимскиот период и во летно-есенскиот период (Сл 5.).



Слика 5. Зимски и летен минимум на изворот Студенчица

Есенскиот минимум се јавува претежно во месец октомври како последица на топли и сушни периоди, кога доаѓа до празнење на подземните резерви кои го прихрануваат изворот, и на тој начин издашноста на изворот перманентно опаѓа со интензитет од  $1 \div 3$  л/сек/ден. Поретко минималната издашноост на изворот се јавува кон крајот на септември или почетокот на ноември. Најчесто во декември се забележуваат поинтензивни врнежи кои го спречуваат падот на издашноста, и ја подобруваат хидролошката состојба во регионот. Меѓутоа, секогаш при вакви случаи кога минималната издашноост се појавува во октомври или најкасно во месец ноември, како непишано правило следната година се забележува “зимски минимум” со приближно слична вредност во периодот јануари – март. Помеѓу овие два минимума се јавува период од забележително зголемување на издашноста на изворот. Поретки се случаите кога имаме каснење на есенскиот минимум кој се јавува во месец декември, или во почетокот на јануари. Во такви случаи минимумот обично нема свој “двојник” во наредната година, односно издашноста на изворот започнува да се зголемува почнувајќи од појавата на апсолутниот минимум, па во текот на целиот период до крајот на месец јуни. Вакви појави, на закасет минимум на издашноста, настапуваат како последица од одсуство на врнежите во летниот и есенскиот период. Падот на издашноста започнува обично во месец јули

и перманентно опаѓа се до декември, до појавата на првите врнежи од дожд и снег (Сл.6). Во низите на директно истражните години, од хидролошки аспект на изворот “Студенчица”, резултатите за минималната издашноост на изворот како апсолутна појава во текот на годишниот циклус, покрај тоа што се јавуваат во слични и зачестени форми, исклучително се зависни од предходниот период.

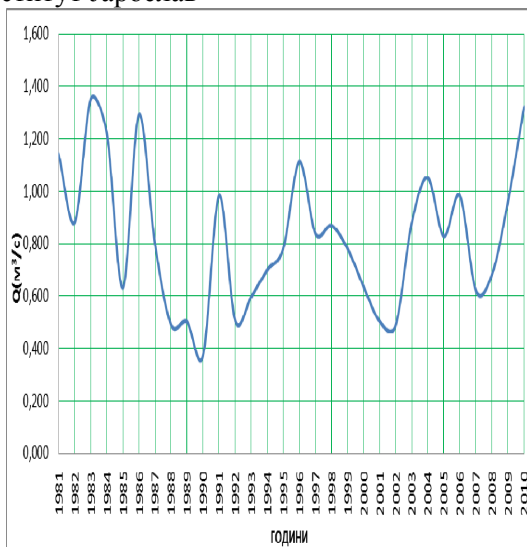


Слика 6. Месечен распоред на протекот и врнежите

На пример годините кои имаат последователно долги сушни периоди, предизвикуваат долготрајни мали издашности на изворот со константен и не така голем тренд на опаѓање на издашноста. Таков е примерот со 2000/1 г. Трендот на опаѓање за овие две години за период септември – декември изнесува од  $2.2 \div 2.5$  л/сек, за разлика од 1994 кога во истиот период септември-декември изворот опаѓа по  $5.5$  л/с. Апсолутно најмал регистриран протек на изворот “Студенчица” од  $Q = 372$  л/с, е забележан во октомври 1990, и овој податок фигурира и како апсолутен минимален протек на изворот за период од 50 години наназад. Меѓутоа, со оглед на фактот дека изворот имаше тренд на опаѓање и после ова мерење од 19.10.1990 г, а познато е дека не се вршело перманентно следење на издашноста на изворот, постојат одредени показатели дека издашноста на изворот се намалила на  $330$  л/с, и тоа во периодот околу 01.11.1990 г, откога се забележуваат првите врнежи од дожд после долг сушен период. Сепак податокот за минималниот протек од  $Q=372$  л/с може да се смета како реален, бидејќи со овие мерења не се опфатени додатните води кои излегувале низводно од профилот каде се извршувани мерењата.

## АНАЛИЗА НА МАЛИТЕ ВОДИ НА Р.СТУДЕНЧИЦА

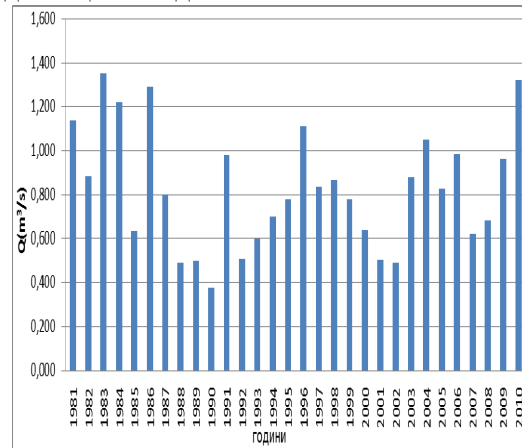
Во истражниот период во, седумдесетите години на минатиот век, кои беа повлажни, најмалиот измерен проток во профилот на каптажата бил  $Q=0,905 \text{ m}^3/\text{s}$  и тој протек е земен некритички како долна граница на протекот. По изградбата на регионалниот водовод “Студенчица” во 1981 год. кон крајот на осумдесетите години настани сушен период со особено сушните 1988, 1989 и посебно 1990 година. Продолжениот сушен период резултираше со екстремно намалување на протекот во текот на 1990 год. со појава на екстреман протек измерен на 20.10.1990 год. од  $Q_{\min}=0,372 \text{ m}^3/\text{s}$ . Градовите Прилеп, Кичево, Македонски Брод и околните села се соочија со екстреман недостаток на вода, рестрикции, реакции на населението што доби дури и политички конотации (слично на Вевчанскиот случај). На Сл.7 и Сл.8 се прикажани минималните годишни протекувања на изворот Студенчица за периодот после изградбата на системот за водоснабдување, односно периодот 1981– 2010. Во 1990 беше побарана и соработка со Хидротехничкиот институт Јарослав



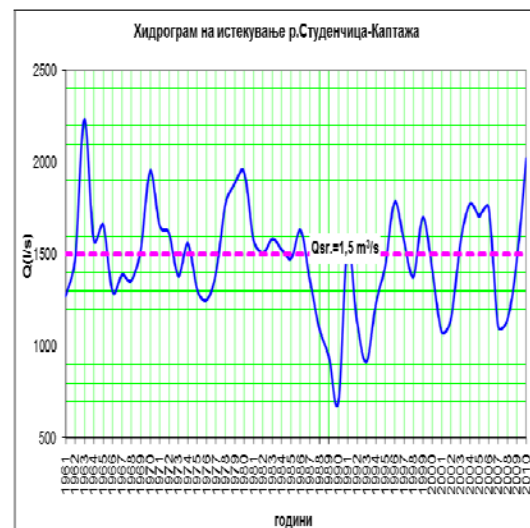
**Слика 7.** Минимални годишни протечи на изворот Студенчица за период 1981 – 2010 година

Од дијаграмот јасно може да се забележи дека годините 1988 и 1989 се изразито сушни за апсолутно најмалиот минимум да се забележи во 1990 година која се појавува како најсушна во целиот период, воедно и како резултат на тие две последователно сушни години. Истото тоа може да се забележи и од дијаграмите за средно-

годишните протечи на изворот Студенчица за период 1961 – 2010 година се прикажани на Сл.9. и Сл.10. Минималниот протек на вода во 1990 год. укажа на тоа дека малите води на р.Студенчица не се целосно и соодветно анализирани. Черни од Белград кој изврши хидраулички контроли на системот, евентуалните можни загуби на вода во цевководите и.т.н.

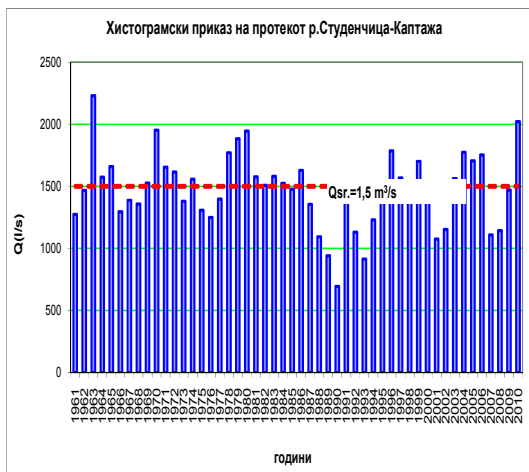


**Слика 8.** Хистограмски приказ на минималните годишни протекувања на изворот Студенчица за период 1981 – 2010 година



**Слика 9.** Средногодишни проточи на изворот Студенчица за период 1961 – 2010 година

Се појавија и проблемите со месното население на Горни и Долни Добреноец каде водотекот беше целосно пресушен. Населението оправдано негодуваше на оваа појава условена од зафаќањето на водата од каптажата и бараше решение на новонастанатите проблеми. Беше јасно укажано од потребата да при маловодие количините на вода да се дополнат од нови изворишни места во близината на регионалниот водовод.



**Слика 10.** Хистограмски приказ на средногодишните протечи на изворот Студенчица за период 1961 – 2010 година

Беа извршени истраги на изворот Питран кај с.Дворци и била направена Студија за водотеките од изворниот дел на р.Треска од страна на хидролошката служба на УХМР, но без конкретна изведба на изработените проекти. Во подоцнежниот период екстреман зимски минимален протек бил регистриран во текот на Јануари 2002 год. кога протечните количини во каптажата паднале под границата од  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  со слични последици но во помала мерка од случајот во 1990 година. Праксата во користењето на регионалниот водовод Студенчица укажала на можноста од појава на маловодие најчесто во рана есен или зимско маловодие во текот на месец Јануари кога поради ниските температури и замрзнувањето на почвата бил намален дотекот на вода од подземните водоносници. Појавите на маловодие од 1990 год. до денес укажуваа на јасната потреба од поцелосна и потемелна анализа на малите води и причините за нивната појава.

## ЗАКЛУЧОК

Анализата на малите води на карстниот извор Студенчица укажува на следните заклучоци и констатации:

- И есенските и зимските појави на маловодие се јавиле по предходно појавени две или три последователно сушни години.
- Евидентирана е намалена количина на врнежи во сушниот период која отстапува и повеќе од 40-50 % од просечните врнежи во регионот.
- Од клучна важност за појава на маловодие се паднатите снежни врнежи во сливот на р.Студенчица. Евидентирани се значително помали врнежи од снег во периодите на

маловодие. Снежниот покривач со постепено топење и инфилтрација во подземјето го одржува површинскиот протек продолжено се до летните месеци

- Кај зимските минимуми се регистрирани многу ниски температури на воздухот при што со замрзнување на почвата до извесна длабочина е спречено (успорено) површинското истекување на водата
- За целосно обновување на водните ресурси на изворот е потребен истиот временски период колку што предходел сушниот период, односно 2-3 години
- Од голема важност е временскиот и просторниот распоред на врнежите. Можна е појава на маловодие и при просечно влажна година доколку врнежите не се временски и просторно рамномерно (правилно) распределени.
- Како што и порано беше нагласено, реката Студенчица како речен ток можеме да ја третираме дури од месноста Казан (каптажата на изворот Студенчица). Во горниот ток на сливот се групирани повеќе изворни зони кои се прихрануваат од подземни води. Значи клучно за режимот на отекување на водите на р.Студенчица е горниот дел од сливот кој е и најмалку изучен од хидрогеолошки аспект. За тоа најдобар показател е коефициентот на истекување како и високиот модул на отекување.
- Р.Студенчица се прихранува со водни количини и од соседните сливни подрачја кои по подземните текови се инфилтрираат во географското сливно подрачје на водотекот до месноста “Казан” од каде се појавуваат како површински води. Во тој поглед р.Студенчица се однесува слично на други карстни извори.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кировски С., Караманолевски З., 1977: Студија за режимот на течење на р.Студенчица, Хидрометеоролошки завод – Скопје.
2. Кировски С., Караманолевски З., 1978: Студија за режимот на течење на р.Студенчица, Хидрометеоролошки завод – Скопје.
3. Кировски С., Караманолевски З., 1979: Студија за режимот на течење на р.Студенчица, Хидрометеоролошки завод – Скопје.
4. Кировски С., Караманолевски З., 1980: Студија за режимот на течење на р.Студенчица, Хидрометеоролошки завод – Скопје.
5. Петковски Љ., 2002: Искористување на водните ресурси.
6. Милевски Ј., 2002: Студија за режимот и загубите на вода по коритото на р.Студенчица.
7. Поповска Ц., 2004: Хидрологија. Градежен факултет Скопје.
8. Ефремовски З., 2008: Хидрогеолошки карактеристики на карстниот извор Студенчица. Дипломска работа. Универзитет “Гоце Делчев” – Штип.

# THERMAL MATURITY OF THE MESOZOIC SEDIMENTS IN THE CENTRAL SOUTHERN PART OF THE MOESIAN PLATFORM

Nikola Botoucharov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Sofia University, 15 Tzar Osvoboditel Bd., 1504 Sofia, Bulgaria, e-mail:botnd@gea.uni-sofia.bg*

## Abstract

The objectives of the study are to outline the thermal maturity variations during Mesozoic and highlight the possible trends according to geodynamic history of the central southern part of the Moesian Platform. More than 120 rock samples were selected from 29 wells for vitrinite reflectance measurements on microscope Leica DMRX with a micro photometer MPV-SP. The stratigraphic scope of the studied deposits are broad and very well defined from Lower Triassic (Scythian) to Lower Cretaceous (Barremian-Aptian). The maturity of the Mesozoic sediments change on a large scale: from immature to postmature stage. The observed trends are result of the complex geodynamic evolution including extensional phases and episodic north directed compression events. The Mesozoic systems show similar thermal history with an increasing maturity to the south toward the Balkan thrust front.

**Key words:** Moesian Platform, Mesozoic, geodynamic evolution, vitrinite reflectance, thermal maturity.

## INTRODUCTION

The thermal maturity of the deposits in addition to source rock quantity and quality are the most important factors for modeling the hydrocarbon generation in basin analysis. The major target of the present paper is the Mesozoic sedimentary section, including all perspective elements for oil and gas exploration in the Northern Bulgaria. Recent studies in the central southern part of the Moesian Platform (Fig. 1), based on modern thermal, geochemical and computational methods, confirmed some of the previous ideas and broadened the frontiers in maturity investigations (Botoucharov [1], [2], [3], [4]; Botoucharov et al. [5]). Most of all the maturity trends are predetermined by the Mesozoic geodynamic development of the area with clearly defined stages of the increased subsidence and episodic compression towards north. The key thermal fingerprints generally point out the extensional processes and thinning of the lithosphere at the end of the Permian-beginning of the Triassic, the end of the Triassic and beginning of the Jurassic. Therefore, the main objectives of the paper are to outline the maturity variations during Mesozoic and state possible trends according to geodynamic history of the study area.

## GEOLOGICAL FRAMEWORK

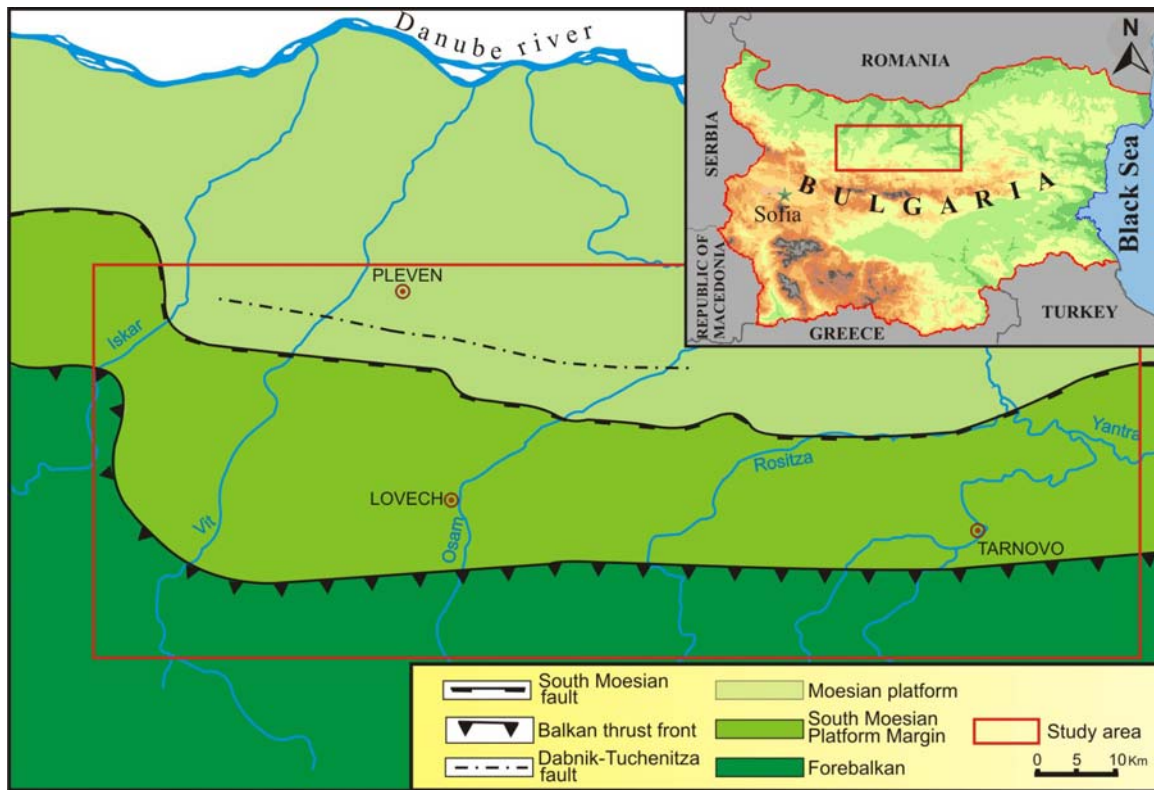
The Moesian platform evolved in the geological setting of the East European continental margin and forms part of northern Peri-Tethian shelf

system (Georgiev and Dabovski [6]). The Northern Bulgaria is occupied dominantly by the southern part of the platform (Fig. 1). The Moesian Platform is composed of relatively undeformed Mesozoic sediments up to 4-6 km thick (Fig. 2). Dabovski et al. [7] announced that the succession rest unconformably upon a gently folded Paleozoic basement and buried beneath Paleogene, Neogene and Quaternary deposits.

The southern part of the Moesian Platform in Bulgaria is presented by the South Moesian Platform Margin. The present-day structure of the Platform Margin is an west-east-trending 20–40 km wide subsided zone, lying between the Balkan thrust front and the southern edge of the Moesian platform, marked by the South Moesian fault (Fig 1). The margin is characterized by a complex south-deepening monoclinial structure.

The Mesozoic–Cenozoic evolution of the southern part of the Moesian Platform was governed by complex geodynamic processes. The region was repeatedly affected by north–south directed intra-continental extensions and failed rifting cycles, during the Late Permian–Early Triassic, the Late Triassic, the Early Jurassic and the Late Cretaceous. These were interrupted and followed by compressional events, which caused strong platform margin shortening (Georgiev and Dabovski [8], Georgiev et al. [9]).





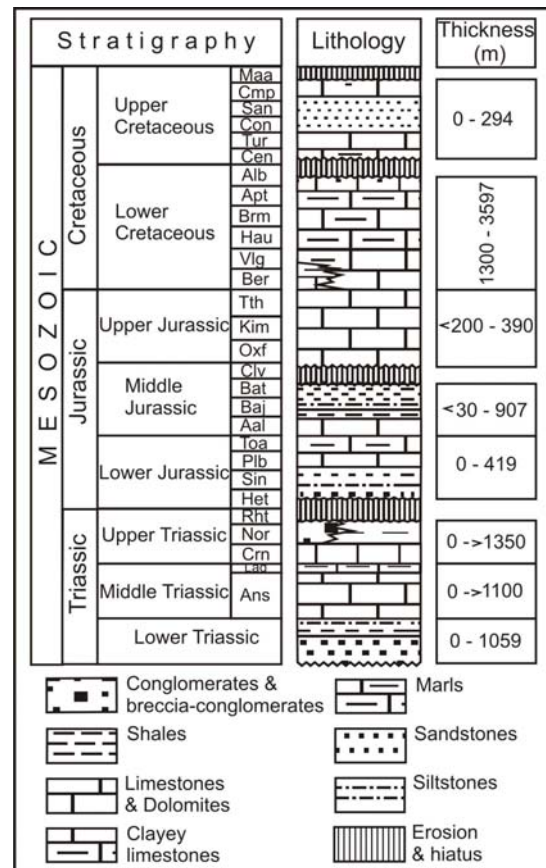
**Figure 1.** Tectonic sketch of Central North Bulgaria with the location of the study area (after Atanasov and Bokov [10]).

Finally, the platform margin was overprinted by the Alpine orogeny. Then the Mid-Cretaceous and Mid-Eocene compression resulted in the formation of the Balkan thrust belt, over the southern edge of the Moesian platform.

## DATA AND METHODS

About 123 Mesozoic rock samples were selected from 29 wells in central part of the South Moesian Platform Margin and adjacent areas. In the most of the cases the well-core samples are used for the study goals with the exception of cuttings in wells R-1 Dragana, R-1 Lukovit, R-2 Beglej, R- Umarevtsi, R-1 Lovech and R-2 Agatovo. The main criterion in selection process was the lithological characteristics of the Mesozoic sediments (Fig. 2).

The dominating part of the deposits specified for the investigation was shales, marls, limestones and clayey limestones or preferably argillaceous and clayey lithotypes. Very decisive was also the microscopic observation in order to locate the vitrinite particles. The order of the observations in monochromatic and non-polarized light followed the standards of Taylor et al. [11].



**Figure 2.** General lithostratigraphic scheme of the Mesozoic rocks in central southern part of the Moesian Platform.

The vitrinite reflectance measurements of the Mesozoic sediments were conducted on microscope Leica DMRX with a micro photometer MPV-SP and wave length 546 nm. We used lenses 50x/0.85 and 100x/1.25 with cedar oil immersion. The microscope calibration procedures, according ISO-7404-5, adapted synthetic garnet standards YAG: 0.89 %Ro and GGG: 1.69 %Ro. Vitrinite reflectance measurements are presented as mean random reflectance values (%Rr=%Ro).

## RESULTS AND DISCUSSION

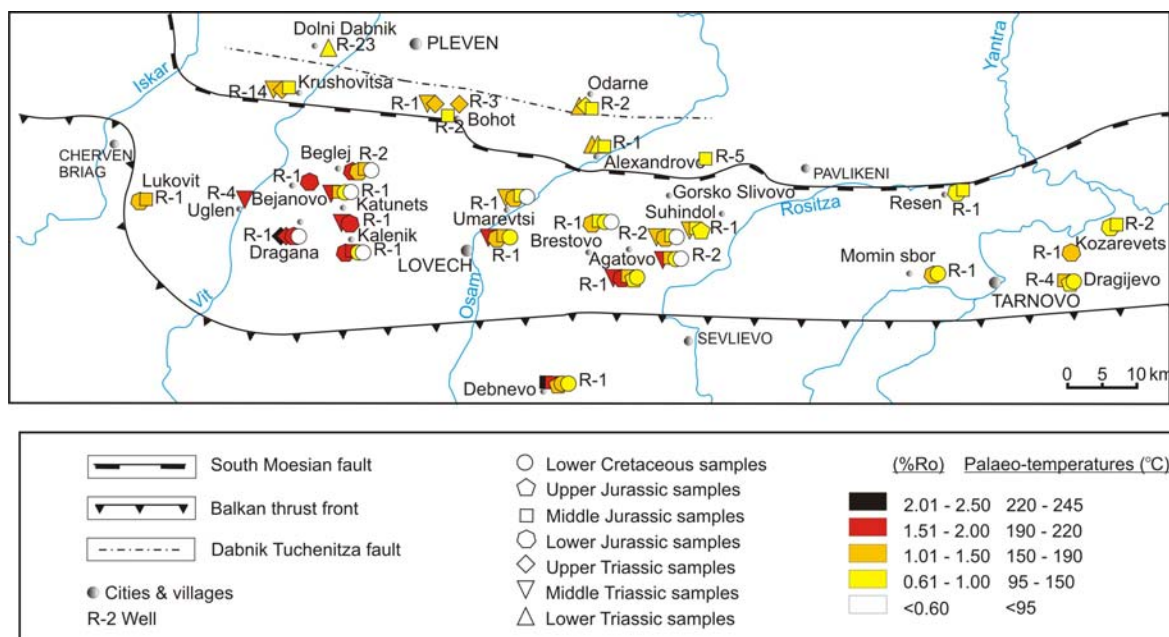
The main goal of the present study above all things is to reconstruct the Mesozoic thermal maturity and calculate the palaeo-temperatures in the investigated territory. It is important to highlight that the Cenozoic development was not essential for the basin subsidence in the study area and will not be discussed in the paper. The final stages in tectonic evolution significantly manifested only outside the study area in Lom Depression and Kamchia basin.

Buntebarth and Stegena [12] state that the priority of the %Ro is exponentially increasing in broad temperature range from 50° to 400°C and being not influenced by the retrograde metamorphism. In the long run %Ro also imprints the highest temperatures reached by the strata during their subsidence in the section. The limestone and clayey limestones in the study prevail over other litho types in well-core samples. Together with the shale and marls they present more than 80% of all samples. All these could be considered as important advantages of the study methods.

The age and stratigraphic scope of the deposits are broad and very well defined (Table 1). The sediments vary from Lower Triassic (Scythian) to Lower Cretaceous (Barremian-Aptian). The number of the Formations is also extensive. Among them Triassic units contains: Stejerovo Fm. (St), Alexandrovo Fm (Al), Doirentsi Fm. (Doi), Mitrovtsi Fm. (Mit), Russinovdel Fm. (Rus), Preslav Fm. (Pr), Gorni Dabnik Fm. (GD), Komshtitsa Fm. (Kom); Jurassic units: Batchiishtene Fm. (Bat), Kostina Fm. (Kos), Ozirovo Fm. (Oz), Etropole Fm. (Et), Bov Fm. (Bov), Polaten Fm. (Pol), Esenitsa Fm. (Es), Plevan Fm. (Pl); and Lower Cretaceous units: Kaspichan Fm. (Kas), Tichan Fm. (Tic), Gornooryahovo Fm. (Gor), Kamchia Fm. (Kam) and Urgon complex or Lovech Urgon group (Ur).

**Table 1.** Representative Mesozoic maturity data of selected well-sections in the study area. The samples are arranged in order of their numbers.

N:	Well	Fm.	Age	Depth (m)	%Ro
2	R-1 Beglej	Mit	T <sub>2</sub> Lad	5062	1.77
2-D	R-1 Beglej	Et	J <sub>2</sub> Baj	4124.5	1.39
3-B	R-1 Dragana	Bat	J <sub>1</sub> Sin	4594.5	1.75
3-C	R-1 Dragana	Kom	T <sub>3</sub> Nor	4974	1.89
3-D	R-1 Dragana	Pr	T <sub>3</sub> Crn	5254.5	2.04
7	R-5 G. Slivovo	Et	J <sub>2</sub> Baj	2354	0.69
9	R-1 Alexandrov	Al	T <sub>1</sub> Scy	3314.5	0.90
12	R-1 Alexandrov	St	T <sub>1</sub> Scy	3657	1.02
13-B	R-2 Odarne	Pr	T <sub>3</sub> Crn	2351	0.66
14	R-14 Krushovit	Pr	T <sub>3</sub> Crn	3984	1.09
15	R-14 Krushovit	Mit	T <sub>2</sub> Lad	4101.5	1.19
25	R-1 Bohot	GD	T <sub>3</sub> Crn	3834	1.05
21	R-1 Bohot	Mit	T <sub>2</sub> Lad	4013.5	1.17
22	R-2 Bohot	Oz	J <sub>2</sub> Aal	3717	0.96
24	R-3 Bohot	Rus	T <sub>3</sub> Crn	3973	1.18
26	R-1 Lukovit	Et	J <sub>2</sub> Baj	4285	1.26
27	R-1 Lukovit	Oz	J <sub>1,2</sub>	4580	1.46
28-A	R-1 Brestovo	Ur	K <sub>1</sub> Apt	618	0.32
29-C	R-2 Beglej	Et	J <sub>2</sub> Baj	3849.7	1.08
29-F	R-2 Beglej	Bat	J <sub>1</sub> He-Sin	4934.2	1.57
31-B	R-1 Kalenik	Ur	K <sub>1</sub> Apt	1283.8	0.59
31-C	R-1 Kalenik	Gor	K <sub>1</sub> Ha-Br	1882	0.76
33	R-1 Kalenik	Oz	J <sub>1</sub> Plb	4642.5	1.84
34	R-1 Umarevtsi	Et	J <sub>2</sub> Baj	3489	0.74
36	R-1 Umarevtsi	Oz	J <sub>1</sub> Plb	3967.5	1.04
38	R-1 Lovech	Oz	J <sub>2</sub> Aal	3893	1.27
39-E	R-1 Agatovo	Bov	J <sub>2</sub> Bth	3599.5	1.36
40-B	R-2 Agatovo	Gor	K <sub>1</sub> Ha-Br	1201	0.54
40-D	R-2 Agatovo	Bov	J <sub>2</sub> Bth	3286	1.03
41-B	R-1 Suhindol	Pl	J <sub>3</sub>	3035	0.74
42-A	R-2 Suhindol	Gor	K <sub>1</sub> Ha-Br	1291.5	0.48
42-D	R-2 Suhindol	Doi	T <sub>2</sub> Ans	3951	1.11
43	R-1 Bejanovo	Bat	J <sub>1</sub> He-Sin	4874	1.65
44	R-1 Kozarevets	Oz	J <sub>1</sub> Pl-Toa	3744	1.29
45-A	R-1 Momin sbor	Kas	K <sub>1</sub> B-Vlg	2441	0.89
46	R-1 Momin sbor	Kos	J <sub>1</sub> He-Plb	4250	1.50
48	R-2 Kozarevets	Es	J <sub>2</sub> Bth	2519	0.81
49	R-2 Kozarevets	Pol	J <sub>2</sub> Baj	2612	0.85
58	R-4 Dragijevo	Tic	J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub> Vlg	2115	0.83
62	R-1 Resen	Et	J <sub>2</sub> Baj	2686	0.79
63	R-1 Resen	Oz	J <sub>1</sub> Pl-Toa	2868.5	0.82
64-A	R-1 Katunets	Bat	J <sub>1</sub> He-Sin	4485	1.65
64-D	R-1 Katunets	Doi	T <sub>2</sub> Ans	5073.5	1.79
66-A	R-1 Debnevo	Kam	K <sub>1</sub> Ha-Br	544	0.71
66-E	R-1 Debnevo	Et	J <sub>2</sub> Baj	3879	1.88



**Figure 3.** Thermal maturity of the measured Mesozoic samples. The palaeo-temperatures (°C) are calculated from %Ro after formula of Barker [13].

The general trends of the Mesozoic thermal maturity in study area and adjacent territories in the Moesian Platform and Forebalkan could be revealed from Table 1 and Figure 3. It is worth mentioning the well data from R-1 Debnevo, localized just south from the Balkan thrust front. Botoucharov [14] consider the vitrinite reflectance measurements (%Ro) as an important tool for evaluating the thermal maturity and temporal and spatial palaeo-temperature variations of the sediments in the region.

The maturity range of the observed sediments change on a large scale: from immature stage (<0.60 %Ro) to overmature or postmature stage (>1.35 %Ro). The thermal maturity, presented by %Ro, gradually increases from Cretaceous towards Triassic deposits in the case of normally stratified layers. The chosen step for vitrinite reflectance (%Ro) variations is 0.50%, which enable a relatively detailed maturity analysis of the studied rocks. Therefore, the vitrinite reflectance correlation between different systems and series is essential. It could be used for tracing the key temporal and spatial maturity trends not only locally, but on large scale as well. Calculated palaeo-temperatures allow following out thermal maturity stages in different zones in the study area during Mesozoic. More over, it is a basement for further model reconstructions of the heat flows. The maturity trends are result from the Mesozoic geodynamic evolution in the South

Moesian Platform Margin with clearly defined stages of the increased subsidence and episodic north directed compression events. The key influence is a consequence of the extensional processes. They have eventually led to at least partial thinning of the lithosphere and introducing hot asthenosphere in the upper parts of the crust. The tectonic development has left important maturity fingerprints at the end of the Permian-beginning of the Triassic, the end of the Triassic and again in the beginning of the Jurassic periods. The significant subsidence and sedimentation during mentioned time spans as well as the lateral heat flow differentiation are essential factors of thermal evolution in the study area. They are “written” on the vitrinite particles recording the highest reached maturity during burial of the sediments.

The analysis of the results from the central southern part of the Moesian Platform point out that the highest thermal coalification from the studied samples demonstrate the Triassic deposits. They are deeply buried in the most subsided southern part of the Moesian Platform. The thermal maturity for the Triassic system follows the regularity of an exponential increase in depths, from north to south and from younger to older sediments.

The rest of the Mesozoic section above the Triassic sediments consists of Lower

Jurassic, Middle Jurassic, Upper Jurassic-Valanginian and Lower Cretaceous rocks (Figure 2 and 3). They characterize the changes of the thermal maturity in the central southern part of the Moesian Platform after the Early Cimmerian compression in Norian-Rhaetian time. The common trend is outlined mainly due to the extension in the beginning of the Jurassic and lately followed by the thrusting movements shortening the southern subsided part of the Moesian Platform. Therefore, the maturity trend confirms not only rifting, but also compression events, which are very well constrained after the Bathian and regionally known as Middle Jurassic and Austrian phases. The foreland formation and deposition of the significant sedimentary material influenced the subsidence, the relatively fast burial of the rocks and the entire thermal evolution of the Moesian Platform. The Mesozoic sediments show similar aspects of thermal history with an increasing maturity to the south toward the Balkan thrust front. These maturity alternations are very much consequence of the higher burial rates to the south, but also due to increasing deposit thickness in the same direction.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The author thanks the Leoben University, Austria where vitrinite reflectance measurements (%Ro) were performed. The discussions with H. Chamberski about the Triassic sediments and his friendship are highly acknowledged.

#### REFERENCES

- [1] (Botoucharov, 2005): Botoucharov Nikola, 2005: Tectonic subsidence and petroleum potential of mesozoic sediments in Central South Moesian Platform Margin. *Annuaire de L'Universite de Sofia "St. Kliment Ohridski" Faculte de Geologie et Geographie*, L. 1, Tome 98, 65-86.
- [2] (Botoucharov, 2007 a): Botoucharov Nikola, 2007 a: Sensitivity analysis of the modeled thermal maturity in Beglej-Kalenik area (Central North Bulgaria). In: "7<sup>th</sup> International Scientific Conference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection", Albena, II-6, 1-6.
- [3] (Botoucharov, 2008): Botoucharov Nikola, 2008: Thermal modeling and hydrocarbon generation zones of the Lower-Middle Jurassic sediments in Central South Moesian platform margin. *Bollettino di Geofisica teorica ed applicata*, V. 49, N. 2 supplement, 351-354.
- [4] (Botoucharov, 2009): Botoucharov Nikola, 2009: Rock-Eval methods and applications for representative sediment samples from Central South Moesian Platform Margin. In: "9<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection", Albena, V. I, S. 5, 9, 629-635.
- [5] (Botoucharov et al., 2005): Botoucharov Nikola, Georgiev Georgi, Sachsenhofer Reinhard, 2005: Thermal history of Central South Moesian Platform Margin – implications for hydrocarbon generation. In: "EAGE 67<sup>th</sup> Conference and Exhibition", Madrid, P144, 1-4.
- [6] (Georgiev and Dabovski, 1997): Georgiev Georgi, Dabovski Christo, 1997: Alpine structure and Petroleum Geology of Bulgaria. *Geology and mineral resources*, 8-9, 3-8.
- [7] (Dabovski et al., 2002): Dabovski Christo, Boyanov Ivan, Khrishev Khrischo, Nikolov Todor, Sapunov Ivan, Yanev Y., Zagorchev Ivan, 2002: Structure and Alpine evolution of Bulgaria. *Geologica Balkanica*, 32.2-4, 9-15.
- [8] (Georgiev and Dabovski, 2000): Georgiev Georgi, Dabovski Christo, 2000: Rifting and thrusting in Southern Moesian Platform Margin—implications for petroleum geology. In: "EAGE 62<sup>nd</sup> Conference & Technical Exhibition, SECC", Glasgow, V. 2, 18.
- [9] (Georgiev et al., 2001): Georgiev Georgiev, Dabovski Christo, Stanisheva-Vassileva Gergana, 2001: East Srednogorie–Balkan Rift Zone. In: Ziegler, P.A., Cavazza, W., Robertson, A.H.F. & Crasquin-Soleau, S. (Eds), *Peri-Tethys Memoir 6: Peri-Tethyan Rift/ Wrench Basins and Passive Margins. Memories du Museum National d'Histoire Naturelle*, 186, 259–293.
- [10] (Atanasov and Bokov, 1983): Atanasov A., Bokov P. (eds.), 1983: *Geology and petroleum prospect of Moesian Platform in Central North Bulgaria*. Technica, 286 p.
- [11] (Taylor et al., 1998): Taylor G., Teichmüller M., Davis A., Diessel C., Littke R., Robert P., 1998: *Organic Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 704 p.

[12] (Buntebarth and Stegena, 1986): Buntebarth G., Stegena L. (eds.), 1986: Paleogeothermics, Lecture Notes in Earth Sciences, 5, Springer, Berlin, 234 p.

[13] (Barker, 1988): Barker C., 1988: Geothermics of petroleum systems: Implications for stabilization of kerogen maturation after a geologically brief heating duration at peak temperature. U.S. Geol. Surv. Bull., 1870, 26-29.

[14] (Botoucharov, 2007 b): Botoucharov Nikola, 2007 b: Vitrinite reflectance – a major method in analysis of maturity and thermal history of sediments in North Bulgaria. In: “7<sup>th</sup> International Scientific Conference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection”, Albena, II-5, 1-6.

# МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕ НА ПЕТРОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА

Стојанче Николов<sup>1</sup>, Александар Буов<sup>2</sup>, Јован Првуловиќ<sup>3</sup>, Милорад Јовановски<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Геохидроинженеринг, ул. Т. Гологанов бр 132, Скопје, Р. Македонија; s.nikolov.ghi@mail.net.mk*

<sup>2</sup> *Геохидроинженеринг, ул. Т. Гологанов бр 132, Скопје, Р. Македонија; a\_buov@yahoo.com*

<sup>3</sup> *Geophysical, jprvulovic@sbb.rs, Београд, Р. Србија*

<sup>4</sup> *д-р, Градежен факултет-Скопје, бул. Партизански одреди бр. 24, Скопје, Р. Македонија; jovanovski@gf.ukim.edu.mk*

## Апстракт

Петротермалната енергија, како алтернативен извор на енергија на 21-от век, од ден на ден побудува се поголем интерес не само кај високоразвиените земји туку и кај нас. Некои од земјите како (САД, Италија, Јапонија, Мексико, Исланд и др.) се корисници на петротермална енергија (енергија од врели суви карпи). Природните извори на енергија кои се користат денес како што се: нафтата, гасот, јагленот и др. претставуваат необновливи извори (еднократно употребливи) со големо загадување на животната средина, поради што неминовни се истражувањата во пронаоѓање на потенцијални извори на петротермална енергија. Во трудот презентирани е методологијата на проектирање на истражни работи кај петротермалната енергија.

**Клучни зборови:** енергија, петротермална енергија, кондуктивност, конвективност, стаклена градина, магнетнотелурска и аудиомагнетнотелурска метода.

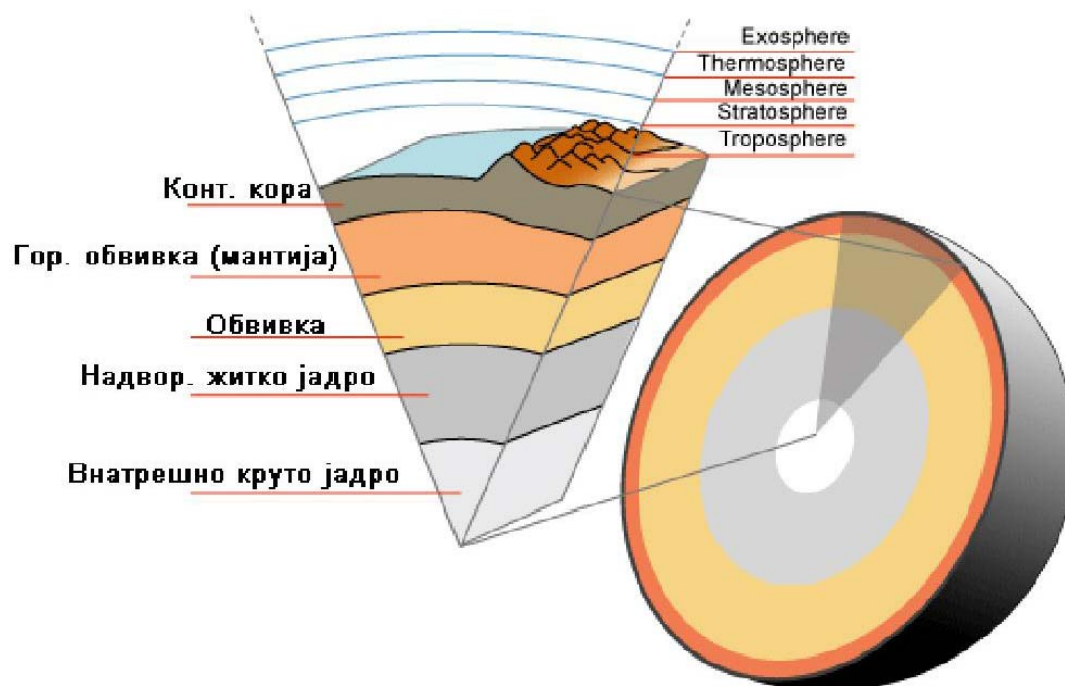
## ВОВЕД

Природните извори на енергија кои денес се користат, се фосилни од органска природа, необновливи и големи загадувачи на животната средина, поради што неминовна е потребата од пронаоѓање на други алтернативни извори на енергија, кои се неоргански, обновливи и кои не ја загадуваат животната средина. Со досегашното користење, како и користењето во иднина на органските фосилни горива се повеќе се допринесува кон зголемување на опасноста од глобалното загадување и пореметување на нормалните услови за живеење и нарушување на еколошката состојба на планетата Земја. Сето напред споменато, побудува се поголем интерес за пронаоѓање алтернативни извори за добивање на енергија од обновливи, еколошки оправдани и релативно ефтини извори на енергија. Интерес за пронаоѓање на ваков тип на енергија пројави и Р. Македонија преку министерството за економија сектор за минерални суровини објавувајќи јавна набавка во 2011 година за изработка на два проекта за вршење на детални геолошки истражувања за петротермална енергија на локалитетите

“ДОЈРАН” и “КРАТОВО”. Со истражните методи кои ќе бидат посочени и применети во фазата на истражување, треба да се утврди геотермална аномалија, како показател за постоење на геотермална енергија и дефинирање на термичка аномалија во рамките на истражниот простор.

## ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА НА ЗЕМЈАТА

Како што е познато енергијата на Земјата датира од нејзиниот постанок од прашина и гасови пред повеќе од четири милијарди години, а радиоактивното распаѓање на елементите во карпестите маси, континуирано ја обновуваат топлината, поради што геотермалната енергија е обновлив извор на енергија. Зборот геотермална води потекло од грчките зборови *geo* (земја) и *therme* (топлина), што значи топлина на земјата, па од тука и геотермална енергија на Земјата. Самата земја е поделена на земјина кора, мантија и јадро (сл.1).



Слика 1. Пресек на Земјата

Како што е познато топлината на планетата Земја е сконцентрирана во нејзината внатрешност односно во нејзиното јадро. Се смета дека температурата во центарот на Земјата изнесува околу  $6000^{\circ}\text{C}$ . Меѓутоа дифузијата на внатрешната топлина е многу спора и предизвикува среден температурен градиент од  $10^{\circ}\text{C} / \text{km}$  и тоа за првите 100 km од површината, према центарот на Земјата. Енергијата која се доведува до површината на Земјата во просек изнесува околу  $5,4 \text{ kJ} / \text{m}^2$  дневно. Се претпоставува дека топлотата која се наоѓа до 100 km длабочина во земјината кора, за да стигне до површината на Земјата со нејзино кондуктивно спроведување, потребни се 100 милиони години. Кога се зборува за геотермална енергија, се мисли на енергијата која е акумулирана во карпите од Земјината кора, а не на кондуктивно спроведуваната. Изворите на геотермална енергија се делат на следните групи:

- Хидрогеотермална енергија со извори на врела вода
- Хидрогеотермална енергија со извори на водена пара
- Хидрогеотермална енергија на врела вода во внатрешноста на земјата
- Петротермална енергија – енергија на врели суви карпи

Преносник на топлината од внатрешноста на земјата на нејзината површина е водата или пареата, кои се обновуваат преку инфилтрирањето на атмосферските врнежи длабоко во подземјето, вдоль постојните пукнатини и раседни структури. Пристигнатата вода во длабина на контакт со врели карпи, се загрева до одредена температура и како таква низ постојни тектонски структури избива на површината на Земјата во вид на топли извори и гејзери.

Во Земјината кора на одредени нивоа постојат карпи кои се хидротермални изолатори во кои не може да се акумулира подземна вода, ниту пак таа да биде инфилтрирана во подлабоките делови од земјината кора каде владеат повисоки температури. Генерално со длабочината се намалува порозноста на карпите, но температурата се зголемува. Во длабочината на Земјата постои огромна количина на енергија која е акумулирана во сувите карпи.

На големите длабочини водата се наоѓа под голем притисок, а во некои од нив има растворено и метан. Такви наоѓалишта на врела вода кои во себе содржат метан постојат во Мексиканскиот залив каде притисокот е 760 бари.

Младите субвулкански интрузии и непосредните околни карпи во кои тие се имаат интродуцирано во вид на батолити, лаколити, лополити, силиви, дајкови и слично, кој сеуште се во фаза на ладење и кај кои моменталната температура може да изнесува од 700-800° C па дури и до 1000-1200° C ги представуваат врелите суви карпи, во кои има акумулирано огромна количина на топлинска енергија. Овие карпи можат да бидат продукт на директни интрузии кои водат потекло од втората обвивка на Земјата (мантијата), преку планетарни или регионални длабоки тектонски структури. Од причина што при сегашната технологија за дупчење може да се дупчи до 10<sup>-тина</sup> km предмет на интерес би дошла само геотермалната енергија која се наоѓа до таа длабочина. Вкупната енергија во тие карпи е пресметано дека е неколку илјадници пати поголема од енергијата во вкупните постојни светски резерви на јаглен.

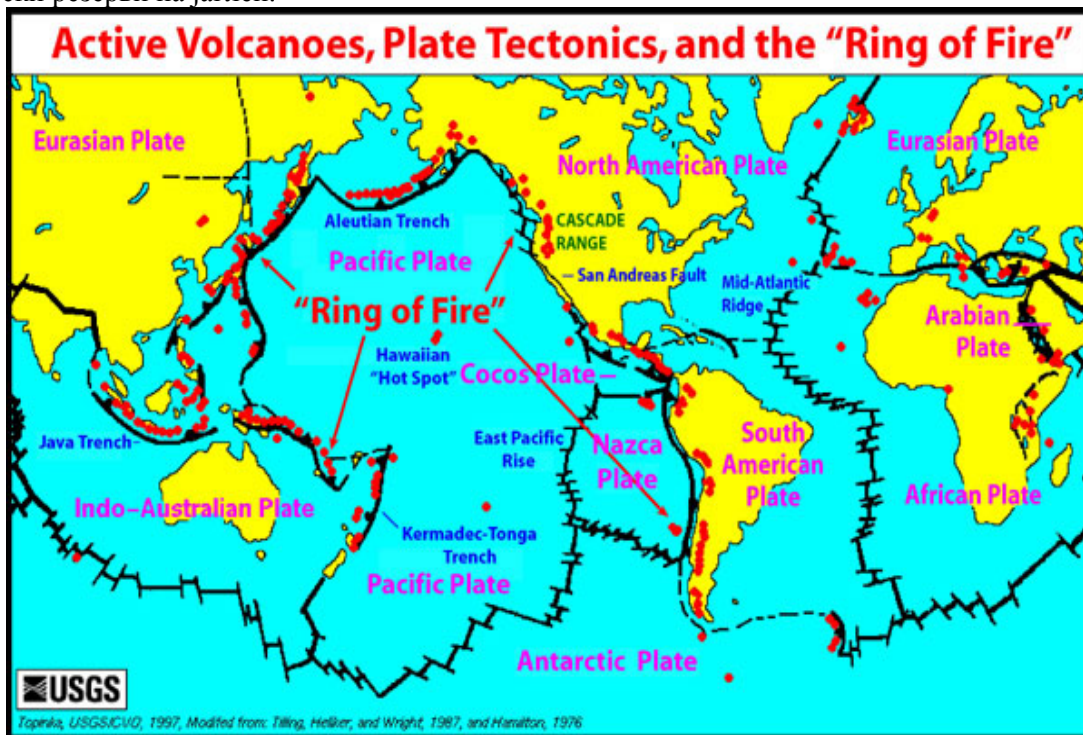
Во досегашното искуство поголемиот дел од искористувањето на геотермалната енергија бил преку експлоатацијата на топлиите води и водена пара, од колку користење на енергијата од врелите суви карпи. Ако се компарира само акумулираната топлотна енергија која се наоѓа во земјината кора на длабочина до 3 km, истата е за околу 2 000 пати поголема од енергијата во вкупните светски резерви на јаглен.

Најголем дел од носителите на топлина се со температура помала од 100°C (околу 88 %), а преостанатиот дел се со температура над 150°C (околу 12 %).

Геотермалната енергија денес се добива од различни длабински нивоа на Земјината кора. Во зависност од длабинската локација на грејните тела (субвулкански или интрузивни магматски карпи), тие можат да бидат плитки и длабоки чија длабочина може да биде и повеќе километри.

Појавата на овие грејни тела во хоризонтален правец е нерамномерна. Во некои области ги има, а во некои ги нема. Поради тоа некои области се мошне потенцијални за постоење на вакви грејни тела и во плитките делови на Земјината кора, додека други делови на Земјината кора таков геотермален потенцијал немаат. (сл. 2)

Според, научните сознанија најперспективните места каде се појавува геотермалната енергија во плитките нивоа на Земјината кора се контактите на тектонските плочи каде постои раздвојување или судирање на истите и каде постои изразен вулканизам и тектонска активност.



Слика 2. Перспективни зони каде е присутна геотермална енергија(според USGS)



Други потенцијални простори, каде може да се појави геотермалната енергија и да биде интересен предизвик за искористување, се младите неотектонски грабени ограничени со длабоки раседи, каде како грејни тела можат да се јават субвулкански интрузивни магматски тела, или пак локалитети каде Земјината кора не е многу дебела (не повеќе од 20 km), па може да дојде до акумулација во топлински аквифери по пат на кондуктивниот пренос на топлотата од мантијата која се појавува како основно грејно тело.

Во последните 100 години интересот за искористување на геотермалната енергија е зголемен, особено за оние ресурси во кои водата од топлотните басени е со висока температура или е во вид на пареа. Од ваквите топлотни извори на енергија, на едноставен и ефтин начин може да се произведува електрична енергија. Покрај овие топлотни извори во последно време предмет на интерес се и врелите суви карпи, кај кои во еден цикличен затворен систем се впумпува флуид на загревање, а преку доводна цевка се носи до турбина за производство на електрична енергија.

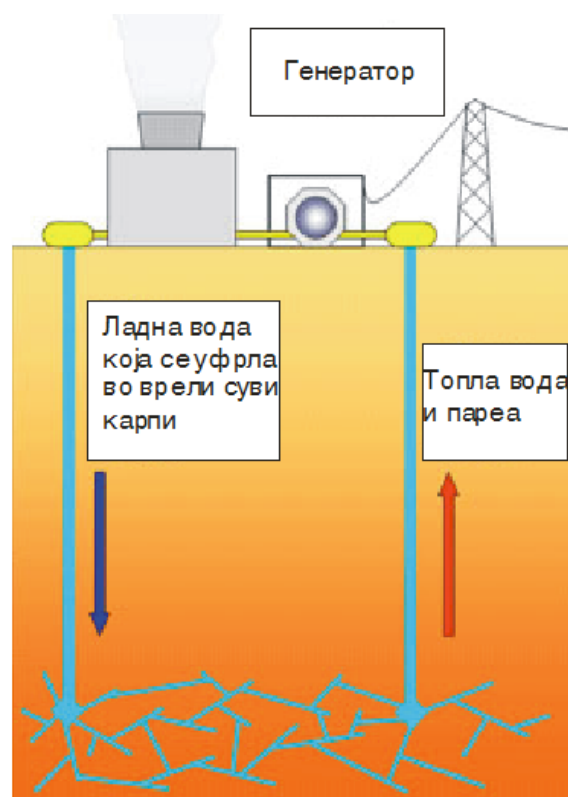
Таква термо централа за првпат е направена во италијанскиот град Larderello (1904) каде денес постои централа која на овој начин произведува 5 000 GWh електрична енергија годишно и снабдува еден милион домаќинства со оваа енергија.

Централа во Светот од ваков тип постојат на многу места, а тенденција е да се градат уште повеќе.

## МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕ НА ПЕТРОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА

За успешно спроведување на истражувањата за пронаоѓање на петротермална енергија, потребно е најпрво добро проучување на геолошкиот склоп на теренот т.е. проучување на односите помеѓу одделните литолошки единици, проучување на инженерскогеолошките и хидрогеолошките карактеристики на карпестите маси и структурно-тектонскиот склоп на теренот т.е. издвојување на главните раседни структури од регионален и локален карактер. Овие истражувања треба да овозможат попрецизно и поточно лоцирање на геофизичките истражни методи кои ќе бидат применети во следната фаза на истражува-

Лидери за производство на електрична енергија од вакви извори во Светот се: Италија, САД, Јапонија, Мексико, Исланд.



Слика 3. Основен принцип како се искористува топлинската енергија за производство на електрична енергија од интрузивни врели суви карпи.

њето, како главни методи за ваков тип на истражување.

После успешна реализација на истражувањата од првата фаза и добивање на потребните информации за истражниот терен, регистрирање на хидрогеотермални извори на врела вода или пареа и на млади вулкански карпи, може да се помине на наредната фаза, проектирање на геофизичките методи на истражување кои се основни за вакви видови на истражувања.

Со примената на геофизичките методи на истражување треба да се утврди термичка аномалија, а истата со завршната фаза на истражување, преку истражното дупчење треба да се потврди.

Со овие истражувања може приближно точно да се одреди длабината на термичката аномалија, но не и температурниот градиент.

Геофизичките методи треба да укажат на:

- перспективни простори за постоење на примарни грејни тела со акумулирана енергија,
- да ги дефинираат термичките својства на карпестите маси,
- да ја определат кондуктивната топлинска проводливост (КТР) за секоја литолошка единица,
- одредување на специфичната топлина и температурната проводливост на литолошките единици,
- регистрирање и издвојување на термички изолатори и
- определување на локален геотермален градиент.

Геофизичките истражувања кои се насочени кон пронаоѓање на геотермална енергија во прво време се состојат од набљудување и определување на физичките параметри на длабоките геолошки формации од површината на теренот, а во покасните фази се оди со директно испитување и истражување во дупнатините–каротаж. Во овие физички параметри се вклучуваат:

- Температура – термални истражувања
- Брзина на простирањето на еластични бранови – сеизмички истражувања
- Густина – гравиметриски истражувања
- Магнетен суспензивитет – магнетни истражувања
- Електрична проводливост – електрични и електромагнетни методи вклучувајќи ја и магнетнотелурската метода

Геофизичките истражни методи, генерално можат да се поделат на пасивни и активни.

Во пасивните геофизички методи се вбројуваат сите оние методи кои ги користат природните извори на информација. Додека активните геофизички методи користат додатни извори или побудувачи на информација кои се предизвикани по вештачки пат.

Целта на геофизичките истражувања во пронаоѓањето на геотермална енергија е, да врз основа на физичките карактеристики на застапените карпести маси се добијат корисни информации за обликот, големината и длабочината на геолошките структури кои го прават геотермалниот

извор, а понекогаш и самиот изворот на топлина. Од тие причини, потребно е да се применат повеќе геофизички методи кои меѓусебно се суплементни.

Потребно е да се напомене дека секоја геофизичка метода има свои предности, но и свои недостатоци, на кои во фазата на истражување потребно е да им се посвети поголемо внимание.

Фазното изведување на геофизичките методи е потребно за прилагодување на истражувањата од наредните фази кон поперспективните локации и исфрлање на помалку перспективните (скратување на истражниот простор во наредните фази на истражување). Постои широк спектар на електрични и електромагнетски методи кои се осетливи на геотермални флуиди во однос на други геофизички методи. За испитување и добивање на информација во поглед на постоење геотермални флуиди во геолошки структури кои го ствараат и формираат аквиферот на поголеми длабочини во земјината кора, најчесто се применува **електромагнетска–магнетнотелурска метода**.

Магнетнотелурската метода спаѓа во групата пасивни геофизички методи кои ја користат природната временска варијација на земјиното магнетно и електрично поле за да може да се одреди електричната отпорност на подземјето. Електричната отпорност на карпите и застапените минерали во нив е многу важна физичка карактеристика. Овие карактеристики на карпите овозможуваат да се сватат геолошките односи и процеси на литолошки застапените карпести маси во истражуваниот простор кој зависат од составот на карпата, порозноста, нивната пермеабилнос, како и составот на во нив присутниот флуид и постоечката температура. Длабочината на испитувањето се добива со мерење на временските варијации во опсегот на нивната фреквенца.

Високите фреквенции продираат плитко во земјината кора. За разлика од нив, ниските фреквенции продират многу подлабоко и тоа од неколку стотици метри па дури и повеќе од десет километри длабочина. Аудиомагнетскотелурската метода АМТ е дел од магнетнотелурските сондирања за аудио фреквенции во опсегот помеѓу 1Hz и 20 KHz. Оваа метода има подобра вертикална резолуција за помали длабочини (до околу 2000 m) и истата е корисна докол-

ку изворот на енергија би се наоѓал до таа длабочина. Од причина што сувите врели карпи се очекуваат во подлабоките нивоа на Земјината кора, се предлагаат комбинирани магнетскотелурни испитувања (МТ и АМТ), но исто така од голема важност за успешно осознавање за евентуално постоење на длабоки субвулкански или интрузивни магматски карпи кои можат да бидат главни носители на топлотна енергија, неминовно е да се применат и методите како што се гравиметрија и геомагнетизам.

**Магнетотелурски испитувања (магнетотелурска МТ и аудиомагнетотелурска АМТ метода)** се изведуваат вдолж зададени профили кои се на меѓусебно растојание од по 1000 m, односно со просечна густина 1 точка / km<sup>2</sup>.

При овие испитувања се мерат компоненти на хоризонталното електрично поле и компоненти на земјиното магнетното поле.

За изведба на теренските магнетски испитувања потребно е да се користи современа 24-bit апаратура со 5(пет) канали, како што се V5 Sistem 2000MTU series, чие производство е на реномираниот производител PHOENIX Geophysics Canada или ADU – 07e од реномираниот производител Metronix Geophysics, од Германија чиј опсег на фреквентна осетливост е од 0.001 Hz – 50 KHz.

Кај овие мерења потребно е да се знае дека во периодот на мобилизација потребно е да се обезбеди логистика за секоја магнетскотелурска точка (сонда) во смисла на обезбедување базна станица, тестирање и калибрирање на опремата.

За да се добие квалитетна контрола на резултатите и евентуална корекција на проектот потребно е обработката и интерпретацијата да почне уште на самиот терен. Добиените резултати се прикажуваат во облик на профили, контурни мапи на геоелектричен отпор на различни длабочини (хоризонти) и финална интерпретација во 3D форма.

**Гравиметриски испитувања** се вршат по должина на зададени профили или по зададена мрежа. Профилите е потребно да се постават приближно нормално на протегањето на геолошките структури како би можело да се добие вертикален пресек на разместените карпести густини кои се во врска со набљудуваните гравитациони аномалии.

Мрежните гравиметриски испитувања се вршат за да се добијат карти со гравиметриски аномалии.

Предвидената мрежа за такви испитувања потребно е да биде 300 x 300 m или се изведуваат мерења на 16 точки по квадратен километар.

Опремата со која ќе се изведуваат мерењата е потребно да биде современа и со висока осетливост и точност  $\pm 0,01\text{mgal}$  од некои познати марки, како што се La Coste & Romberg Model D, USA или Scintrex CG – 5 Canada.

При изведувањето на гравиметриските мерења потребно е локациите на мерните станици да бидат дефинирани со координати при што посебно Z-координатата треба да биде со степен на точност која не преминува  $\pm 2\text{ cm}$ .

Обработката и интерпретацијата на резултатите е потребно да се изведат со примена на современи софтвери како што се Micro-g, Geosoft, Interpex, Encom.

По можност, добиените резултати да се прикажат во 3D.

**Геомагнетни испитувања** исто така можат да дадат добри информации за состојбата во подземјето, а се изведуваат и на копно и на вода. Распоредот на мерните места потребно е да биде изведено по истражна мрежа со 25 точки на km<sup>2</sup>. Растојанието помеѓу профилите во мрежата треба да биде 250 m и растојанието помеѓу мерните точки исто така на 250 m, односно се предвидуваат 5 точки на km.

За геомагнетските теренски мерења, препорачливо е да се користат современи магнетометри со вграден JPS и висока осетливост. Еден од таквите магнетометри е G-859 Cesium Vapor Magnetometer, чиј производител е Geometrix, USA.

Обработката и интерпретацијата на добиените резултати потребно е да се изведат со примена на современи софтвери како што е на пример Geosoft со прикажување на добиените резултати во вид на пресеци и карти во 2D и 3D проекции.

## ПРЕСМЕТКА НА ТРОШОЦИТЕ ЗА ИСТРАЖУВАЊЕ

Направена е прелиминарна проценка на трошоците за истражување на површина од 1 km<sup>2</sup> при што е добиена цена од 18 671 730 денари.

## **ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАТОЦИ КАЈ ГЕОТЕРМАЛНАТА ЕНЕРГИЈА**

Како што другите извори на енергија имаат свои предности и недостатоци така и геотермалната енергија има свои предности и недостатоци.

### **Кои се предностите на геотермалната енергија:**

- Најголемата предност на геотермалната енергија е тоа што е чиста и сигурна за околината (не ја загадува).
- При нејзиното користење за производство на електрична енергија не се ствара емисија на штетни материји за околината.
- Се намалува употребата на фосилните горива кои се големи загадувачи на околината.
- Резервите на геотермална енергија се практично неисцрпни и обновливи, за разлика од фосилните кои се необновливи.
- Геотермалните електрани зафаќаат мала површина во однос на хидроелектраните чии брани предизвикуваат потопување на големи површини.
- Геотермалните електрани се градат директно на местото каде е изворот на енергијата и лесно ги снабдуваат околните подрачја со топлотна и електрична енергија.
- Геотермалната енергија не зависи од метеоролошките услови, што не е случај со хидроелектраните, ветерниците и соларните системи кои се зависни од метеоролошките услови. Оваа енергија може да се произведува 24 часа на ден.
- Средствата кои се вложуваат во истражувањата кај овој тип на енергија во однос на вложувањата кај другите типови се доста помали, а бенефитот е многу поголем, практично неспоредлив со другите.

### **Кои се недостатоците:**

- Најголем недостаток е што нема многу поволни локации за искористување на геотермалната енергија и изградба на геотермални електрани. Најдобри локации се оние кои имаат доволно топли карпи на погодна длабина за дупчење.
- Геотермалниот извор на енергија не може да се транспортира и тој единствено може да се користи за производство на електрична енергија и за снабдување на околината со топлинска енергија.

- Проблем при користењето на геотермалната енергија претставува испуштањето на материји и гасови кои можат да бидат штетни кога ќе избијат на површината. Најопасен е водородниот сулфид кој е доста корозивен и тешко е правилно да се одложи.
- Статистиката покажала дека на местата каде се експлоатира геотермална енергија има зголемена сеизмичка активност.

## **ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ НА ПЕТРОТЕРМАЛНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА**

Економскиот ефект од резултатите кои би биле позитивни при ваквите истражувања се очекува да биде високо профитабилен.

Под хипотетичка претпоставка, ако се успее со истражните работи да се постигнат очекувани резултати кои ќе укажат на сигурно постоење на геотермална енергија (топли суви карпи), и истата, при сегашните техничко-економски односи може рентабилно да се користи со цел да се произведува електрична енергија, може да се претпостави колку вредна работа ќе се постигне во сегашниот и иден тренд во трката по обновлива, ефтина, еколошки прифатлива и сигурна енергија.

За поголема и подетална информација, што значи да се поседува и користи геотермалната енергија, потребно е да се запознаеме со енергетските ресурси на Исланд, Јапонија, Мексико, САД, Италија.

Врстата и количината на истражните работи кои ги предлагаме за ваков тип на истражувања, како и цената на чинење за нивно реализирање и добивање на потребните податоци ќе бидат неспоредливи со економските ефекти кои ќе можат да се добијат при користењето на петротермалната енергија. Кај геотермалните истражувања, најскапа фаза е истражното дупчење. Да се избегне „сува дупнатина“ потребно е со големо внимание да се изведат предходните истражувања и врз основа на добиените резултати од нив, да се одреди(ат) локацијата на истражната дупнатина и да се потврдат претходно добиените резултати.

## ЗАКЛУЧОК

Во време кога во Светот се чувствува се поголем недостаток на енергија, кога употребата на фосилни горива почнува да ствара глобален светски проблем (стаклена бавча), кога резервите на фосилно гориво се ограничени, кога и покрај превземањето на сите безбедносни мерки при експлоатацијата на нуклеарна електрана, повторно постои ризик за можна хаварија, кога нуклеарниот отпад кој е продукт при работењето на нуклеарните електрани претставува опасен еколошки отпад, и кога постои голем проблем за негово безбедно складирање, светски тренд е да се бараат безбедни, еколошки оправдани, обновливи и сигурни извори на енергија. Еден од повеќето алтернативни извори на енергија кој се смета за обновлив, еколошки оправдан,

## ЛИТЕРАТУРА

- Делипетров Т.;** Основи на геофизика  
**Државен архив на Р. Македонија;** Извештај за регионални истражувања – Енергетски објект геотермални истражувања Дојран–Богданци, Гевгелија 1988
- Зборник реферати, научен собир во Скопје 1995:** Геотермална енергија, состојба и перспектива во Р.Македонија
- Интернет;** Koncept izvodljivosti i ciljevi geotermalnih istrazivanja na podrucju grada Slatine (Hrvatska) – Objaven trud na Internet
- Интернет;** Geotermalna energija – Energija buducnosti, objaven trud
- Ianghong Wu , Ian J.Ferguson,Alan G.Jones;** Magnetotelluric response and geoelectric structure of the Great Slave Lake shear zone Elsevier, Earth and Planetary Science Letters 196(2002)
- Курвија Т.; Miroslav Golub;** Iskoriscavawe geotermalnih lezista
- Kostadin Sherev i Ivan Zagorcev;** Opportunities for discovering and acqviring mineral (termal) water within and around Dojran; ET Hidroterma Sofia
- Ковачиќ М. - HGI;** Odnos toplinske provodljivosti stratigravskih jedinica iz sireg podrucja Zagreba
- Manzella Adele ;** Geophysical Metods in Geothermal Exploration, Internacional Institut for Geothermal Research Pisa, Italy
- Mariita O. Nicholas. ;** Choosing appropriate Geophysical equipment for geothermal energy exploration
- Радуновиќ Д.;** Geotermalna energija
- Слимак Ш.;** Инжењерска геофизика, Београд 1996
- Sumanovac Franjo;** Geoelektricna istrazivanja; RGN Fakultet, Zagreb

сигурен и практично не исцрпчив, е геотермалната енергија од врели суви карпи кои постојат во утробата на Земјата. Тенденција и определеност на сите високоразвиени земји во Светот е да до 2030год., 20% од нивното вкупно производство на електрична енергија биде од алтернативни, обновливи и еколошки оправдани извори на енергија. Од причина што и Македонија тежнее кон аспирација за членство во Европската унија, која се обврзува дека нивното производство на електрична енергија до 2030 г. ќе биде барем 20% од обновливи и еколошки оправдани извори, се наметнува потребата и кај нас да се изнајдат соодветни извори на таква енергија, која ќе го прати светскиот тренд за производство на електрична енергија.

- Филиповиќ Б;** Методика хидрогеолошких истражувања
- Хоџиќ Н.:** Inzinerska fizika 2
- Yu,G., Strack, K i dr. ;** Characterizing a geothermal reservoir using broadband 2-D MT survey in Theistaruykir,Iceland,SEG Las Vegas 2008
- RGN Fakultet Zagreb;** Poslovni plan za geotermalno poje Zagreb. Lokalitet ŠRC Zagreb
- HGI;** Geotermalna istrazivanja R. Hrvatske – Geotermalna karta
- XII Конгрес на геолози на Југославија (Охрид);** Инжењерска геологија, хидрогеологија, геотермија

# ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЈАГЛЕНОВОТО НАОЃАЛИШТЕ „ЖИВОЈНО“

Костадин Јовановски<sup>1</sup>, Данче Тодорова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Министерство за економија, <sup>2</sup>ГИМ-Геотехника, ул Дрезденска 52 1000 Скопје Р.Македонија  
kostadin.jovanovski@economy.gov.mk , dance.nikolovska@gim.com.mk

## Апстракт

Јагленот од јагленовото наоѓалиште „Живојно“ е енергетски ресурс кој представува стратешки интерес за Република Македонија. Со утврдувањето на резервите на јагленот (квантитет и квалитет), дефинирањето на геологијата, тектониката, хидрогеологијата и геомеханиката на наоѓалиштето се создават услови за безбедно и несметано отпочнување со експлоатација на јагленот од оваа јагленово наоѓалиште, а со самото тоа и продолжување на векот на работа на ТЕЦ Суводол. Во рамките на ова јагленово наоѓалиште застапени се водоносните средини со интергрануларна (меѓузрнска) порозност, водоносни средини со пукнатинска порозност и водоносни средини во неогениот комплекс. Од хидрогеолошки аспект посебно значајно место имаат водоносните средини од неогениот комплекс. Познавањето на хидрогеолошките карактеристики/параметри на јагленовото наоѓалиште и неговата околина, како и тектониката на истото е важно пред се околу пристапот при изборот на начинот на одводнувањето на јагленовиот коп во текот на неговото отворање како и во тек на самата експлоатација на јагленот.

**Клучни зборови:** јаглен, хидрогеолошки карактеристики, водоносна средина, водопроводност

## ВОВЕД

Јагленовото наоѓалиште „Живојно“ се наоѓа во крајниот југоисточен дел на Пелагониската котлина. Истото од порано било предмет на геолошки истражувања и експлоатација. Конкретно поорганизирани и поинтензивни геолошки истражувања и испитувања со прекини се вршени во 1967, 1973, 1981-1986 и најновите 2011-2012 година. Досега на овој простор од од 20 км<sup>2</sup>, а со цел дефинирање на квалитативно-квантитативните параметри на јагленот, геолошките, структурно-тектонските, хидрогеолошките и геомеханичките карактеристики на јагленот се изведени преку 300 истражни дупнатин

со вкупна длабина од околу 30 000 м' дупчење.

Главен воден тек е Црна Река која претставува северна граница на јагленовото наоѓалиште, и Елешка река како нејзина главна притока. Теренот речиси по целата површина е испресечен со поголеми или помали долини кои ги собираат површинските води, а со самото тоа истите вршат и ерозија на теренот. Сите долини претставуваат повремени водни текови и поволни зони за прихранување на подземните води од јагленовото наоѓалиште.

## ГЕОЛОШКА ГРАДБА

Јагленовото наоѓалиште „Живојно“ се наоѓа помеѓу Пелагонискиот хорст - антиклинориум од источната страна и Западно македонската маса од западната страна во крајниот југоисточен дел од Пелагонискиот јагленосен басен.

Према досегашните геолошки сознанија добиени од повеќефазните геолошки истражувања извршени на овој простор, може да се заклучи дека, наоѓалиштето „Живојно“ како интегрален дел на Пелагонискиот терцијарен басен, од аспект на неговата

геолошка градба, карактеристики на седиментација има скоро исти услови на ставрање како и басените од јагленовите наоѓалишта „Суводол“ и „Брод - Гнеотино“. Ободниот дел и палеорелјефот на наоѓалиштето „Живојно“ е изграден од прекамбриски карпи - гнајсеви и микашисти, палеозојски кварц - графитични шкрилци, филити и аргилошисти, а додека трансгресивно и дискордантно преку нив лежат плиоценските седименти и кварталните наслаги.

### **Прекамбриски метаморфен и магматски комплекс**

Е застапен со гнајсно-микашистна серија и со пробои од гранодиоритски крупни маси.

- Гнајсно-микашистната серија го претставува долниот дел од комплексот, а ја сочинуваат:

- окцесто-амигдалоидни дволискунски гнајсеви (Gmb)
- тракасти мусковит-биотитски гнајсеви (Gmb)
- гранатски микашисти (Sr)
- графитични микашисти (Srp)

- Гранодиоритните пробои се јавуваат во долж фолијацијата на прекамбриските метаморфити, како мали тела или поголеми издолжени маси. Следени се со интензивна калиска метасоматоза, така што секогаш се обиколени со окцесто-амигдалоидни дволискунски гнајсеви, и застапени се со:

- порфиroidни гранодиорити ( $\delta\gamma$ )
- масивни средно до крупнозрни гранодиорити ( $\delta\gamma$ )

### **Комплекс неогени и квартерни седименти**

Во Пелагонската котлина се развиени плиоценски езерски седименти чија максимална дебелина изнесува преку 500 метри. Овие творевини се со дебелина околу 300 метри, и во нив е најдена слатководна флора и фауна. Како покарактеристични членови кои се застапени на истражуваниот простор се издвојуваат:

- чакали песоци и глини со јаглен (P<sub>2,3</sub>)
- чакал, песоци и суглини (P<sub>3</sub>)
- пролувиум (Pr)
- алувиум (al)

Кај плиоцените седименти, врз база на литолошкиот состав се издвојуваат две фации:

**Долната фација** на сивозеленкасти разнозрни стратификувани чакали, песоци, песокливи глини и глини со слоеви на јаглен, го претставува базалниот дел на плиоценските седименти, кој почнува со трансгресивен материјал од чакал и чакалест песок, кој погоре преминува во

финостратификувани слоеви на песоци, песокливи глини, алевролити и глини кои ритмично се менуваат и постепено исклинуваат во вертикален и хоризонтален правец.

Во пелагонискиот басен овие седименти се делумно откриени или покриени со квартерни наслаги. Продуктивната јагленосна формација претставува хетероген седиментен комплекс, кој што е составен од фација на сивозеленкасти разнозрни песоци (од крупнозрни до прашиности песоци, наместа заглинети) и јагленови слоеви.

Кај Живојно јагленот има сложена структурна градба. Се јавува во неколку хоризонти, но слоевите имаат мала дебелина, додека кон север јагленовиот слој е со поголема дебелина. Расчленет е со бројни интеркалации од глина, песоци, глиновит јаглен и јагленови глини, без некоја закономерност во поглед на дебелината, редоследот и местото на појавување. За него е карактеристично дека, кон источниот рабен дел тој се крева и постепено исклинува, додека на запад јагленовиот слој залега длабоко во басенот.

Дебелината на јагленовиот слој се движи од неколку см. на исток до 8 м. во централниот и западниот дел од наоѓалиштето, додека просечната дебелина изнесува околу 4,00 м.

Релативната длабина на залегање на продуктивната формација се движи од 33 до 195 м.

**Горна фација** на светлосини слабо сортирани и нестратификувани чакали, песоци и суглини, претставува продолжение на долната фација. Претставени се со лапоровити и глиновити песочници, глини и слабоврзани песочници, кои се менуваат вертикално. Сосема ретко се развиени и прослојки од лигнит, дебели до 10 цм. Оваа фација најмногу е застапена во наоѓалиштето и лежи директно врз јагленовиот слој. Најголема дебелина е констатирана во централниот и западниот дел од наоѓалиштето, додека на исток дебелината се намалува и исклинува. Седиментите имаат светло сина боја, а изградени се со 80% од алевролити, околу 15 % сиви глини и 5 % глиновити песоци.

Алевролитите се седименти кои лежат помеѓу глините и ситнозрните песоци. Најчесто се

појавуваат како тенко плочести и лесно се цепат по слоевитоста. Во горните хоризонти на оваа фаџија има појава на раслојување на сини песокливи глини и глиновити песоци, со кои завршува и фаџијата на алевролити и глини.

Песокливо глиновитата фаџија по својата жолтеникава боја лесно се издвојува од претходната т.н. сина фаџија меѓутоа, таа има изразена конкорданџија и постепено преминува од една во друга фаџија. Во оваа фаџија преовладуваат песоците над глините, а се забележуваат фаџијални промени по вертикала и хоризонтала. Песоците најчесто се разногранулирани (од крупно до ситнозрни), а на поедини места се заглинети и преминуваат во песокливи глини.

### ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

Према геолошката градба, структурните и хидрогеолошките карактеристики на карпите во рамките на јагленовото наоѓалиште „Живојно“ и неговата поширока околина се издвојуваат:

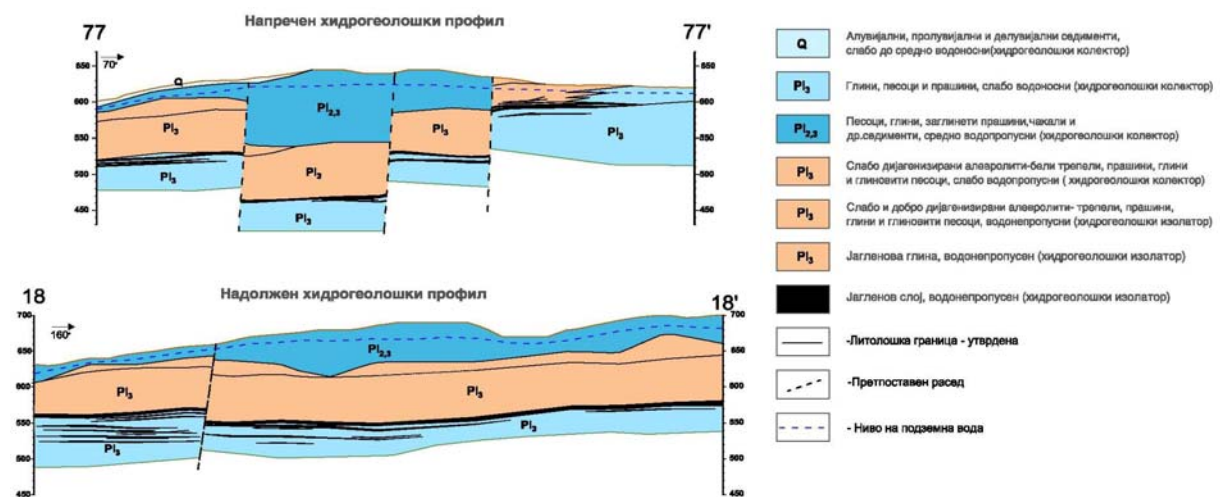
- водоносни средини со меѓузрнеста /интергрануларна порозност,
- водоносни средини со пукнатинска порозност,
- водоносни средини во неогениот комплекс
- условно безводни терени.

Према хидрогеолошката функција водоносните средини се издвојуваат како:

Пролувијалниот материјал е распространет во јужниот дел на наоѓалиштето, во повисоките делови. Најчесто овој материал лежи врз плиоценските седимент. Изграден е од несортиран глиновито песоклив црвеникав материјал, со парчиња и валутоци, а поретко и блокови кои потекнуваат од околните матични карпи.

Алувијалните седименти се застапени по долината на Црна река и Елешка река и по долините на останатите порои со распространување од неколку метри. Составени се од песоци, глини и суглини.

хидрогеолошки колектори, хидрогеолошки комплекси и хидрогеолошки изолатори, а додека према хидродинамичките карактеристики и хидрауличките услови кои владеат во водоносните средини имаме водоносни средини со слободно ниво на подземни води (фраетска издан) и водоносни средини со ниво на подземни води под притисок (артески и субартеска издан). Застапените водоносни средини во профил дадени се на напречниот и надолжниот хидрогеолошки профил (сл.1).



Слика 1. Карактеристичен напречен и надолжен хидрогеолошки профил на наоѓалиштето “Живојно“

### Кровински водоносни средини

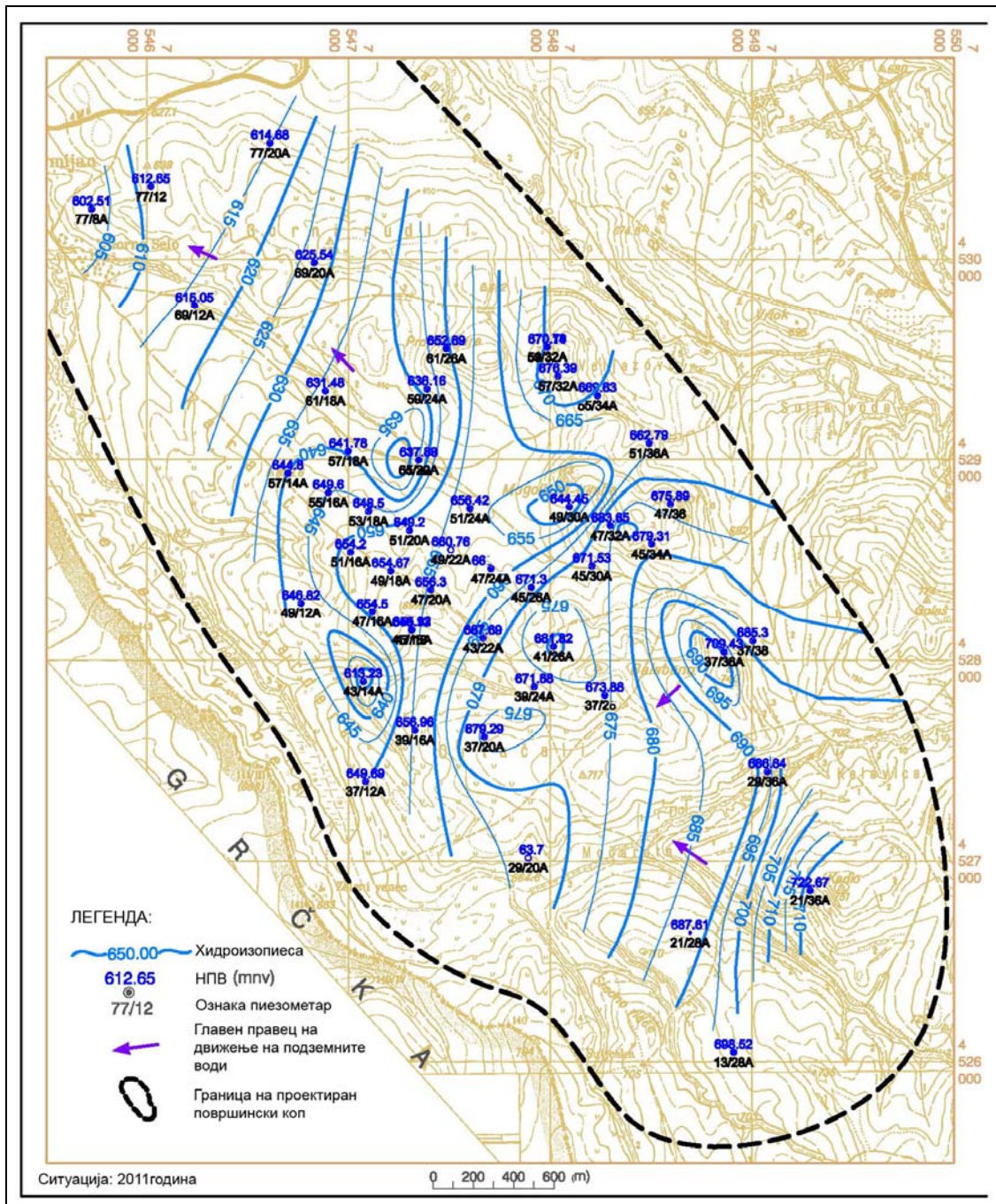
Изградена е до прашинести, ситнозрни до среднозрни песоци. Водоносните хоризонти се одликуваат со променлива моќност, а се јавуваат на повеќе нивоа и на различита

длабочина. Моќноста на водоносните хоризонти се движи во границите од 4,2 м (дупнатина 49/12) до 71,6 м (дупнатина 77/28).



Подземните води се јавуваат на различита длабина и тоа: на 1,58 м' под површината на теренот (дупнатина 51/24) до 41,77 м' под површината на теренот (дупнатина 43/14). Подземните води во рамките на овие водоно-

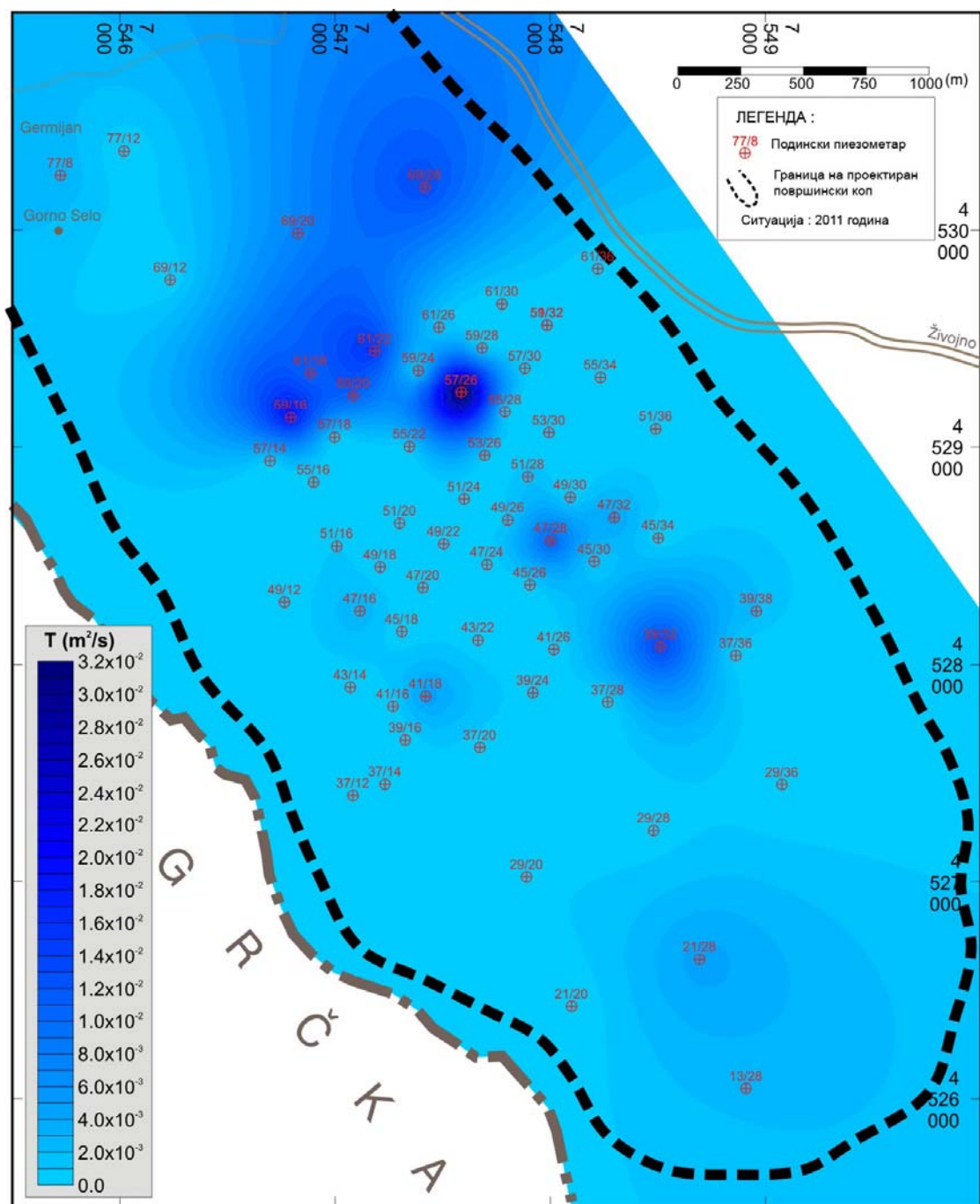
сни средини се со генерален правец на движење југоисток-северозапад и исток-запад. Нивото на подземните води на кровинските водоносни средини прикажано е на (сл.2).



Слика 2. Ниво на подземни води на кровинските водоносни средини од јагленовото наоѓалиште “Живојно“

Водоносните средини од кровинската издан се одликуваат со среден коефициент на филтрација  $K_{sr} = 3,15 \times 10^{-8}$  m/s (дупнатина 21/20) до  $K_{sr} = 7,8 \times 10^{-3}$  m/s (дупнатина 41/26), а додека коефициентот на водопр-

водност се движи во границите од  $T_{sr} = 6,3 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s (дупнатина 21/20) до  $T_{sr} = 3,45 \times 10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s (дупнатина 41/26), Водопроводноста на водоносните средини од кровинската издан на јагленовот наоѓалиште дадена е на (сл. 3).

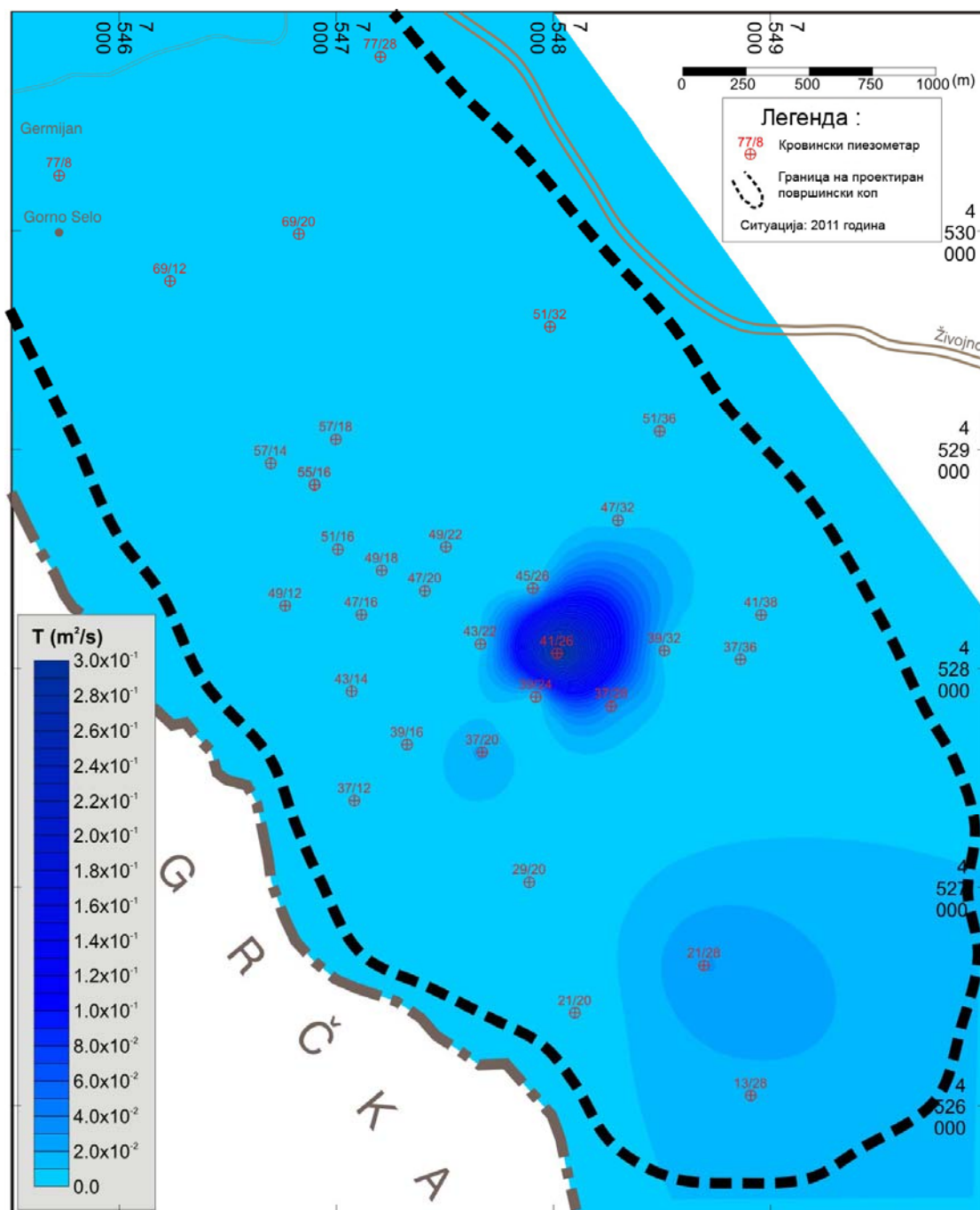


Слика 3. Водопроводност на кровинските водоносни средини од јагленовото наоѓалиште “Живојно“

### Подински водоносни средини

Изградена е до прашиности, ситнозрни доо среднозрни песоци. Водоносните хоризонти се одликуваат со променлива моќност, а се јавуваат на повеќе нивоа и на различита длабочина. Моќноста на водоносните хоризонти се движи во границите од 8,8 м (дупнатина 29/20) до 45,3 м (дупнатина 57/26).

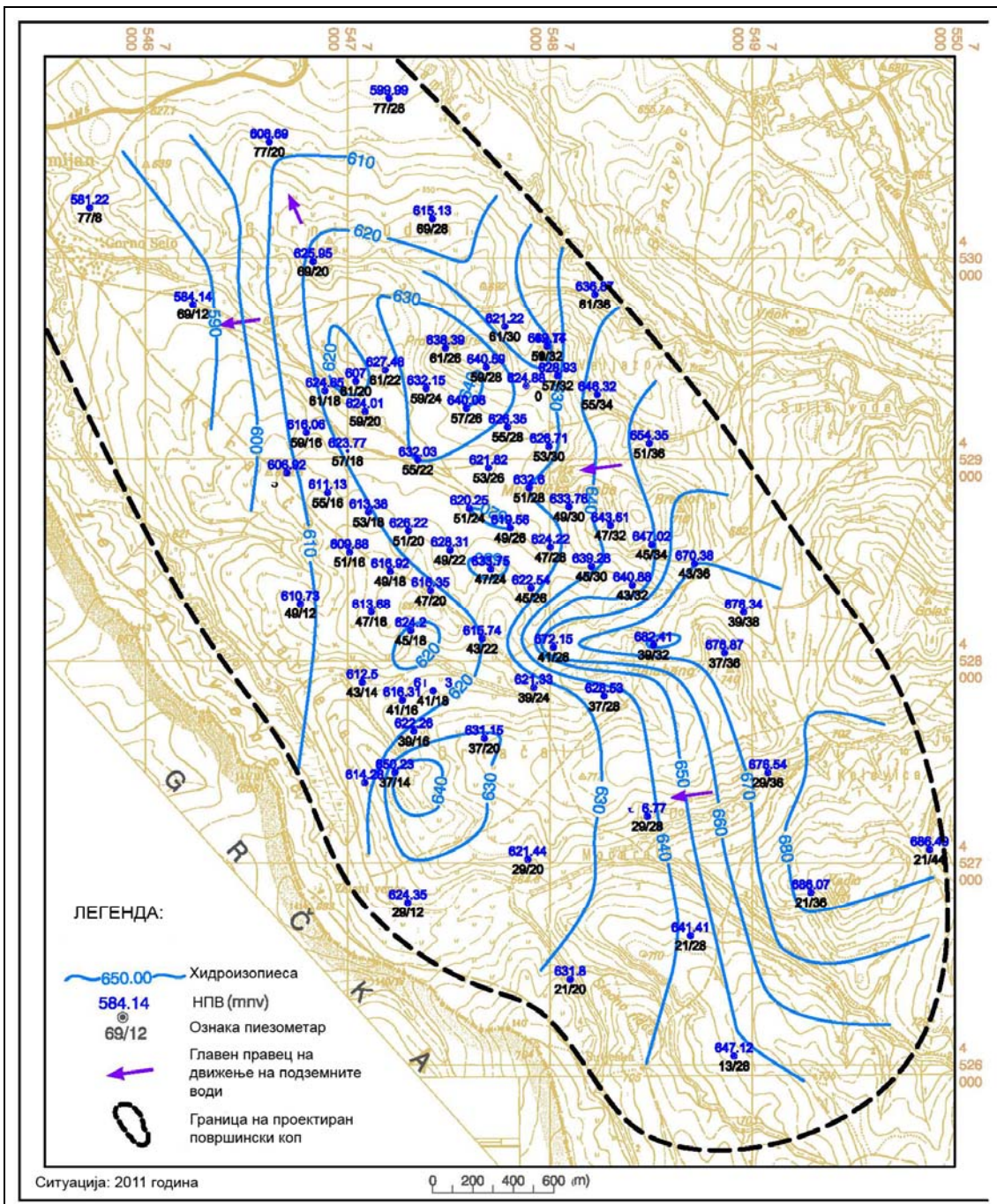
Подземните води се јавуваат на различита длабочина и тоа: на 9,13 м’ под површината на теренот (дупнатина 61/36) до 74,65 м’ под површината на теренот (дупнатина 47/20). Подземните води во рамките на овие водоносни средини се со генерален правец на движење исток - запад и југоисток - северозапад. Нивото на подземните води на кровинските водоносни средини прикажано е на (сл.4).



Слика 4. Ниво на подземни води на подинските водоносни средини од јагленовото наоѓалиште “Живојно“

Водоносните средини од кровинската издан се одликуваат со среден коефициент на филтрација  $K_{sr} = 1,9 \times 10^{-8} \text{ m/s}$  (дупнатина 49/18) до  $K_{sr} = 1,35 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  (дупнатина 69/28), а додека коефициентот на водопрово-

дност се движи во границите  $T_{sr} = 4,275 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (дупнатина 49/18) до  $T_{sr} = 1,323 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  (дупнатина 41/26), Водопроводноста на водоносните средини од кровинската издан на јагленовот наоѓалиште дадена е на (сл.7).



Слика 5. Водопроводност на подинските водоносни средини од јагленовото наоѓалиште “Живојно“

### ЗАКЛУЧОК

Хидрогеолошките истражувања и испитувања се составна целина на комплексните геолошки истражувања и испитувања за потребите на дефинирањето на резервите на јаглен од јагленовото наоѓалиште “Живојно“, општина Новаци. Дефинирањето на хидрогеолошките параметри на водоносните средини е со цел соодветна категоризација на јагленовото наоѓалиште по групи и подгрупи како и

создавањето на услови за избор на соодветен метод на решавањето на проблемот со одводнување на наоѓалиштето. како и создавање на безбедни услови во текот на експлоатацијата на јагленот.

Доминантни водоносни средини во рамките на ова јагленово наоѓалиште се кровинските и подинските водоносни средини, а кој како водоносни средини истите имаат негативно

влијание на оводнетоста на јагленовото наоѓалиште „Живојно“, општина Новаци.

Во насока на решавање на проблемите од областа на безбедната и несметана експлоатација на јагленот од ова јагленово наоѓалиште неопходно е целосно испитување на квалитетот на подземните води, како и изведба на истражно експлоатациони опитни полиња за детално дефинирање на хидрогеолошките параметри на кровинските и подинските водоносни средини, како и

создавање на услови за соодветно проектирање на систем за одводнување на истото.

Меѓуслојните водоносни средини од ова јагленово наоѓалиште се занемарливи т.е. немаат некое посебно влијание на оводнетоста на истото од причина што истите локално се појавуваат во делови од наоѓалиштето во вид на помали сочива.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Думурџанов Н. и Христов С., 1976: Основна геолошка карта на лист Витолиште кајмакчалан, Геолошки завод – Скопје;
2. Ивановски Л., Пасков П и Ралева Е., 2012: Геолошки и структурно - тектонски карактеристики на јагленовото наоѓалиште „Живојно“, II – Геолошки конгрес Крушево;
3. Илијовски З., Пешовска С., 2009: Основна хидрогеолошка карта на Р Македонија, лист Битола – Лерин, 1:100000 Градежен Институт “Македонија“ – Скопје,
4. Карајовановиќ М. и Ивановски Т., 1972: Основна геолошка карта на лист Битола – Лерин, Геолошки завод – Скопје;
5. Петров Д, Ефтимов М., 2008: Елаборат од изведените истражувања за испитување на потенцијалот со минерална вода и јагленороден двооксид CO<sub>2</sub> на Пелагониската котлина, т.е. Битолскиот дел од котлината, “Геоинженеринг – М“ ДООЕЛ Скопје.
6. Елаборат за постигнатите резултати со истражувањето во јагленосниот ревер „Живојно – Стар Рудник“ со пресметка на рудни резерви, „Живојно“, 1988год.
7. Проект за геолошки и геомеханички доистражувања за јаглен „Живојно“- Рек Битола, Градежен факултет-Скопје, 2010год

# МЕТОДОЛОГИЈА НА ИЗВЕДБА НА БУНАРСКИ СИСТЕМ ЗА ОДВОДНУВАЊЕ НА ПЈС РЕК БИТОЛА ОД ПОВРШИНСКИ И ПОДЗЕМНИ ВОДИ

Стојан Михаиловски<sup>1</sup>, Никола Димов<sup>2</sup>, Мирјана Трпчевска<sup>3</sup>, Љупчо Петрески<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Градежен институт “МАКЕДОНИЈА”, Дрезденска 52, Скопје, Македонија, gimgeo@gim.com.mk  
<sup>3,4</sup>ЕЛЕМ РЕК “Битола”, с.Новаци, Битола, Македонија

## Апстракт

Во овој труд за изведени бунари за одводнување на подинска јагленова серија (ПЈС) РЕК - Битола Б-1 до Б-12 е направен извештај на постоечките изведени работи. Состојба на изработени бунари и пиезометри начинот на изведување на бунарите и пиезометрите, вградувањето на бунарските контрукции, разработка и прочистување на бунарите и др. Исто така во овој труд се дадени податоци од направените тестирања на бунарите на поединечно тестирање и групно тестирање со што се добиени податоци за издашноста на бунарите и стварањето на депресионата линија.

**Клучни зборови:** одводнување, изработка на бунари, системско тестирање.

## ВОВЕД

Во согласност со “проектот за заштита на површинскиот коп од површински и подземни води” за изработка на експлоатациони бунари во Површинскиот коп на подинска јагленова серија во Рударско- енергетски комбинат – Битола (ПЈС-РЕК Битола) се одвиваат следните работни активности и тоа:

На објектот одводнување на Подинска јагленова серија (ПЈС) РЕК-Битола за отварање на главен експлоатационен усек, преку кој ќе се извршат подоцна сите потребни операции во технолошкиот процес за експлоатација на подинската јагленова серија проектирани се 19 експлоатациони бунари за одводнување и 15 пиезомери за следење на снижувањето на нивото на поземните води (НПВ) - депресиона линија при системско црпење на бунарите.

Градежен институт “Македонија” а.д. – Скопје во ПЈС РЕК - Битола има формирано градилиште согласно сите потреби за ваков тип на објект. Технички и оперативно досега се изработени 12 бунари во делот на усекот и 3 бунари од новиот низ по карактеристичен профил 55/52-31/64. Изработени се 15 пиезометри за

следење на нивото на подземната вода односно следење на депресионата линија.

Извршена е целосна припрема за тестирање на издашноста на бунарите и спроведен е тест за сите 12 бунари поединечно и групно на три плус три на првите шест бунари односно од Б-1 до Б-6.

Измената на локацијата за вториот низ на бунари означени како БД-1 до БД-7 е дојдена како резултат на тоа дека процесот на експлоатација на откритката е веќе започнат во прозор 1 и 2 и во тој случај овие бунари ја губат својата функција, како резултат на тоа се определени нови локации кои се прикажани на (слика 2) така што ќе овозможат за време на нивната експлоатација да ја зафатат водата која се смета за прилив во ПЈС.

Местоположбата на пиезометрите и бунарите е дадена на ситуација (слика 2).

Според проектот сите пиезометри беа предефинирани како збирни, односно ги зафаќа сите типови на издани. За следење на влијанието на црпењето на бунарите, направено е ажурирање односно прераспределба на пиезометрите со цел на независно следење на секој издан посебно (кровински, меѓуслоен, подински).

## 1. Хидрогеолошки карактеристики на теренот на ПЈС РЕК Битола

Во хидрогеолошки поглед, на просторот на усекот за отворање и откопување на откривката и јагленот во првите пет години, издвоени се следниве издани:

*Кровински издан (К)* формиран во кровинските седименти претставени со песоци, прашина и глини. Седиментите се хетерогени во хоризонтален и вертикален правец и исклинуваат на исток, југ и југозапад. Во кровинскиот комплекс е формиран издан со слободно ниво на вода. Прихранувањето на изданот е по периферниот дел од неогениот басен на контактот со основната карпа изградена од грус на гнајс и гнајс, источна јужна и југозападната и од пелагонискиот басен во северозападниот дел на лежиштето каде е отворено кон пелагониска неогена депресија како и од атмосферски врнежи на отворениот дел на површинскиот коп. Регистрираните пиезометарски нивоа во дупчотините се однесуваат на нивото на подземните води во кровинскиот комплекс, а не на водоносните песоци на различни длабочини на комплексот. Дебелината на седиментите е до 70 m.

*Меѓуслојниот издан (М)* е формиран во прашиности и песоци прослојки на меѓуслојната јаловина од подинската јагленова серија. Дебелината на седиментите е до 20 m. Генералниот пад на нивото на вода е од југоисток кон северозапад.

*Подински издан (Р)* е формиран во грус од гнајс и прашиности песоци кои се наоѓаат во подината на јагленосната серија. На ова подрачје непосредната подина на јагленот ја составуваат, главно јагленови глини и глина, споредно грус од гнајс и прашиности песоци. Грусот од гнајс и гнајсот се наоѓаат во непосредната подина од проектираниот коп во зоната помеѓу профилските линии 62-62' и 72-72'. Дебелината на седиментите во непосредната подина на јагленот е до 15 m. Генералниот пад на нивото на вода е од југоисток кон северозапад.

## 2. Технологија и изработка на бунари од Б-1 до Б-12 за заштита на копот од подземни води

Како резултат од анализата на дебелина, граница на простирање, длабина

на залегнување и филтрационите карактеристики на хидрогеолошките колектори во подината и кровината на јагленовите слоеви, големината на заводењето на хидрогеолошките колектори и позитивните искуства во примената на дренажните бунари за намалување на нивоата на подземни води на површинскиот коп, произлезе проектно решение за дренирање на подземните води во работната зона на површинскиот коп со систем од дренажни бунари. Внатре во експлоатационото подрачје на копот вкупниот број на проектирани бунари за фазата на отворање изнесува 19.

Условено од хидрогеолошките карактеристики на застапените литолошки формации, како и намената на бунарите се изведуваат со метода на реверсно дупчење. Оваа метода овозможува да се задржи природната филтрација на карпестите маси. Методата за реверсното дупчење е следна: Бунарската дупчотина е исполнета со чиста вода од коџа на терен до длабина каде се наоѓа длетото. Длетото за бушење е прикачено за бушачки цевки со  $\varnothing 100$  mm, а во бушачката цевка е инсталирано уште една цевка со  $\varnothing 2,54$  mm која е спуштена во длабина на 10 m над длетото. Низ помалата цевка се пушта компримиран воздух кој има константен притисок. Се создава флуид воздух - вода - ситно дробен материјал и надпритисок кој ретроактивно се враќа низ бушачката цевка со  $\varnothing 100$  mm. Бушачката цевка има посебно уграден отвор за излез на флуидот низ ротационата глава на дупчалката, а од таму со посебно црево под притисок флуидот се испушта во базен за таложеење. Потоа преку преливник флуидот се носи во втор таложник и се додава чиста вода колу што е потребно, и се враќа во бунарот. Нивото на водата во бунарот и таложниците мора да бидат на исто ниво.

## 3. Тип на бунарска конструкција

Пречникот на бунарската конструкција изнесува  $\varnothing 320/250$  mm.

За конструкцијата на бунарите се одбрани PVC бунарски цевки со песочни филтри кои се изработуваат од кварцен гранулат меѓусебно залепен со епоксидна смола. Кај овој вид на бунарска конструкција е изградена од филтерски PVC бунарски цевки со песочни филтри (слика 1).

Предностите од примената на бунарска конструкција од PVC бунарски цевки со песочни филтри се следниве:

- Добра статичка и филтрациона стабилност на бунарската конструкција;
- Мали вредности на хидрауличните отпори при струење на водата низ филтерската конструкција и ламинарниот режим на струење во прифилтерската и филтерската зона на бунарот;
- Водоприемна способност по целиот наводенет обем на цевката;
- Можност за одбирање гранулација на зрната на филтерот од широкиот произведен асортиман на овие цевки, според гранулометриските карактеристики на хидрогеолошките колектори;
- Покусо време за вградување на бунарската конструкција, што го намалува ризикот од зарушување на бунарската дупчотина;



Слика 1. PVC Бунарски цевки со песочни филтри

Од производната програма на чакалесто-песочните цевки, во согласност со филтерските правила и според видот на хидрогеолошките колектори, дефинирана е гранулацијата на зрната на филтерот, од 0,8 до 1,2 mm. Порозноста на чакалесто-песочните филтри е 23(%) и пропусна моќ до 8 l/s.m'.

#### 4. Изработка на бунари Б-1 до Б-12 за одводнување на ПЈС РЕК - Битола

Технологијата на изработка на бунарите е условена и прилагодена со прогнозираниот геолошки профил на местото за изработка на бунарите, намената на бунарите и

конкретните техничко-технолошки услови и околности.

Во зависност од литолошкиот состав на средината, тврдоста на наслојките и хидрогеолошките карактеристики на карпестите маси, за дупчење на бунарите во ПЈС РЕК - Битола се користи методата на ротационо-реверсно дупчење, користејќи чиста вода како работен флуид. Се користи чистата вода како флуид за плакнење во текот на процесот на дупчење со што се избегнува можноста за колмирање на водоносните слоеви и се обезбедуваат услови протекувањето на бунарите да одговара на издашноста на водоносните слоеви.

Гарнитурата која се користи за дупчење (самодна дупчалка FRASTE FS 300), според техничките карактеристики, ја постигнуваат проектираната длабина и бараниот пречник на дупчење, за ротационо реверсна технологија на дупчење.

#### 5. ПОСТАПКА ЗА ИЗРАБОТКА НА БУНАРИ И ПИЕЗОМЕТРИ ВО ПЈС РЕК БИТОЛА

##### 5.1. Изработка на воведна колона

Се изведува рачно ископан бунар со  $\varnothing$  1100 mm до длабочина од 5 m. Потоа следи поставување на заштитна уводна челична колона од 0 до 5 m со  $\varnothing$  1000 mm. Се врши цементација на меѓупросторот  $\varnothing$  1100 mm/ $\varnothing$  1000 mm од 3-5 m.

Во завршната фаза на изработка на бунарот воведната колона се извлекува.

Според оваа позиција следат работи на вградување на воведни колони на вкупно 19 бунарски дупчотини.

##### 5.2. Дупчење од воведна колона до проектирана длабина

По вградувањето на воведната колона се продолжува со изработка на дупчотината на бунарот до неговата проектирана длабина со длето кое има пречник  $\varnothing$  820 mm.

Процесот на дупчење се одвива континуирано се до проектираната длабина на бунарот. Во текот на дупчењето се евидентира брзината на напредување на дупчењето низ различни литолошки членови и се набљудува количината на флуид во системот за циркулација.

По достигнување на конечната длабина на дупчење се почнува со подготовка за



вградување на бунарската конструкција. Според овој процес на дупчење се изработени вкупно 19 бунарски дупкотини, со ротационо реверсна технологија на дупчење.

### **5.3. Вградување на бунарска конструкција**

Веднаш по завршувањето со изработката на дупкотината на бунарот, се пристапува кон вградување на бунарската конструкција од PVC бунарски цевки со песочни филтри со  $\varnothing 320/250$  mm.

Бројот на филтерските цевки, бројот на дистанцери и др., се подготва врз основа на податоците добиени во текот на дупчењето на дупкотината на бунарот. Со вградувањето на бунарската конструкција, истовремено се вградува и пиезометар за следење на (НПВ) во меѓупросторот на бунарската конструкција и сидот на бунарот (слика 3).

Бунарската конструкција од PVC бунарски цевки со песочни филтри со  $\varnothing 320/250$  mm се подготвува и детално се прегледува пред да се пристапи кон нејзино вградување. Во колку со дупчењето се утврди отстапување од прогнозираниот литолошки профил на теренот, тогаш се усогласува положбата и должината на филтерската конструкција според теренските податоци (истото важи и за пиезометарската конструкција).

Во дупкотина која е исполнета со вода се вградува бунарска конструкција по вертикална постапка на вградување, со сложување (навој) на PVC филтерски цевки со песочен филтер, се до крајот од проектираната длабина.

За обезбедување на центричноста на бунарската конструкција во бунарот од дупкотината, на секои 10 m се поставуваат централизери. Пречникот на централизерите изнесува  $\varnothing 700/320$  mm.

### **5.4. Вградување на пиезометарска конструкција во меѓупросторот на бунарска конструкција и сидот на бунарот**

Со цел оценка на квалитетот на изработката на бунарот и мерење на нивото на вода во бунарот, во секој бунар се вградува и пиезометар во засипот. Вградувањето на пиезометарската конструкција се врши паралелно со вградувањето на бунарската конструкција.

Вградените пиезометари се од PVC цевки  $\varnothing 60$  mm и се состои од таложник, филтер и надфилтерска цевка:

Фиксирањето на пиезометрите за бунарската цевка се прикачуваат на централизерите, со ширина од 30 mm, така што растојанието на пиезометарот од надворешната површина на бунарската конструкција треба да биде на околу 0,1 m. Централизерите се поставуваат на секои 10 m.

### **5.5. Вградување на песокливо-чакалест засип**

За хидрогеолошките колектори на песок анализирано е процентуалното учество на поединечните фракции на зрно и со репрезентативна крива на гранулометрискиот состав издвоени се зони за можен засип. Потоа во рамките на издвоените зони дефинирани се гранулометриските криви на засипот.

Врз основа на критериумот на Терцаг

$$4d_{15} \leq D_{15} \leq 4d_{85}$$

каде е:

d - Пречник на зрно од оригинален материјал од водоносниот слој;

D - Пречник на зрно од засипот.

Одредена е големината на зрното од засипот и истата е од 1 до 3 mm.

Избраната гранулација на засипот треба да ги задоволи критериумите на филтрациона стабилност  $F_{15}/B_{15} < 4$  и водопропусност  $F_{15}/B_{15} > 4$ , каде е:

$F_{15}$  - 15(%) учество на филтерскиот засип;

$B_{15}$  - 15(%) учество на основниот материјал од водоносниот слој.

Количината на засип се одредува од односот:

$$V = \frac{(D^2 - d^2)}{4} \cdot H\pi$$

каде е:

V - Зафатнина на просторот за филтерски засип ( $m^3$ );

D - Пречник на дупчење на бунар,

$D=1100/820$ (mm);

d - Пречник на бунарска конструкција,  $d=0,325$ (m);

H - Висина на филтерски засип;

Филтерскиот засип треба да е заоблен или полузаоблен со мали вредности на коефициентите на нерамномерност ( $U=3$  до 5).

Гранулатот се истура од камионите на PVC-фолија да недојде до мешање на материјалот со почвата.

Во текот на вградувањето на засипот во дупчотината се контролира и одржува нивото на вода. Брзината на вградување на засипот е прилагодена со времето на таложее. Поради тоа се врши повремено контрола на длабината на неговото вградување.

Вградувањето на филтерскиот засип се врши со соодветна динамика низ соодветна инка за да се обезбеди постепено таложее на гранулатот во вертикалниот профил.

Од дното на бунарот па до положба на нивото на подземните води (на 2 m под површината на теренот), се вградува гранулат со големина на зрно од 1,0 до 3,0 mm. Во завршната фаза на вградување на гранулатот се извлекува челичната воведна колона.

По плакнењето и разработката на бунарот се врши проверка на состојбата на длабината на горната површина на засипот. Ако се утврди дека дошло до негово пропаѓање, се врши дополнување со засип.

### **5.6. Освојување и разработка на бунарот**

Разработка на бунарот се изведува по метода на аерлифтување. Со постапката на плакнење со аерлифт се обезбедуваат услови за работа на длабинска пумпа во текот на експлоатационата работа на бунарот, бидејќи евентуална содржина на песок во водата негативно влијае на работниот век на пумпата.

За методата на аерлифтување се користи компресор со посебна конструкција изградена од комбинација на цевки со различни пречници за довод на воздух и одвод на вода и нечистотии, меѓусебно споени во долниот дел, преку т.н. мешач на воздух. Односот на овие цевки е ексцентричен. Принципот на работа се состои во тоа што со втиснување на компримиран воздух во дупчотината, се создава аеризирана лесна смеса под чие дејство поради големите влезни брзини се изнесуваат исталожени честички од глина, песок и други нечистотии, од дното и од сидовите од бунарската конструкција

Опремата за компресирање, односно всисната цевка се наоѓа на длабина која изнесува во просек 2/3 од длабината на бунарот. Просечното време за плакнење со

аерлифт изнесува 12 h, т.е. се до избистрување на водата. Критериумот на плакнење е содржината на цврсти честички во испумпуваната вода да е помала од 5 gr/m<sup>3</sup>. За време на аерлифтувањето се вршат мерења на нивото на вода во бунарот и количината на вода која се црпи од бунарот.

Постапката на аерлифтување се сведува на следново: Аерлифтот прво се спушта во таложникот и со минимално втиснување на компримиран воздух започнува плакнењето на бунарот одејќи одоздола нагоре, sukcesивно поместувајќи ја конструкцијата на аерлифтот за 1,0 до 1,5 m. Со истиот капацитет на плакнење се повторува процесот одозгора надолу. Во зависност од содржината на песок во водата, се пристапува кон зголемување на капацитетот на плакнење и се продолжува со аерлифтувањето по претходно опишаната постапка.

По плакнење на бунарот се врши плакнење на пиезометарот во засипот од бунарот со метода на аерлифтување.

### **5.7. Подготвителни работи за тестирање на бунарите**

Пробното црпење се реализира по принципот степ-тест, со четири протекувања (намалувања) и со следење на враќањето на нивото по престанувањето со црпењето. Пробните црпења се реализираат постепено, како што се завршува изработката на поединечен бунар.

За следење на осцилацијата на пиезометарските нивоа во набљудуваните објекти, како и протекувањето на пробниот бунар, се користат “micro diver” (уред за автоматско регистрирање на нивоата на подземна вода).

Micro diver-от работи на принцип регистрирање на притисокот од водениот столб (дебелина на 10 m воден столб ствара притисок од 1 bar). Пред да се започне со мерење Micro diver-от го програмираме за отчитување на нивото на подземна вода. Потоа Micro diver-ите се вградуваат во бунарските пиезометри и пиезометрите за следење на нивото на подземна вода. Кога е завршено тестирањето од Micro diver-ите ги обработуваме податоците со што ги добиваме потрениите податоци за издашноста на бунарите.

## 5.8. Тестирање на бунарите

**Степ тест** - Пред почетокот на опитот (вклучување на пумпата) се поставува опремата за мерење и регистрирање на пиезометарските нивоа во одбраните набљудувани објекти. Интервалот на регистрирање на нивоата се приспособени на 1 минута. Мобилниот мерач на протокот се поставува на предвиденото место на потисниот цевковод.

Во периодот од 4 часа пред почеток со опитот, на секој час се мерат пиезометарските нивоа во предвидените набљудувачки објекти. Еден час пред почеток на опитот се активираат автоматските мерачи на нивоата.

Степ-тестот се спроведува со континуирано црпење на водата од бунарот со подводна пумпа со четири промени на протекувањето, и тоа од најмало до најголемо.

Односот на големината на протекување по намалувања треба да биде  $Q_1 : Q_2 : Q_3 : Q_4 = 1 : 2 : 3 : 4$ . Со цел обезбедување на комплетни информации за режимот и ефектите од црпењето, динамиката на регистрирање на нивоата на вода која е иста по секое протекување е следнава: 1', 3', 5', 10', 15', 20', 30', 40', 1 h, 1h 30', 2 h, 3 h, 4 h, 5 h, 6 h, 8 h, 10 h, 12 h, 14 h, 16 h, 18 h, 20 h, 22 h, 24 h. Поединечно тестирање на секој бунар.

Контролата на протекување треба да се врши истовремено со мерењето на нивото на вода. При секоја промена на капацитетот на црпење, се врши мерење на содржината на песок во водата.

По престанувањето со црпење се регистрира враќањето на нивото на вода со иста динамика на мерење.

На крајот од црпењето, се зема примерок од подземните води и се праќа на анализа за хемискиот состав во лабораторија.

Групно тестирање на бунарите - се врши во група по три соседни бунари во времетраење од 72 часа.

## ЛИТЕРАТУРА

При изработка на прелиминарниот извештај за изведени бунари за одводнување на подинска јагленова серија (ПЈС) РЕК - Битола, користена е следната литература и техничка документација

1. Прелиминарен извештај од изработка на бунари за одводнување на ПЈС-РЕК Битола (Состојба 31.12.2011), Скопје, Јануари 2012 година;

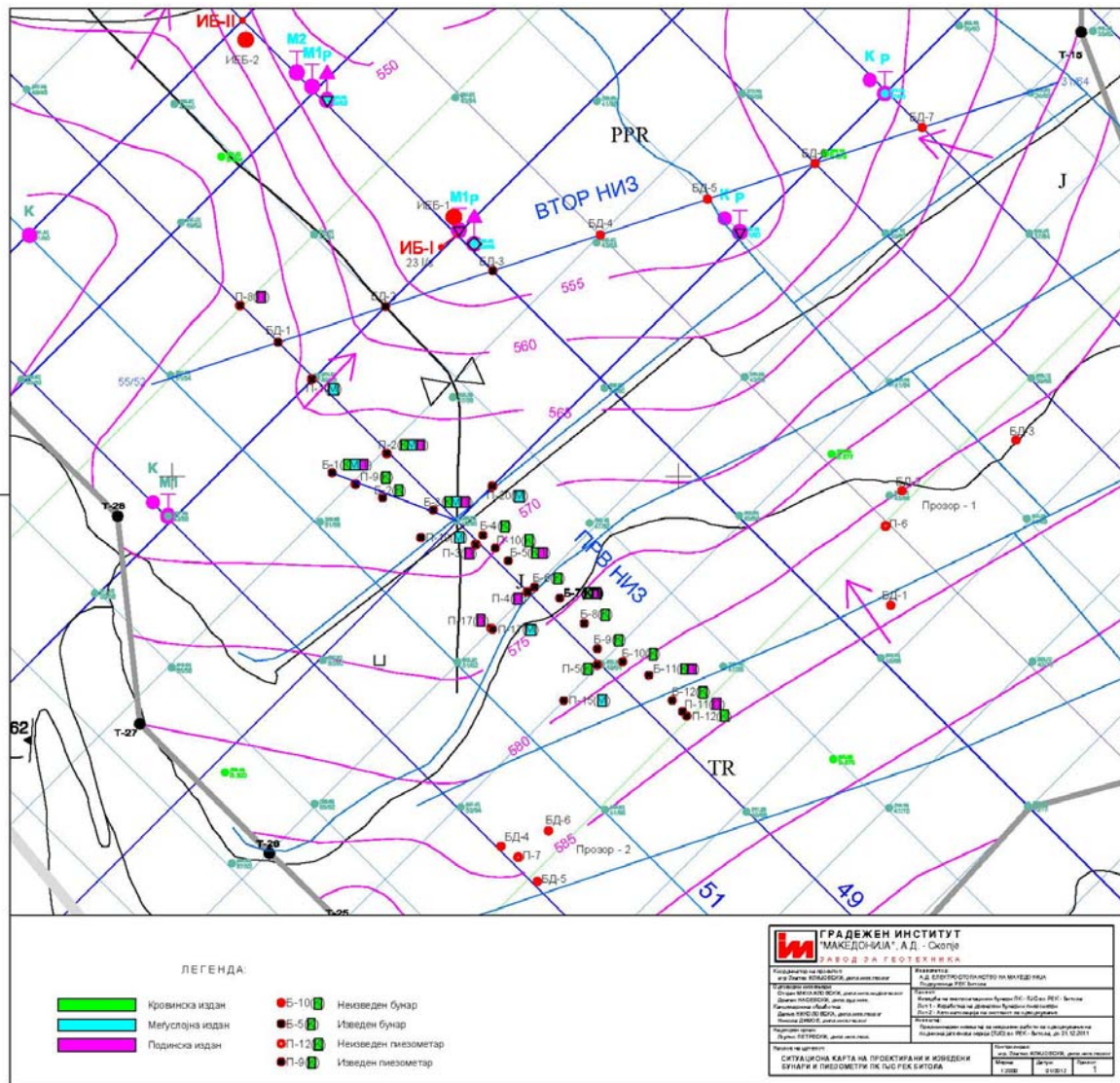
2. Прелиминарен извештај за изведени бунари за одводнување на подинска јагленова серија (ПЈС) РЕК - Битола Б-1 до Б-2, Скопје, Јули 2012 година;

3. Градежен институт „Македонија“, Елаборат за хидрогеолошки и инженерскогеолошки истражувања и испитувања на подинската јагленова серија на ПК Суводол, Скопје, 2004;

4. Главен рударски проект за одводнување и експлоатација на јагленот од ПЈС Рудник “Суводол” - Проект за заштита на површинскиот коп од површински и подземни води, Скопје, 2008/2009 година;

5. Геолошки завод - Скопје, Елаборат за хидрогеолошките карактеристики на јагленовиот басен Суводол – Битола, Скопје, 1975 година;

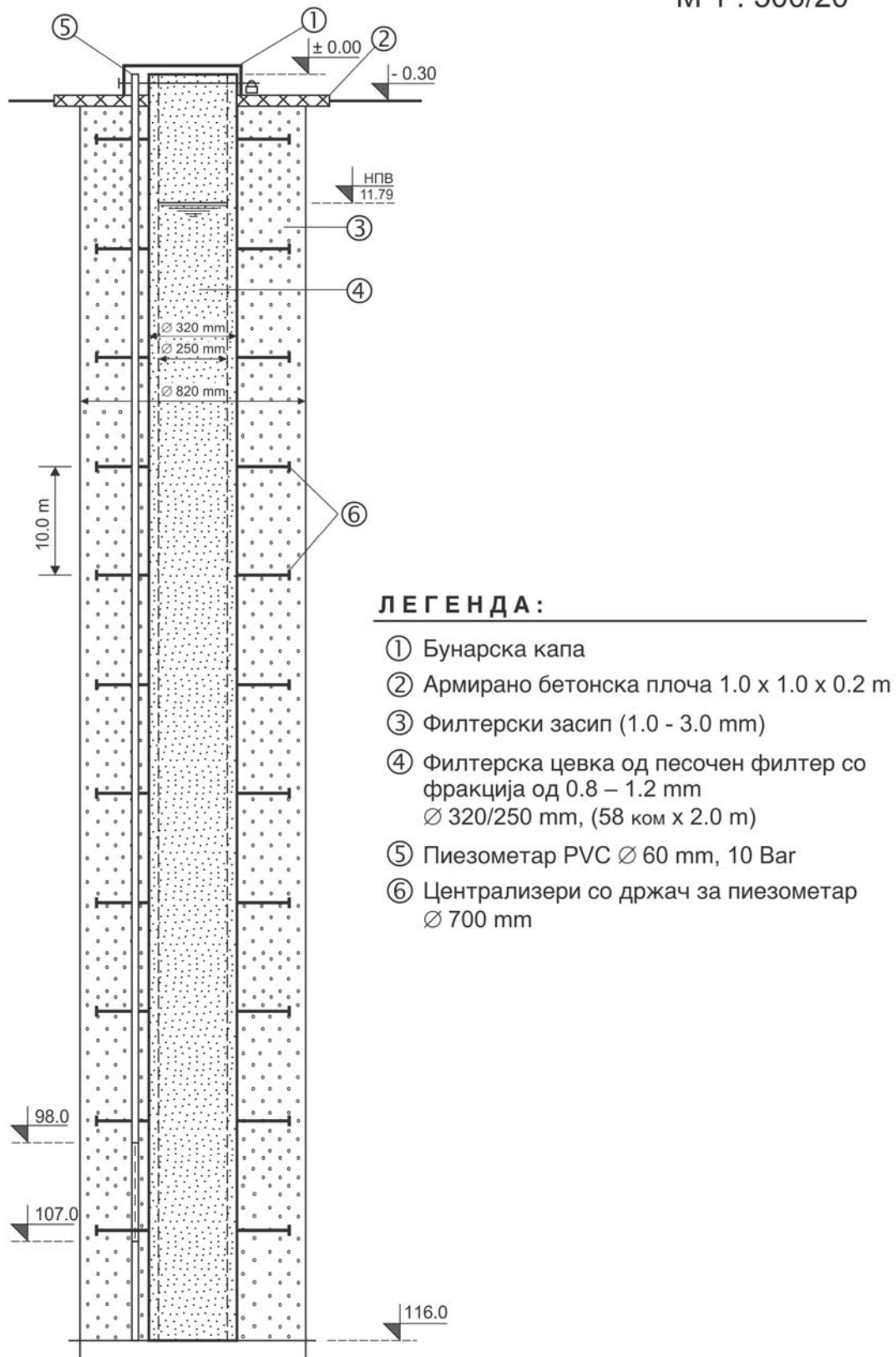
6. Геолошки завод - Скопје, Дополнителни хидрогеолошки истражувања на главниот јагленов слој, Скопје, 1976 година;



Слика 2. Ситуациона карта на проектирани и изведени бунари и пиезометри во ПЈС РЕК Битола

## КОНСТРУКЦИЈА НА ЕКСПЛОАТАЦИОНЕН БУНАР ЕБ – 1

М 1 : 500/20



Слика 3. Конструкција на експлоатационен бунар со песочни филтри

# **ГЕОФИЗИКА**



# ГЕОЕЛЕКТРИЧЕН МОДЕЛ НА КОЧАНСКАТА ДЕПРЕСИЈА

Благица Донева<sup>1</sup>, Љупче Ефнушев<sup>2</sup>, Ѓорѓи Димов<sup>1</sup>, Сања Постолова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет „Гоце Делчев“, Факултет за природни и технички науки, Гоце Делчев 89, Штип, Македонија, [blagica.doneva@ugd.edu.mk](mailto:blagica.doneva@ugd.edu.mk), [gorgi.dimov@ugd.edu.mk](mailto:gorgi.dimov@ugd.edu.mk)

<sup>2</sup>Министерство за економија, Сектор за минерални суровини, Скопје, Македонија, [ljupce.efnusev@economy.gov.mk](mailto:ljupce.efnusev@economy.gov.mk)

## Апстракт

Геоелектриката е гранка на геофизиката која ги изучува и следи електричните и, заедно со геомагнетизмот, електромагнетните полиња на Земјата. Геоелектричното картирање и сондирање претставуваат две основни методи на геоелектрично истражување на земјината внатрешна градба.

Во овој труд ќе биде презентирани процесот на геоелектрични мерења на Кочанско поле. Опишана е постапката на мерење, обработката на податоците, добиените модели и профили на средината и корелацијата помеѓу моделите и геолошката средина.

Современите компјутерски системи и програми (софтвери) овозможуваат обработка на голем број податоци за релативно кратко време и моделите воедно можат да бидат повеќепараметарски. Трудот се темели на податоците од теренските мерења.

**Клучни зборови:** геоелектрика, модел, депресија, Кочани

## ВОВЕД

Геоелектрични истражувања на Кочанска депресија се вршени со цел да се корелира геолошката градба на теренот со добиениот геоелектричен модел. Мерењата се вршени со помош на инструментот за геоелектрични мерења Terrameter SAS 1000, а резултатите се обработени со програмскиот пакет IPI 2 win. При мерењата е користена методата на специфичен електричен отпор.

Оваа метода овозможува добивање на квантитативни електрични податоци од теренските резултати добиени со испитувањата. На тој начин, може да се пресмета просечната отпорност на подземниот простор, со што се зголемува можноста за добивање на поточни резултати од методите на сопствен потенцијал. Со промената на вистинската отпорност по длабочина, може теренската работа да се поврзе со промената на длабочината на која се однесуваат електричните податоци добиени на површината на теренот. Оваа метода се состои во пропуштање на струја со позната јачина низ теренот кој го истражуваме и следење на падот на потенцијалот на струјата или некоја друга електрична големина која е поврзана со тој струен ток. Падот на потенцијалот означува присуство на рудно тело кое привидно го нарушува "хомогенитетот" на дадената

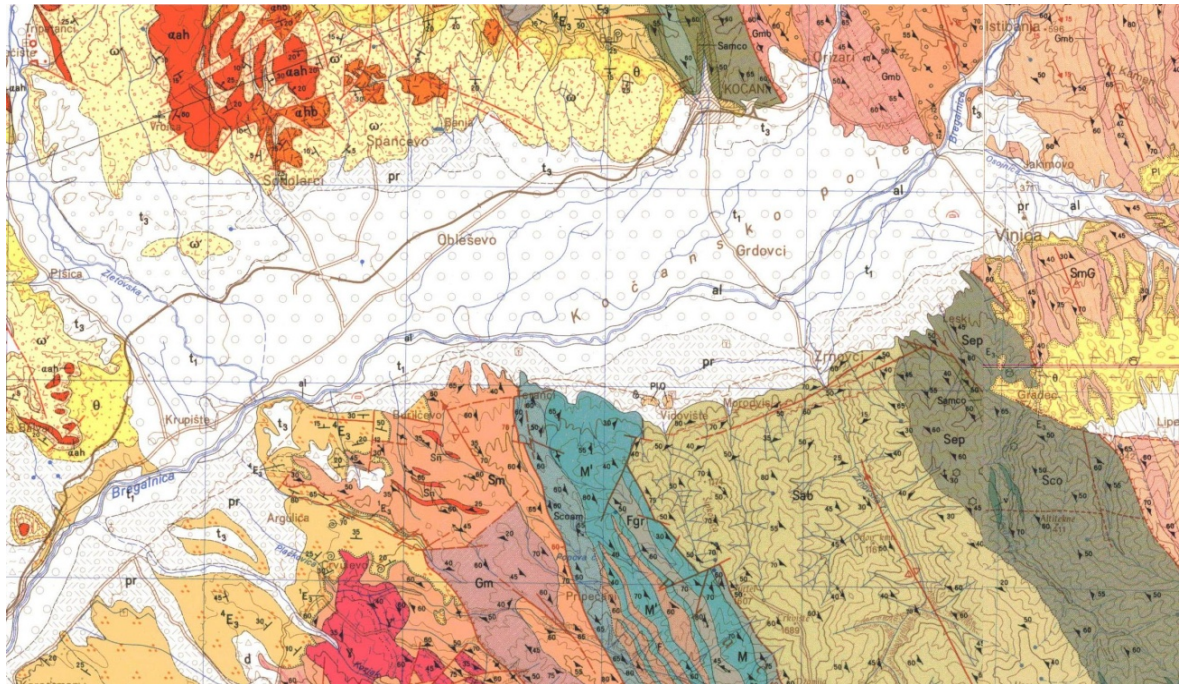
средина, што значи и детектирање на самото рудно тело.

## ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА КОЧАНСКА ДЕПРЕСИЈА

Во геолошката градба на Кочанската котлина се застапени карпи од прекамбриска, палеозоиска, мезозоиска (јурска) терциерна и квартерна старост (сл. 1).

По својот структурно - морфолошки облик, Кочанската котлина, на чиј простор се наоѓа и истражуваниот локалитет, претставува типичен тектонски грабен, продукт на неотектонските процеси во касната Алписка орогенеза. Оваа структура има протегање исток - запад и ја сече структурата на Вардарската зона од запад и Српско - Македонскиот масив од исток односно се наоѓа на самиот контакт од овие геотектонски единици. Контактот на овие две единици се карактеризира со длабока интензивна тектоника со присуство на плутонити и вулканити т.е. со релативно млада магматска активност која можеме да ја сметаме за зона на терциерна магматска реактивизација (Кратовско - Злетовски вулканизам).



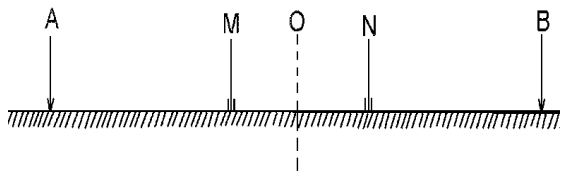


al	Алувијум	$\theta$	Андезитски туф	$\gamma$	Адамелити	Sab	Албит-кварц-серицит - хлоритски шкрилци
$t_1$	Пониска речна тераса	PI	Песоци, суглини и чакали	Scaam	Хлорит-амфиболски шкрилци	GSm	Гнајсви, амфиболити и микашисти
pr	Пролувијум	$\theta\alpha q$	Дашитски игнимбри	M'	Мермери и карбонатни шкрилци	Gm	Мусковитски гнајсви
$t_3$	Стара речна тераса	$E_3$	Горна зона на флишот: глинци и песочници; лапорци, варовници и глинци(а)	Fgr	Графитични шкрилци и филити	Sm	Микашисти и лептинолити
$\omega$	Андезитски бречи	$E_3$	Базална серија: песочници, лапорци и конгломерати	Samco	Амфибол-хлорит-серицитски шкрилци	Gmb	Дволикунски тракасти гнајсви
$\alpha hb$	Хорнбленда-аугит-биотит андезити	$\gamma$	Биотитски гранити	Sep	Епидот-кварц - серицит-хлоритски шкрилци		

Слика 1. Прегледна геолошка карта на Кочанскиот грабен

## ГЕОЕЛЕКТРИЧЕН МОДЕЛ НА КОЧАНСКАТА ДЕПРЕСИЈА

Геоелектричниот модел на истражуваниот терен на Кочанската депресија е добиен со примена на геоелектрични мерења, односно вертикално геоелектрично сондирање (VES), при што е користена методата на привидна геоелектрична отпорност на средината со Шлумбергеров распоред на електроди (сл. 2).



Слика 2. Шлумбергеров распоред на електроди

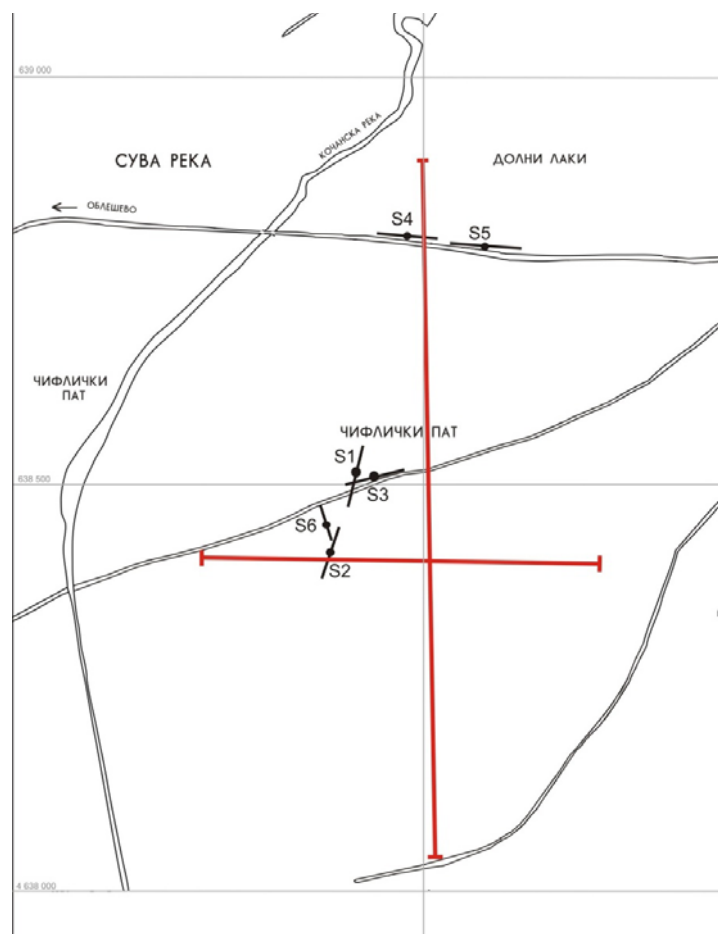
Симетричен распоред од четири електроди каде што  $AO = OB = AB/2$ , а  $OM = ON = MN/2$  при што  $MN/2$  е значително помало од  $AB/2$  се нарекува Шлумбергеров распоред на електроди.

Единица за пад на напонот на средината е [mV], а единица за јачина на струјата која се пропушта низ струјните електроди е [mA]. Единица со која се мери привидната геоелектрична отпорност е [ $\Omega m$ ]. Геоелектричниот модел на истражуваниот терен на Кочанската депресија, е разработен во два профила со шест сонди (сл. 3). Добиените дијаграми и профилот се дадени на сл. 4 до 10.

Мерните податоци добиени од Terrameter SAS 1000 од сите шест сонди се дадени во табела 1.

Табела 1. Мерни податоци

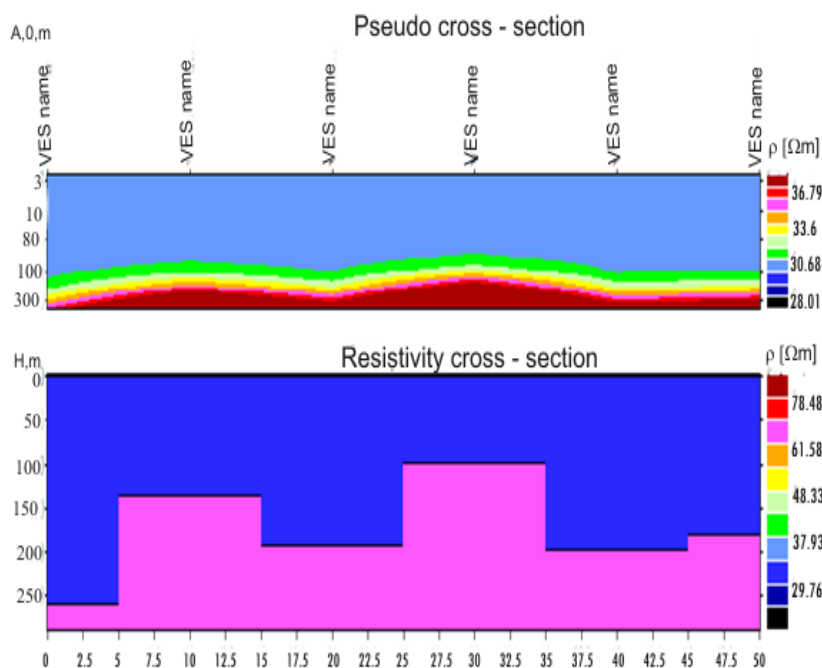
Привидна отпорност ( $\Omega m$ )							
СОНДА							
AB/2 (m)	MN (m)	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
2,5	0,3	28.153	38.113	94.049	26.58	60.473	4.6787
4	0,3	30.974	39.212	74.425	27.638	125	14.949
6	0,3	38.226	41.867	50.471	33.07	86.447	3.8476
8	0,3	41.718	43.89	45.832	36.383	77.75	58.027
10	1	44.06	47.209	47.371	43.082	55.966	233.86
15	1	45.451	52.125	50.463	43.733	52.443	52.146
20	1	46.112	55.649	52.144	51.066	56.654	57.097
30	3	54.589	57.81	58.606	41.564	55.558	20.263
40	3	27.327	61.187	68.607	32.335	53.714	370.21
60	3	72.597	70.897	71.57	23.348	49.95	10720
80	3	87.719	77.686	69.877	20.553	15.866	66.498
100	10	52.994	78.902	70.252	20.236	1.0715	2920
150	10	53.724	70.641	65.395	25.003	35.502	64.818
200	10	63.008	56.809	52.62	16.451	6.3668	64.469
250	10	46.005	49.497	42.669	80.271	4.0988	52.85
300	30	36.339	42.284	33.716	67.431	32.841	48.369
400	30	63.804	27.699	25.98	100.98	8.1365	47.447



Слика 3. Карта со поставени геофизички профили и сонди







Слика 10. Геоелектричен профил

### ЗАКЛУЧОК

Геоелектричните истражувања, односно сондирање, јасно ги маркираат границите на хоризонталните слоеви со различна специфична отпорност.

На истражуваниот терен, обемот на теренски мерења не дава можност за дефинирање на вертикални структури (раседи или контакти).

Од анализата на добиените резултати, односно дијаграми, може да се каже дека корелацијата помеѓу геолошката средина и геоелектричниот модел е добра, односно

може да се заклучи дека издвоените слоеви според различните вредности на специфичниот отпор добро корелираат, т.е. средините кои се со намален специфичен електричен отпор се претставени со квартерни седименти.

Јасно се издвојуваат зоните со изразен хидропотенцијал (намален специфичен отпор), односно потврдени се колекторските системи кои имаат мал специфичен електричен отпор и изолаторските системи.

### КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. Арсовски М., „Тектоника на Македонија“, Рударско - геолошки факултет - Штип, 1997
2. Геолошка карта на Македонија, лист Кочани, 1:100 000
3. Делипетров Т., „Основи на геофизика“, Рударско - геолошки факултет - Штип, 2003
4. Jakosky J., "Geofizička istraživanja", Subotica, 1960

5. Slimak Š., "Inženjerska geofizika", Beograd, 1996
6. Прирачник за користење на АВЕМ Terrameter SAS 1000
7. Прирачник за користење на софтверот за анализа и интерпретација на податоци од геоелектрично сондирање IPI2Win
8. Толкувач на геолошката карта на Македонија, лист Кочани

# ИНВЕРЗНА ЕКСТРАПОЛАЦИЈА НА БРАНОВО ПОЛЕ – МИГРАЦИЈА

Сања Постолова<sup>1</sup>, Благица Донева<sup>1</sup>, Марјан Делипетров<sup>1</sup>, Тодор Делипетров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет „Гоце Делчев“, Факултет за природни и технички науки, Гоце Делчев 89, Штип  
sanja\_postolova@yahoo.com

## Апстракт

Во трудот се прикажани физичките методи на анализа на сеизмичкиот бран со посебен обврст на методата на миграција на сеизмичкиот бран. Прикажана е дифракционата метода, методата на конечни разлики, миграција со примена на Кирхоф-овиот интеграл и дадена е методата за миграција по длабочина. Прикажани се 2D и 3D методи на миграција.

**Клучни зборови:** сеизмички бран, миграција, анализа, геофизички модел, 3D

## ВОВЕД

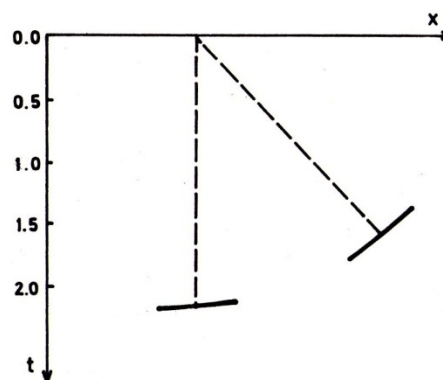
При анализа на сеизмичките бранови денес се користат високо софистицирани софтверски пакети за обработка на податоците од сеизмичките истражувања. Во принцип изворите на сеизмичките бранови и геофоните при сеизмичките истражувања се поставуваат на површината на Земјата и добиените податоци од ширењето на сеизмичките бранови во прва фаза дава можност да се формираат геофизички модели, како на пример модел на брзина или модели на дифракциони слики на истражуваниот простор. Вака добиените физички модели служат за интерпретација на геолошките структури се со цел изработка на реален модел на истражуваниот простор.

Презентираните модели во трудот претставуваат начин на современа обработка на сеизмичките податоци.

Инверзна екстраполација на браново поле –  
Миграција

Се претпоставува дека на сеизмичката секција пристигнуваат рефлектирани бранови во положба како сеизмичката енергија да се простира долж вертикалните падови. Ова е точно само во случај кога границите од кои се рефлектира бранот се хоризонтални. Кога границите имаат пад, најкраткото регистрирано време ќе имаат бранови кои се одбиваат нормално од граничната средина, а се наоѓаат на сеизмичката секција вертикално под изворот на бранот. За да се регистрира положбата на рефлектираниот бран на сеизмичката секција со соодветните реални сегменти на

границите од кои се одбиени потребно е да се примени постапката за миграција на регистрираните бранови слики (слика 1).



Слика 1. Вертикална и мигрирана положба на рефлектираниот сегмент

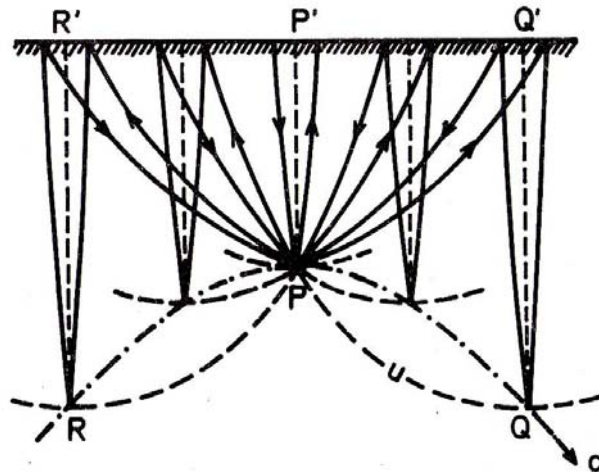
Положбата на рефлектирачкиот сегмент се одредува со користење на нормално време за сеизмички зракови регистрирани преку приемникот кои се наоѓаат покрај изворот на бранот. Правиот агол на рефлектираниот елемент на профилот е еднаков на изразот:

$$\sin \theta = \frac{\Delta t V}{\Delta x} \quad (1)$$

Граничната површина може да се смета како бранов фронт од кој брановите се растураат независно еден од друг. Ако е на границата со падот тогаш некаде надвор од вертикалната рамнина во која се наоѓа изворот на бранот, брановиот фронт ќе формира тангенцијална рефлектирана граница. Рефлектираните елементи ќе бидат вертикално под точката

на палење и ќе ја сечат соодветната изохрона под одреден агол. Ако овие рефлектирани елементи се следат како точки на дифракција тогаш на дифракционата крива би одговарал

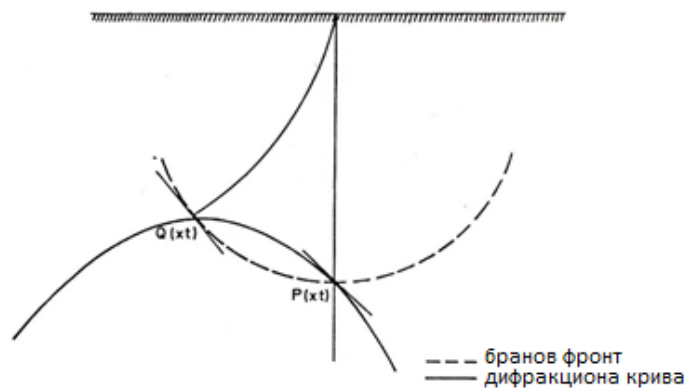
нејзиниот максимум кој би се наоѓал право под место на одбиениот бран. (слика 2)



Слика 2. Одзив на точкастиот рефлектор на сеизмичката секција

Ако дијаграмот со дифракционата крива и дијаграмот на бранови фронтови се преклопат и поместат еден наспроти друг рефлектираните елементи ќе тангираат во одредена положба на дифракционата крива. Ако овој добиен сегмент се помести долж

брановиот фронт до пресеците со вертикалната оска на дифракционите криви, ставајќи ги во тангентна положба спрема брановиот фронт, ќе се доведе во својата првобитна положба. (слика 3)



Слика 3. Миграција, Кирхофа метода

### Современи методи за миграција

За анализа на сеизмичките податоци денес се применуваат следните методи за миграција:

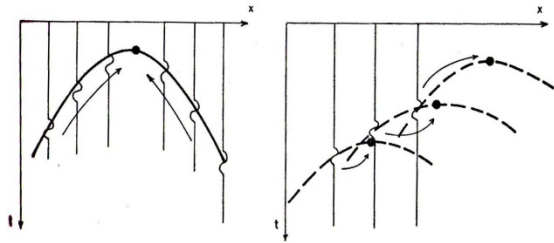
1. Собирање долж дифракционата крива во подрачјето простор-време (Дифракциона метода)
2. Миграција на брановата равенка.

### Дифракциона метода

Правата положба на дифракционата точка на временскиот пресек е во максимумот на дифракционата крива. Миграцијата при користење на оваа метода се состои во

поместување на надојдениот бран долж дифракционата крива до неговиот максимум. Секоја точка на површината рефлектира точка што одговара на сеизмичката секција која претставува максимум на нејзината дифракциона хипербола. Таа точка ја претставува и правата положба на точката од која е одбиен бранот. При автоматска обработка на сеизмичката секција се следи слика на регистрирани бранови на површината каде амплитудните примероци и по  $x$ -оската и по  $t$ -оската, така што секој

амплитуден примерок има своја просторна и временска координата. Во овој случај миграцијата може да се претстави како нелинеарна координатна трансформација која го поместува амплитудниот примерок во нова положба. (слика 4)



Слика 4. Миграција со помош на дифракциона метода

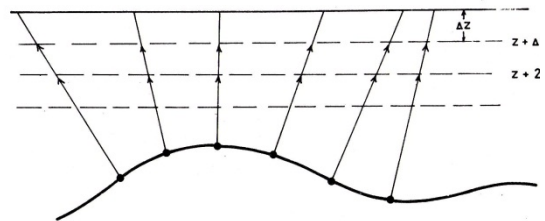
Положбата на секој примерок се разместува со амплитудната вредност долж хиперболичната крива која е одраз на разликата во времето на надојдениот рефлектиран бран помеѓу точките на изворот на бранот и симетрично поставениот приемник на избрана оддалеченост од изворот. Затоа се врши собирање на амплитудните вредности на еднаква оддалеченост на овие хиперболични траектории. Поради ефикасност се врши апроксимација на дифракционата крива со кривата на закривеност на брановиот фронт, која дава задоволувачки резултати. Постапката се продолжува се додека не се исцрпат сите извори. Ефикасноста на оваа метода зависи од точноста на користените брзини и од отворот на дифракционата хипербола долж која се врши збивање на вредноста од примерокот.

#### Метода на конечни разлики

Суштината на оваа метода е да се продолжи полето надолу содржано во решението на брановата равенка која овозможува, доколку се знае вредноста на брановото поле  $P(x, 0, t)$ , да може да се одреди непознатото браново поле  $P(x, z, t)$  на одредено ниво во длабочина за  $\Delta z$  во однос на земјината површина на која е познато брановото поле. Ова е еквивалентно спуштање на приемникот спрема границите на рефлектирање, така што точките од кои се рефлектираат брановите претставуваат и извор на зраци кои се одбиваат нормално спрема приемниците. Кога се одреди вредноста на полето се поклопува со изворот добиен од мигрираната положба на точките од кои е рефлектиран

бранот и регистриран на земјината површина. (слика 5)

Може да се смета дека секоја траса настанува со регистрирање на нормално одбиениот бран од низа рефлектирања, при нула растојание помеѓу точката на изворот и приемниот бран.



Слика 5. Принцип на продолжување на полето надолу

#### Миграција со примена на Кирхоф-овиот интеграл

Миграцијата базирана на Кирхоф-овата теорема за точкаст извор на бранот вели:

Ако се познати вредностите на брановото поле на затворена површина долж нормалата и изводите по времето може да се пресмета брановото поле во која и да било точка внатре во оваа површина. Методата е применлива за миграција на податоци во дводимензионални и тридимензионални испитувања.

Ако се во прашање дводимензионални испитувања се усвојува регистрираните податоци да не варираат нормално на сеизмичкиот профил.

Миграцијата се врши преку алгоритам кој се изведува при решавање на нехомогени бранови равенки

$$\Delta^2 P - \frac{1}{c} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = -4\pi q(rt) \quad (2)$$

Решението се однесува на произволна зафатнина која е дадена со интегралот преку површината и волуменскиот интеграл кој го опфаќа изворот и почетната вредност. Решението се добива со примена на Греен-овата теорема.

Ефектот на далечни делови од хемисферата се занемарува и се сведува на граничните услови на интегралот долж површина  $S_0$  и соодветната Греен-ова функција  $G$ . При што се добива следната равенка:

$$P(r, t) = \frac{1}{4\pi} \int dt_0 \int dS_0 \left[ G \frac{\partial}{\partial n} P(r_0, t_0) - P(r_0, t_0) \frac{\partial}{\partial n} G \right] \quad (3)$$



каде  $r$  е оддалеченост од координатниот почеток од точката на посматрање, а  $r_0$  е растојанието на изворот од истата точка (слика 6).

$$P(x, y, z, t) = -\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial z} \iint dx dy \frac{P(x, y, 0, t - \frac{R}{c})}{R} \quad (4)$$

Оваа равенка претставува 3D бранова равенка и дава екстраполирани вредности на брановото поле на некое ниво  $z$  со површинска интеграција на ниво  $P(x, y, z = 0)$  кое одговара на земјината површина. Оваа релација го дава Кирхоф-иот начин на продолжување на брановото поле надолу.

Решението на 3D брановата равенка може да се даде симболично како тродимензионална конволуција

$$P(x, y, z, t) = P'(x, y, z_0, t) * \frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial z_0} \left[ \frac{\partial(t \pm \frac{r}{c})}{r} \right] \quad (5)$$

каде  $r^2 = \Delta z^2 + z^2 + y^2$  која поминува во следење на браново поле од една  $z$  рамнина на друга.

$$P(x, y, 0, t) = -\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial z} \iint dx dy \frac{P(x, y, 0, t - \frac{R}{c})}{R} \quad (6)$$

Тргувајќи од дадениот израз може да се изведе и израз за 2D миграција. Оваа метода е погодна кога слоевите имаат поголеми падови. Тешкотии се јавуваат кога постои промена на брзината и кога се изразени различните бранови пречки. Методата е релативно скапа.

### Миграција по длабочина

Ако брзината на простирање на бранот во површинскиот слој латерално варира, тогаш ниту еден од споменатите методи на временска миграција- Кирхоф-овата метода на собирање, методата на конечни разлики, нема да обезбедат поставување на гранична линија во права положба. За нехомогените средини дифракционата крива која одговара на точките од кои се простираат брановите повеќе не е хипербола и нејзиниот максимум е поместен странично во однос на точките на дифракција.

Треба да се нагласи дека постои суштинска разлика на длабински секции настанати од временско мигрирање на секциите каде се работи за конвенционална конверзија на

времето и длабочината во однос на интегрираната секција по длабина која се формира директно не влегувајќи во фаза на временска миграција. При изведување на постапка на миграција се тргнува од скаларната диференцијална равенка во две димензии во која се зема брзината како координатна функција.

Методата на длабинска миграција која произлегува од конверзија на дел од временската миграција се нарекува миграција по длабина следена со зрак додека директната миграција по длабина се нарекува метода на миграција заснована на следените бранови. Методата на бранова длабинска миграција бара одредување на интервалот на брзината како функција во длабина и во хоризонтална положба. Миграцијата по длабина дава информации за квалитетнаоцена на структурниот однос. Релативната неосетливост за примена на постапката на непотполно точно моделирани брзини овозможува да се добие адекватно решение и после само едно повторување.

### Некои специфични тродимензионални миграции

#### Одредување на брзина

Тродимензионалната миграција во суштина се заснова на примена на концептот од дводимензионалната миграција.

Оценувањето на брзината е од голема важност за успешно изведување на стекирањето и миграцијата. Брзините кои се користат за овие две работи се различни.

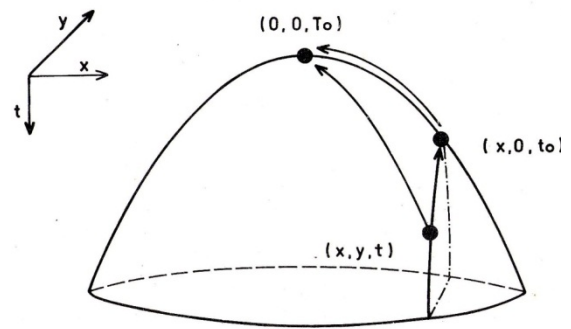
Ако одредувањето на брзината од добиените траси при 2D е од едноставните сеизмички испитувања, кај тродимензионалните испитувања, површината од која се рефлектира бранот може да има произволни падови и правци обезбедувајќи ја нормалната разлика на времето не само на контролираниот интервал на брзината и падот, туку и релативна анализа на правецот на линијата која го спојува изворот и приемникот во однос на правецот на обезбедената површинска граница. За да се даде точна оцена на стекираната брзина како резидуална и статичка корелација од основна важност е распоредот на изворот

и приемникот. Показано е дека за рамен рефлектор со пад, при положба на приемникот и изворот, долж права линија и при користење на метода на заеднички точки добиена е крива на време- растојание на хипербола. Оценувањето на брзината во овој случај се врши како и при дводимензионалниот модел. Најнеповолен е случајот кога секоја траса во рамки на CDP модел добиена при различен правец на азимутната линија извор-приемник. Во овој случај неприфатливи се претпоставките за хиперболичната измена на кривата време-растојание и мора да се спроведат тестови за секое време на рефлектирање за да се најде најдобрата брзина и најдобриот правец на рефлекторот.

Брзината која се користи при процесот на миграција не зависи од падот на површинскиот рефлектор, што не е случај кога брзината е добиена со собирање на трасите.

### Процес на миграција

Потповршинските геолошки структури се тродимензионални, а и сеизмичките бранови се простираат исто во три димензии, поедини профили може генерално да содржат енергија која е одбиена надвор од вертикалната рамнина. За да се направи точен вертикален пресек помеѓу акустичните импенданси во рамки на карпестиот комплекс, мора да се третираат податоците во рамки на одредениот простор, што претставува и примена на 3D метода. Примената на Кирхоф-овата постапка на миграција во 2D подрачјето врши собирање на амплитудите долж хиперболата, а збирната вредност се нанесува во точките на максимумот од хиперболата. Кривата која се собира претставува одраз на точкастиот дифрактор во системот време-растојание. Кога се работи за 3D модел на сеизмичкиот одзив точкастиот дифрактор е хиперолоид. Миграцијата во тродимензионално подрачје претставува собирање на амплитуди во рамки на хиперолоидната површина (слика 7), а добиената вредност се поставува во максимумот на хиперолоидот.



Слика 7. Миграција во тродимензионално подрачје

Постапката, како што се гледа од сликата, се состои од две фази: прво точката се поместува во положба  $(x, 0, t_0)$ , а потоа поместувањето се врши по x-правецот, т.е. во конечна положба  $(0, 0, T_0)$ . Постапката на миграција се изведува во две фази. Претходно сеизмичките податоци се распоредуваат во мрежа на управувани линии. Потоа се обработува линијата во еден правец на пример исток-запад со користење на 2D миграција, а потоа се мигрира линија во другиот правец (север-југ). На овој начин сите податоци ќе бидат тродимензионално мигрирани. Оваа метода е точна при постојано константна брзина што не е случај ако брзината варира со длабочината.

### Комбинирана анализа на брзина и миграција

Тродимензионалната миграција може да се врши со комбинирана анализа на брзината. Оваа постапка е од исклучива важност за падот на границата при одредена брзина. Дифракцијата се елиминира со самиот процес на миграција.

Оваа метода се применува за закривени граници, и при постојаните структурни дисконтинуитети. Суштината на постапката се заснова на зависноста помеѓу точка  $P(x, z)$  добиената миграција во  $xz$  подрачјето и одговарачката крива  $S(x, t)$  во подрачјето од кое се изведени точките  $P(x, z)$ . Секоја точка во под површинскиот простор која може да се смета како точка на дифракција одговара на една крива  $S$  чиј облик зависи од распоредот на брзината над точка  $P$ .

Ако се мигрира истиот профил за двојно поголемо растјание помеѓу изворот и приемникот добиените слики нема да се совпаднаат доколку се користи не точна брзина. Одовде произлегува идејата дека точната брзина може да се добие со повторување на постапката на миграција со променета брзина на сите делови, додека не се добие соодветната мигрирана слика при две растојанија помеѓу изворот и приемникот.

Главни разлики помеѓу мигрираните граници за големи и мали растојанија помеѓу изворот

### **ЗАКЛУЧОК**

Прикажаните методи се современ тренд на анализа на сеизмичките бранови, се со цел добивање што поточен модел на истражуваниот простор. За користење на овие модели потребни се повеќе канални инструменти посебно кај 3D испитувања

### **ЛИТЕРАТУРА**

Dragašević T. Seismic Exploration, Belgrad, 1983.  
Foster M. R. and Guinzy N. J., The Coefficient of Coherence – its Estimation and Use in Geophysical Data Processing, Geophysics, 1967.  
French W. S., Two-dimensional and Three-dimensional Migration of Mode – Experiment Reflection Profiles, Geophysics, 1974.

и приемникот е вертикалното поместување на соодветните граници долж временските оски.

Ако неколкуте вредности на брзината на овие разлики се нанесат на дијаграм, во зависност од брзината, може да се добие вистинската брзина на интерполационата крива.

неопходно бара примена на соодветни софтверски пакети за анализа на добиените податоци и нивна интерпретација на нивните модели во истражуваниот простор.

Guvič I. I., Seismorazvedka, Nedra, Moskva, 1964.

Petkov N. Ivan, Obšča Geofizika, Čast I, Sofia, 1968.

## **ГЕОЛОШКО И КУЛТУРНО НАСЛЕДСТВО**



# ПРИМЕНА НА ЕЛЕКТРОНСКАТА МИКРОАНАЛИЗА ВО АНАЛИЗА НА ПРИМЕРОЦИ ОД КУЛТУРНОТО НАСЛЕДСТВО

Блажо Боев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип  
Гоце Делчев бр.89, Штип, Република Македонија, blazo.boev@ugd.edu.mk

## Апстракт

Во овој труд се прикажани резултати од истражувањата на примероци земени од културното наследство на Република Македонија (материјали вградени во фрески) со примена на методата на електронската микроанализа. Добиените информации укажуваат на големата применливост на оваа метода во определувањето на составот на материјалите кои се вградени во спомениците на културата како значаен дел од културното наследство. Треба да се спомене дека е ова недеструктивна метода и дека работи со примероци кои се минимални по својата количина.

**Клучни зборови:** електронска микроанализа, културно наследство

## ВОВЕД

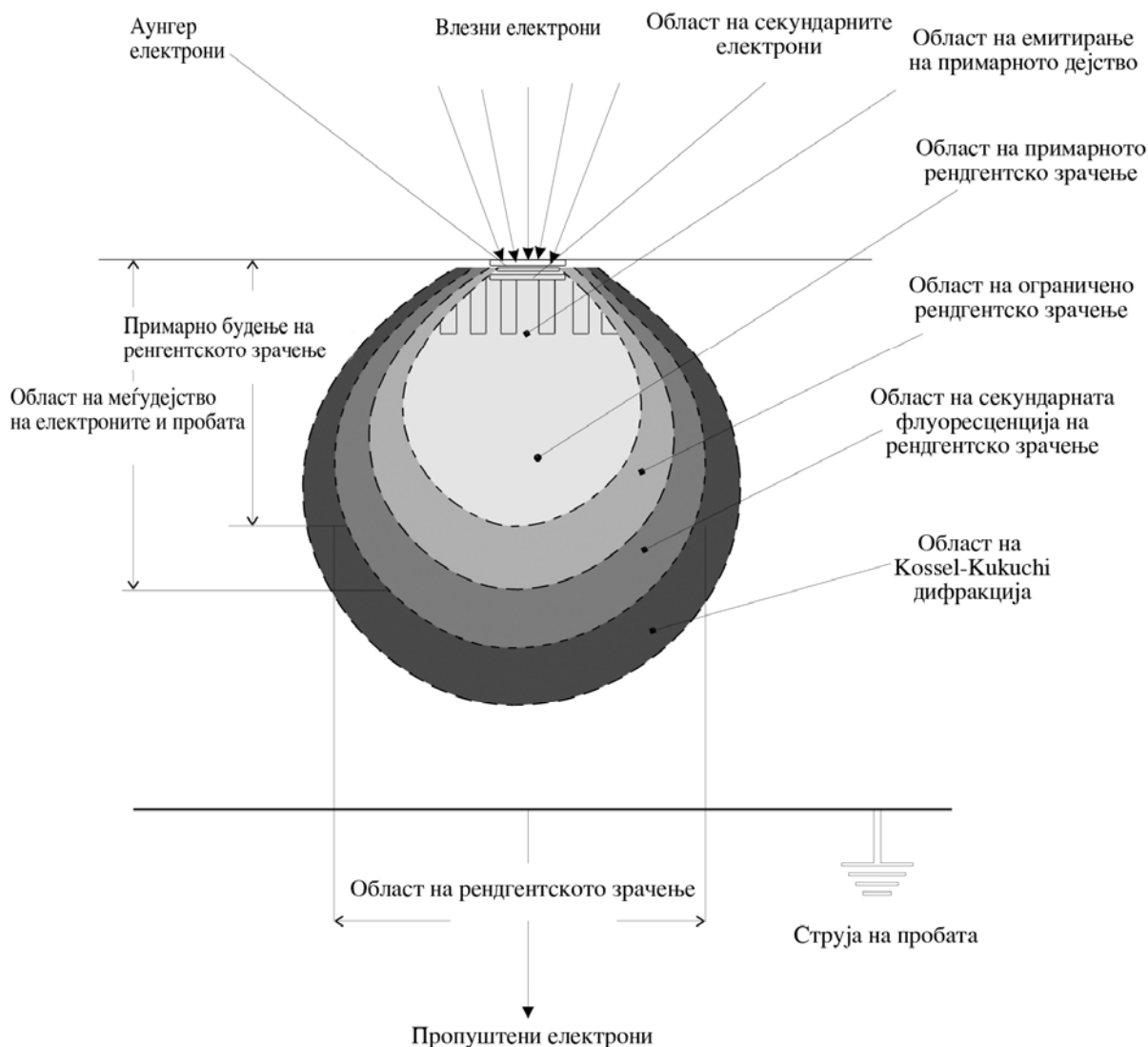
Електронската микроанализа (англ. EMPA-electron microprobe analysis, герм. ESMA-Elektronenstrahlmikroanalyse) се засновува на испитувањето на пробата во цврста состојба со користење на карактеристично рентгенско зрачење, кое се побудува со фино фокусиран електронски млаз. Веќе 40 години (прва, ICXOM-International Conference on X-ray Optics and Microanalysis, Cambridge 1956) EMPA представува широко применува метода на испитување во сите научни области, а посебно во геологијата, металургијата и науката за материјалите.

Појавата на оваа метода и конструкцијата на уредите за EMPA, е логична последица на развојот на електронската микроскопија и ренгенската спектрометрија во текот на средината од XX век. Идејата за EMPA е дадена уште од Hiller, 1947. Меѓутоа реализацијата на оваа идеја за прв пат е соопштена од страна на (Kasten and Guiner, 1949), на конференцијата во Делф, а две години подоцна Kasten во својата докторска дисертација ги поставил основите на EMPA. Истовремено независно до Kasten, (Borovskij, 1953), за прв пат во поранешниот СССР ги развил методите на EMPA. Првиот комерцијален уред го произвела француската фирма Camecabo 1958. Во шеесетите години од XX век уредите кои се базирани на испитување на пробата со финофокусиран електронски млаз со големи енергии, можеа да се поделат во три групи и тоа: TEM (Transmission Electron Microscope), SEM

(Scanning Electron Microscope), и EMPA. Денеска не постои толку строга поделба на овие три уреди туку можат да се најдат комбинации од SEM+EMPA, TEM+EMPA или пак TEM+SEM+EMPA.

## ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ НА EMPA

Како би можело подобро да се разберат основните принципи на квалитативната и квантитативната електр. микроанализа, како и функционирањето на EMPA на сл.1. е прикажан модел на финофокусиран електронски млаз (со енергии од 10 до 30 [kV]) и проба во цврста состојба чиј состав го сочинуваат елементи со среден и низок реден број. Сложените појави кои се поврзани со меѓусебното дејство на влезните електронски со атомите на пробата не се предмет на проучување на електронската микроанализа, туку детекцијата и анализата на емитираната радијација, односно фотоните и електроните (Сл.1). Тоа овозможува одредување на квалитативниот и квантитативниот состав во возбудената зафатнина од пробата, микротекстурата, структурата, морфологијата на површината, распределбата на елементите во пробата и др. Во зависност од природата на детектираниот сигнал се добиваат податоците за испитуваната проба.



Слика 1. Модел на меѓусебно дејство на финофокусирианиот електронски млаз и пробата во цврста состојба

## МЕТОДОЛОГИЈА НА РАБОТА

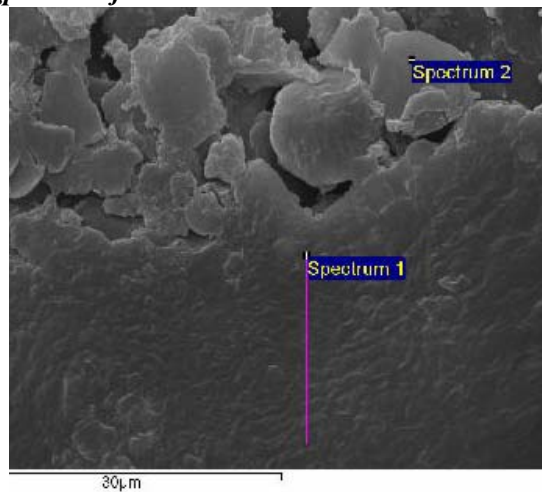
Сите примероци кои се земени до фреско-мозаик се напарувани со злато во напарувач од типот BALTEC-SCD-005. Дебелината на слојот кој е нанесен изнесува 18nm. Анализите се направени со SEM микроскоп од типот JSM-6610 LV во услови на висок вакуум. Аликите на примероците се направени со помош на детектор за секундарни електрони (SE). Како извор на електрони е користен LaB6.

Хемиските анализи на примероците се направени на енерго-дисперзионен спектрометар од типот X-Max Large Area Analytical Silicon Drift (Oxford), со употреба на соодветни стандарди.

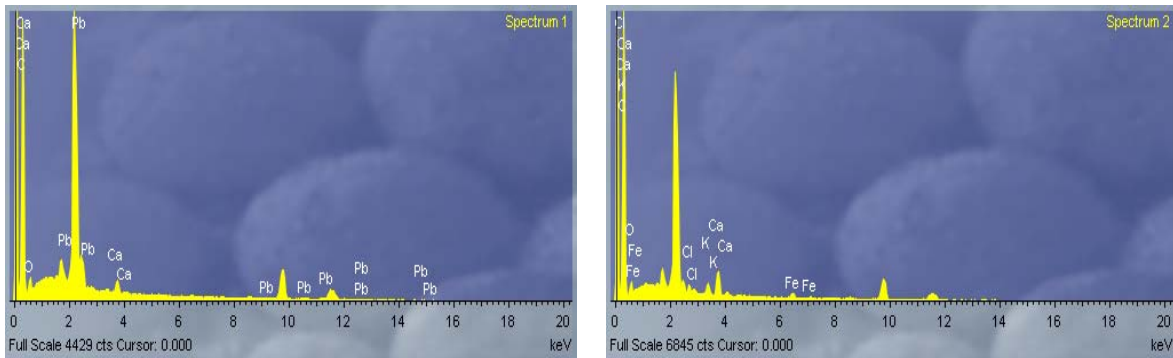
## ДОБИЕНИ РЕЗУЛТАТИ

За анализа со примена на електронската микроанализа се собрани четири типа на примероци од фреско-мозаик кои се разликуваат по боја и тоа: едниот тип на примероци имаат црвена боја, вториот тип на примероци имаат црна боја, третиот тип на примероци имаат бела боја и четвртиот тип на примероци имаат зелена боја. Добиените резултати укажуваат на фактот дека оваа метода е многу добро применлива при обработка на материјали кои треба да ја зачуваат својата автентичност, односно со применетата метода не треба да се направат оштетувања на материјалите кои потекнуваат од културното наследство.

- **Примероци со црвена боја**



**Слика 2.** Скенирачка фотографија со секундарни електрони од примерок кој има црвена боја



**Слика 3.** ЕДС спектар на примерокот со црвена боја (точка 1 и точка 2)

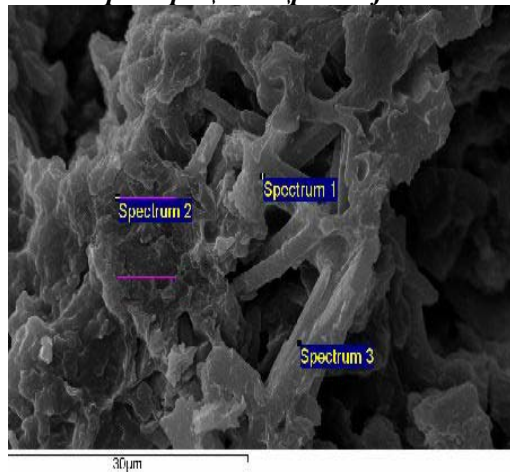
**Табела 1.** Хемиска анализа на примерокот со црвена боја во точката 1

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	23.69	0.5104	82.79
O K	0.95	0.1513	11.17
Ca K	0.55	0.8679	1.12
Pb M	1.94	0.7053	4.91
Totals			100.00

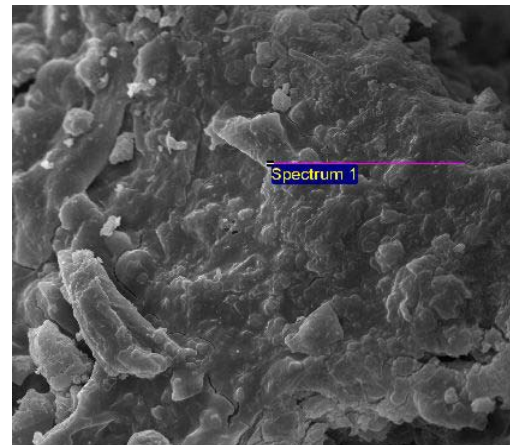
**Табела 2.** Хемиска анализа на примерокот со црвена боја во точката 2

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	25.50	0.4704	80.63
O K	1.31	0.1449	13.48
Cl K	0.37	0.7179	0.77
K K	0.71	0.9367	1.13
Ca K	1.56	0.8792	2.64
Fe K	0.68	0.7536	1.35
Totals			100.00

- **Примероци со црна боја**



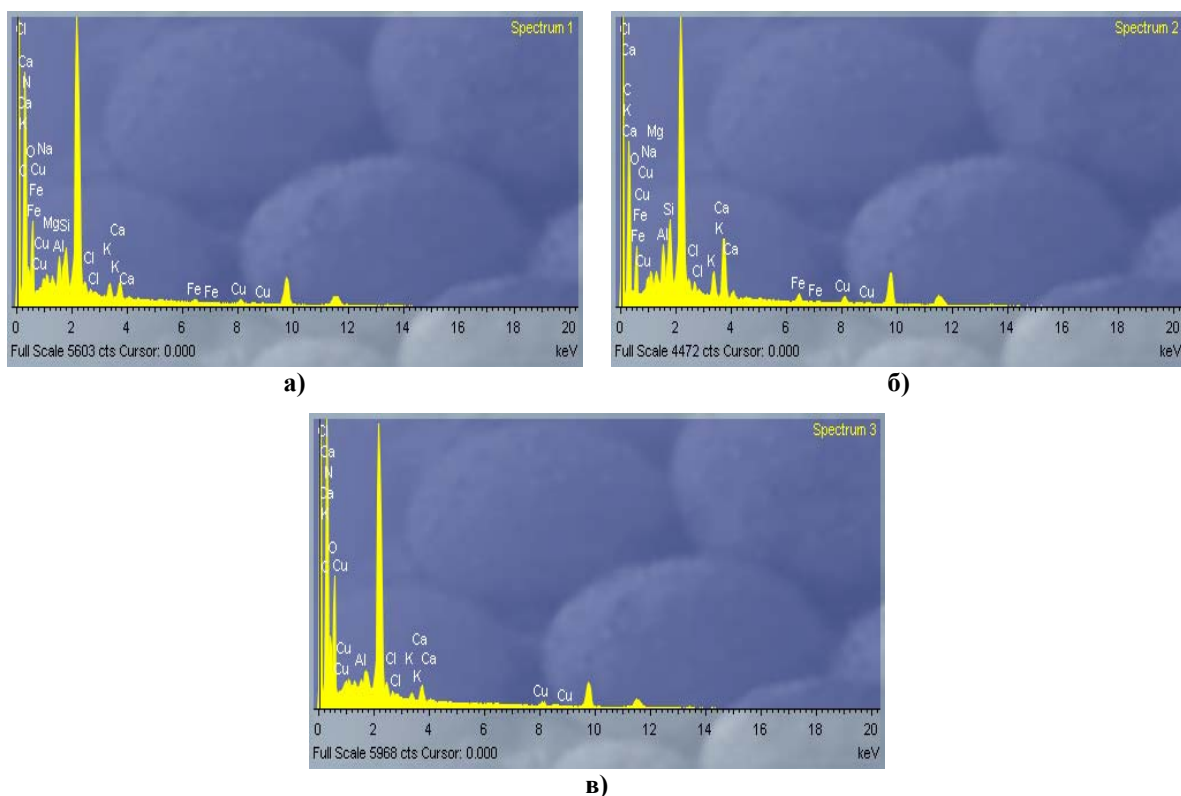
**а)**



**б)**

**Слика 4.** Скенирачка фотографија со секундарни електрони од примерок кој има црна боја **(а)** **(б)**





Слика 5. ЕДС спектар на примерокот со црна боја (точка 1,2,3) (а)

Табела 3. Хемиска анализа на примерокот со црна боја во точката 1

El.	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	16.22	0.3287	37.40
N K	1.63	0.0489	25.18
O K	7.16	0.1694	31.98
Na K	0.40	0.5610	0.54
Mg K	0.21	0.5769	0.27
Al K	0.74	0.7020	0.80
Si K	0.96	0.7957	0.91
Cl K	0.23	0.6958	0.25
K K	0.70	0.9247	0.57
Ca K	0.85	0.8823	0.73
Fe K	0.30	0.7737	0.30
Cu K	1.03	0.7367	1.06
Totals			100.00

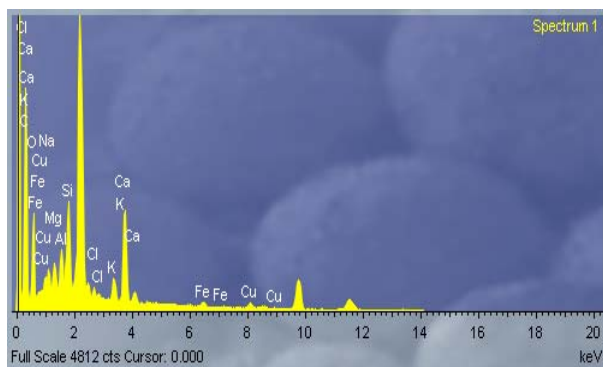
Табела 4. Хемиска анализа на примерокот со црна боја во точката 2

El.	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	9.87	0.2625	54.44
O K	4.02	0.1963	29.63
Na K	0.45	0.5878	1.10
Mg K	0.28	0.5893	0.70
Al K	0.86	0.7087	1.75
Si K	1.32	0.7918	2.42
Cl K	0.35	0.6941	0.73
K K	1.02	0.9323	1.58
Ca K	2.51	0.8805	4.13
Fe K	0.69	0.7791	1.29
Cu K	1.15	0.7432	2.23
Totals			100.00

Табела 5. Хемиска анализа на примерокот со црна боја во точката 3

El.	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	19.71	0.3624	29.35
N K	3.65	0.0647	30.45
O K	12.50	0.1754	38.44
Al K	0.24	0.6905	0.19
Cl K	0.21	0.6990	0.16
K K	0.40	0.9264	0.23
Ca K	0.81	0.8850	0.49
Cu K	0.95	0.7359	0.70
Totals			100.00

Направените анализи на примерокот со црна боја укажува на тоа дека се работи за органски материјал.

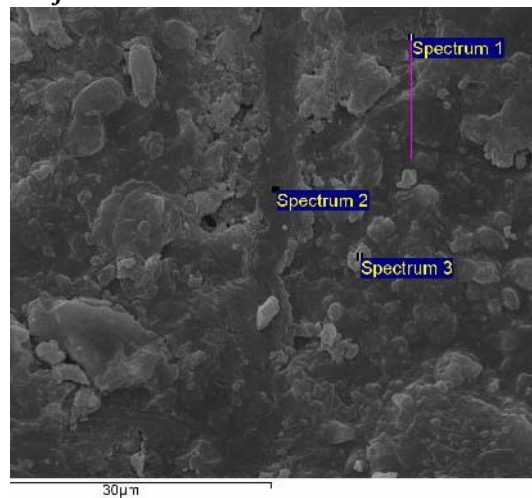


Слика 6. ЕДС спектар на примерокот со црна боја (точка 1), (б)

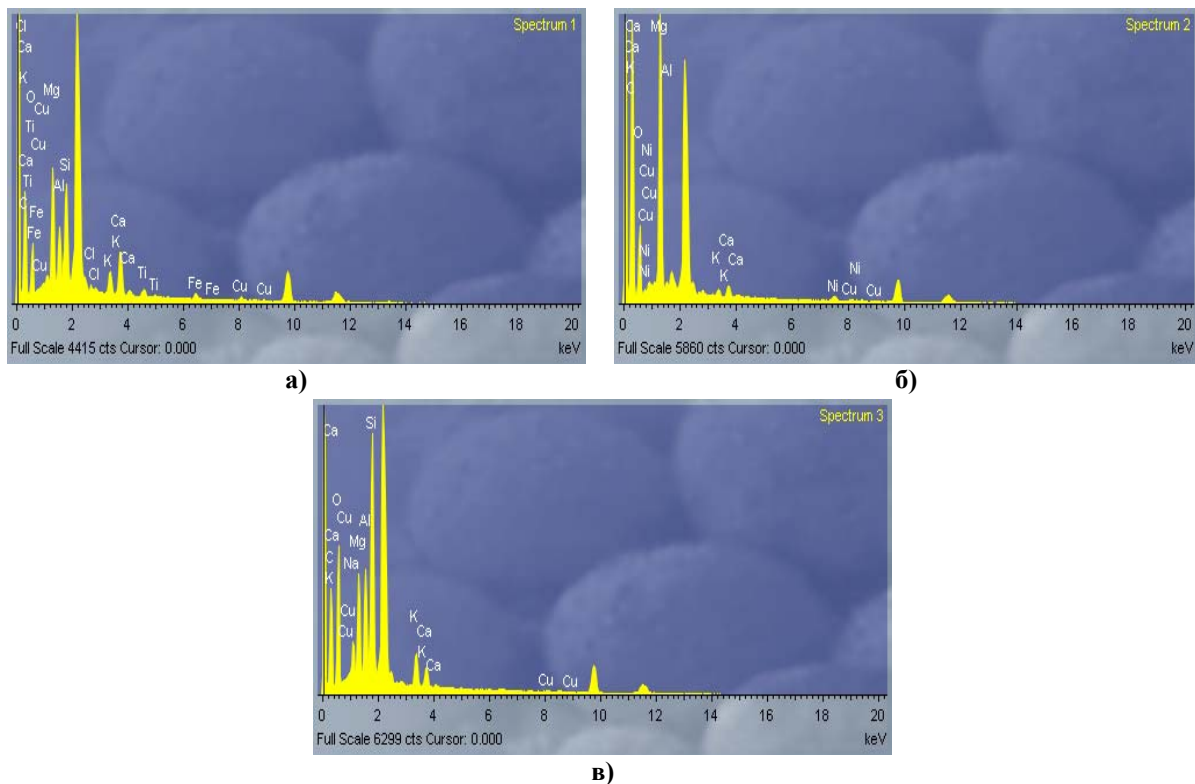
Табела 6. Хемиска анализа на примерокот со црна боја во точката 1 (б)

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	12.21	0.2653	49.61
O K	6.93	0.2101	35.54
Na K	0.62	0.5790	1.16
Mg K	0.53	0.5839	0.98
Al K	0.84	0.7010	1.29
Si K	1.91	0.7907	2.60
Cl K	0.32	0.6933	0.50
K K	1.00	0.9347	1.15
Ca K	4.06	0.8820	4.97
Fe K	0.49	0.7753	0.69
Cu K	1.04	0.7430	1.50
Totals			100.00

• **Примероци со бела боја**



Слика 7. Скенирачка фотографија со секундарни електрони од примерок кој има бела боја



Слика 8. ЕДС спектар на примерокот со бела боја (точка 1,2,3)

**Табела 7.** Хемиска анализа на примерокот со бела боја во точката 1

El.	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	6.27	0.2045	49.26
O K	3.73	0.2055	29.15
Mg K	2.40	0.6326	6.10
Al K	1.18	0.6837	2.77
Si K	2.05	0.7604	4.33
Cl K	0.17	0.6757	0.39
K K	0.94	0.9207	1.64
Ca K	1.81	0.8760	3.31
Ti K	0.36	0.7478	0.78
Fe K	0.53	0.7770	1.09
Totals			100.00

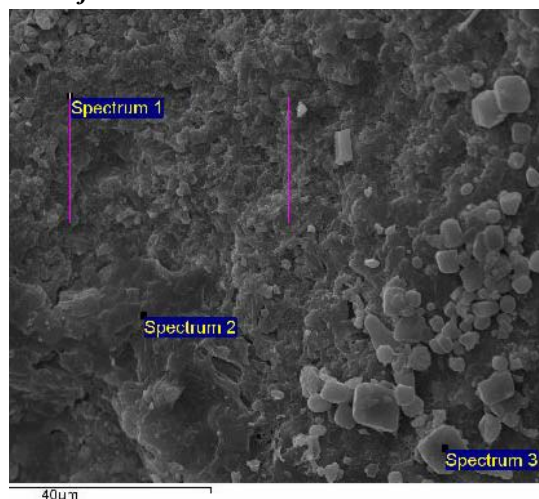
**Табела 8.** Хемиска анализа на примерокот со бела боја во точката 2

El.	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	21.98	0.2891	61.20
O K	6.77	0.2022	26.97
Mg K	7.45	0.6471	9.27
Al K	0.19	0.6542	0.24
K K	0.37	0.9162	0.33
Ca K	0.58	0.8774	0.53
Ni K	0.93	0.7739	0.97
Cu K	0.45	0.7352	0.50
Totals			100.00

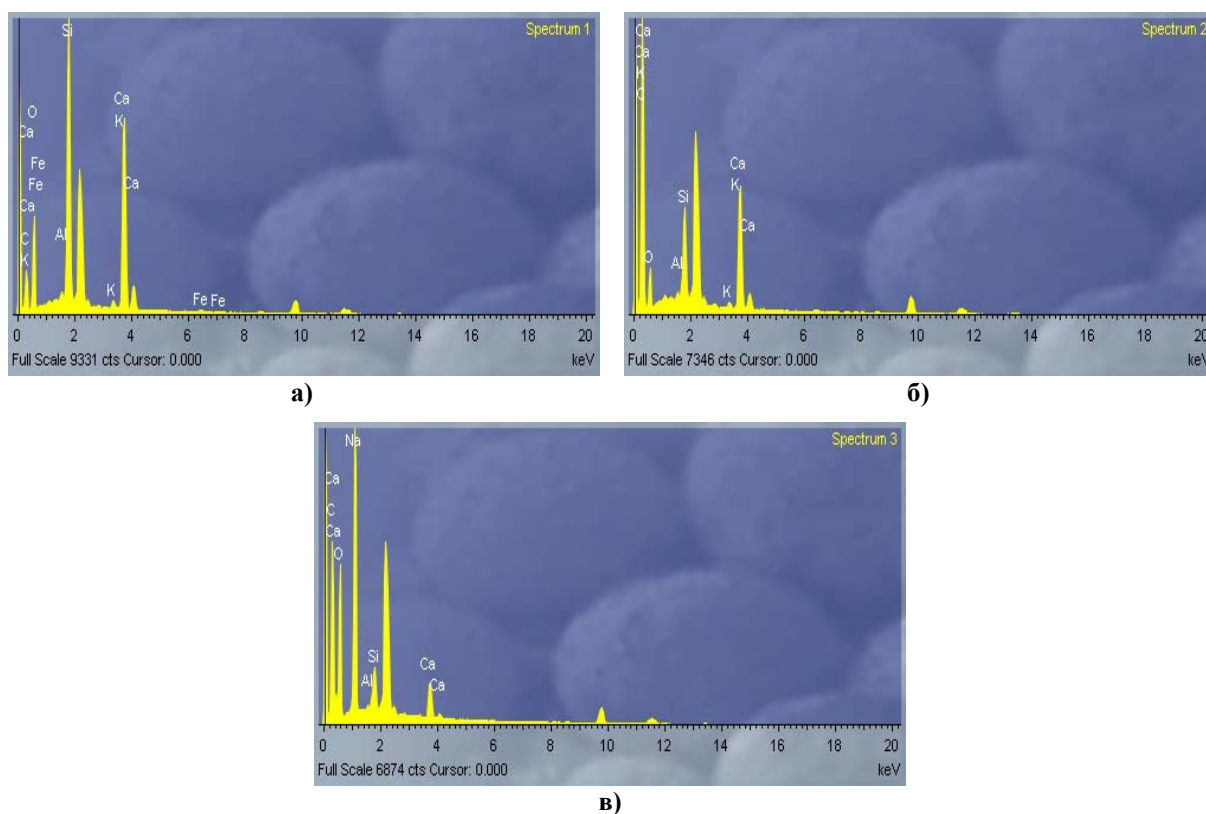
**Табела 9.** Хемиска анализа на примерокот со бела боја во точката 3

El.	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	8.03	0.1728	36.70
O K	15.10	0.2757	43.24
Na K	1.42	0.6095	1.84
Mg K	2.94	0.6036	3.85
Al K	3.15	0.6866	3.62
Si K	7.30	0.7538	7.64
K K	1.90	0.9044	1.66
Ca K	1.11	0.8669	1.01
Cu K	0.41	0.7492	0.43
Totals			100.00

• **Примероци со зелена боја**



Слика 9. Скенирачка фотографија со секундарни електрони од примерок кој зелена боја



Слика 10. ЕДС спектар на примерокот со зелена боја (точка 1, 2, 3)

**Табела 10.** Хемиска анализа на примерокот со зелена боја во точката 1

El.	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	4.48	0.1683	21.54
O K	14.50	0.2371	49.50
Al K	0.40	0.7081	0.46
Si K	12.54	0.8105	12.52
K K	0.59	0.9454	0.50
Ca K	16.42	0.8874	14.97
Fe K	0.48	0.7784	0.50
<b>Totals</b>			<b>100.00</b>

**Табела 11.** Хемиска анализа на примерокот со зелена боја во точката 2

El.	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	28.82	0.3602	64.95
O K	4.74	0.1608	23.92
Al K	0.25	0.7621	0.26
Si K	3.16	0.8500	3.02
K K	0.38	0.9506	0.32
Ca K	8.21	0.8845	7.53
<b>Totals</b>			<b>100.00</b>

**Табела 12.** Хемиска анализа на примерокот со зелена боја во точката 3

El.	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%
C K	22.41	0.2686	46.68
O K	17.99	0.2582	38.98
Na K	13.26	0.6277	11.82
Al K	0.17	0.6473	0.14
Si K	1.29	0.7569	0.95
Ca K	2.26	0.8836	1.43
<b>Totals</b>			<b>100.00</b>

## ЗАКЛУЧОК

Направените анализи на примероците од фреско-мозаик со електронска микроанализа укажуваат на тоа дека станува збор за неколку типови на неоргански и органски материјали кои се употребени при изработката на овие мозаици но поради употребата на ораганските пигменти се појавува големо препокривање на површините со обоените пигменти. Исто така добиените резултати покажуваат присуство на комплексна елемента матрица која во себе вклучува Al, Si, K, Na, Pb, Mg, Fe. Ваквата комплексна елементна матрица во многу влијае на постојаноста на материјалите кои се вградени во фреско-мозаиците. Исто така овие испитувања укажуваат и на фактот дека оваа метода е исклучително добро применлива особено за материјали кои имаат поголема уметничка и културна вредност. Матријалот кој е употребен при испитувањата е во толку мала количина што во ниеден момент не ја наружува самата композиција на фреско-мозаиците.

## ЛИТЕРАТУРА

MICROBEAM METHODS AND APPLICATION. Ed. in-Chief. : *Miodrag K. Pavićević*, Co-ed. A. El Goresy Heidelberg, I. B. Borovskij, Moscow and L. Rinderer Lausanne, 5 - 320. Beograd 1983.

ELECTRON MICROBEAM ANALYSIS. Eds. *Abraham Boeckstein* and *Miodrag K. Pavićević*, *Microchim. Acta (Suppl.)* **12**, 1 - 278. Springer-Verlag Wien New York 1992.

*Pavićević, M.K.* :ODREDJIVANJE VALAENCE GVOZDA I TITANA U GVOŽĐE-TITAN OKSIDNIM MINERALIMA POMOĆU ELEKTRONSKE MIKROSONDE. - Predavanja održana u Jugoslavenskoj Akademiji Znanosti i Umjetnosti. Ured. T. Varićak, JAZU, svez. 42, 1-32, Zagreb 1974.

*Pavićević, M.K.*: DIE ANWENDUNG DER ELEKTRONENMIKROSONDE ZUR BESTIMMUNG DER WETIGKEIT UND KOORDINATION IN MINERALIEN (1974) - In *Analyse extraterrestrischen Materials*. Herausgeb. W. Kiesel und H. Malissa jun. 289 - 306. Springer-Verlag Wien New York 1974.

## APPLICATION OF THE ELECTRONIC MICRO-ANALYSES ON SAMPLES OF THE CULTURAL INHERITANCE

**Blazo Boev**

*Faculty of Natural and Technical Sciences, Institute of Geology, "Goce Delcev" University, Goce Delcev 89, P.O.Box 201, MK-2000 Stip, Republic of Macedonia, blazo.boev@ugd.edu.mk*

### Abstract

Results from the research of samples taken from the cultural inheritance of the Republic of Macedonia (materials incorporated in frescos) with the application of the method of electronic micro-analyses are presented in this paper. The obtained results point to the huge application of this method in the determination of the contents of the materials incorporated in the cultural monuments, as a significant part of the cultural inheritance. It should be noted that this is a non- destructive method, and that the research is made on samples which are minimal at its contents.

**Key words:** electronic micro-analyses, cultural inheritance