



ЗРГИМ

**XII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО
МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО**

ПОДЕКС – ПОВЕКС '19

**01 ÷ 03. 11. 2019 година
Струмица**

**ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА
ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ**

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ

Зборник на трудови:
**ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА
МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ**

Издавач:

Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија
www.zrgim.org.mk

Главен и одговорен уредник:

Доц. д-р Стојанче Мијалковски

За издавачот:

м-р Горан Сарафимов, дипл.руд.инж.

Техничка подготовка:

Доц. д-р Стојанче Мијалковски

Изработка на насловна страна:

Доц. д-р Ванчо Аџиски

Печатница:

“2–ри Август”, Штип

Година:

2019

Тираж:

200 примероци

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

622.22/23:622.3(062)

СТРУЧНО советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'19 (12; 2019; Струмица)
Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини: зборник на трудови / XII-то
стручно советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'19, 01-03.11.2019 година, Струмица;
[главен и одговорен уредник Стојанче Мијалковски]. - Скопје:
Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија, 2019.-223 стр.: илустр.; 30 см

Библиографија кон трудовите
ISBN 978-608-65530-5-0

а) Рударство – Експлоатација – Минерални сировини – Собири
COBISS.MK-ID 111373322

Сите права и одговорности за одпечатените трудови ги задржуваат авторите. Не е дозволено ниту еден дел од оваа книга да биде репродуциран, снимен или фотографран без дозвола на авторите и издавачот.



ОРГАНИЗАТОР:

**ЗДРУЖЕНИЕ НА РУДАРСКИТЕ И ГЕОЛОШКИТЕ
ИНЖЕНЕРИ НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА**

www.zrgim.org.mk



КООРГАНИЗАТОР:

**УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” - ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО**

НАУЧЕН ОДБОР:

Проф. д-р **Зоран Десподов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Зоран Панов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Дејан Миравовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Благој Голомеов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Блажо Боев**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Ристо Дамбов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Орце Спасовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Војо Мирчовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Николинка Донева**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Доц. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Доц. д-р **Ванчо Аџиски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Милорад Јовановски**, УКИМ, Градежен факултет, Скопје, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Витомир Милиќ**, Технички факултет во Бор, Р. Србија;
Проф. д-р **Радоје Пантовиќ**, Технички факултет во Бор, Р. Србија;
Проф. д-р **Ивица Ристовиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Раде Токалиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Војин Чокорило**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Владимир Павловиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Божо Колоња**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Јоже Кортник**, Факултет за природни науки и инженерство, Љубљана, Словенија;
Проф. д-р **Јакоб Ликар**, Факултет за природни науки и инженерство, Љубљана, Словенија;
Проф. д-р **Верослав Молнар**, БЕРГ Факултет, Технички Универзитет во Кошице, Р. Словачка;
Проф. д-р **Димитар Анастасов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
Проф. д-р **Венцислав Иванов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
Проф. д-р **Павел Павлов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
Проф. д-р **Иваило Копрев**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
д-р **Кремена Дедељанова**, Научно – технички сојуз за рударство, геологија и металургија, Софија, Р. Бугарија;
м-р **Саша Митиќ**, Рударски Институт, Белград, Р. Србија.

ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР:

Претседател:

Олег Телној, Рудник “САСА”, М. Каменица.

Потпретседатели:

Доц. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип;
м-р **Драган Димитровски**, ДИТИ, Скопје;
Митко Крмзов, ЕКСПЛОТЕЦ МАЦ ДООЕЛ, Радовиш.

Генерален секретар:

м-р **Горан Сарафимов**, ЕКСПЛОТЕЦ МАЦ ДООЕЛ, Радовиш.

ЧЛЕНОВИ НА ОРГАНИЗАЦИОНИОТ ОДБОР:

Проф. д-р **Зоран Десподов**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Дејан Мираковски**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Зоран Панов**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Благој Голомеов**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Блажо Боев**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Тодор Серафимовски**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Орце Спасовски**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Војо Мирчовски**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Мирјана Голомеова**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Виолета Стефанова**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Виолета Стојанова**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Тена Шијакова Иванова**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Гоше Петров**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Ристо Дамбов**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Соња Лепиткова**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Николинка Донева**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Марија Хаџи-Николова**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Ристе Поповски**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Горан Тасев**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Ванчо Аџиски**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Марјан Делипетрев**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Ѓорѓи Димов**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Благица Донева**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Афродита Зенделска**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Иван Боев**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Радмила Каранаква Стефанова**, УГД, ФПТН, Штип;
м-р **Борче Гоцевски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;
м-р **Љупче Ефнушев**, Министерство за економија, Скопје;
м-р **Кирчо Минов**, Рудник за бакар “Бучим”, Радовиш;
м-р **Драги Пелтечки**, “Рудплан” ДООЕЛ, Струмица;

м-р **Страше Маневски**, АД ЕЛЕМ, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;
м-р **Благоја Георгиевски**, АД ЕЛЕМ, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;
м-р **Сашо Јовчевски**, Dekra Arbeit, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;
м-р **Андреј Кепевски**, Цементарница “Усје”, Скопје;
м-р **Игор Стојчески**, Мермерен комбинат, Прилеп;
м-р **Дејан Ивановски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;
м-р **Лазе Атанасов**, ДИТИ, Скопје;
м-р **Дејан Петров**, Геотехника, Штип;
м-р **Трајче Бошевски**, Рудпроект, Скопје;
Мице Тркалески, Мермерен комбинат, Прилеп;
Зоран Костоски, Мармобианко, Прилеп;
Шериф Алиу, ЗРГИМ, Кавадарци;
Филип Петровски, “Булмак” - Рудник “Тораница”, К. Паланка;
Антонио Антевски, “Булмак” - Рудник “Тораница”, К. Паланка;
Димитар Стефановски, “Булмак” - Рудник “Злетово”, Пробиштип;
Дарко Начковски, “Булмак” - Рудник “Злетово”, Пробиштип;
Чедо Ристовски, Рудник “САСА”, М. Каменица;
Емил Јорданов, ГД “Гранит” АД, Скопје;
Борче Ѓоршевски, “Марковски Компани”, Битола;
Миле Милошески, АД ЕЛЕМ, РЕК Осломеј, Кичево;
Миланчо Дамески, МИСА-МГ, Скопје;
Сашко Дамески МИСА-МГ, Скопје;
Лазар Пончев, Машинокоп, Кавадарци;
Игор Трајанов, Рудник за бакар “Боров Дол”, Радовиш;
Илија Лозановски, Теиком тим, Битола;
Иван Купев, Мобилман, Скопје;
Виктор Шотаровски, Метсо Минералс, Скопје;
Љупчо Трајковски, ЗРГИМ, Кавадарци.

**XII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
“ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА
НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ”
- со меѓународно учество –**

01 Ноември 2019, Струмица
Република Северна Македонија

ОРГАНИЗАТОР:

ЗДРУЖЕНИЕ НА РУДАРСКИТЕ И ГЕОЛОШКИТЕ ИНЖЕНЕРИ
НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА
www.zrgim.org.mk

КООРГАНИЗАТОР:

УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
www.ugd.edu.mk



ЗРГИМ

XII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

“Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини”

ПОДЕКС – ПОВЕКС '19

**Струмица
01 ÷ 03. 11. 2019 год.**

ПРЕДГОВОР

Меѓународното стручно советување за подземната експлоатација на минералните сировини (ПОДЕКС), за првпат се одржа на 06.12.2007 год. во Пробиштип во организација на Сојузот на Рударските и Геолошките Инженери на Македонија (СРГИМ).

Од 2012 година советувањето е проширено со трудови од површинската експлоатација на минерални сировини и е именувано како ПОДЕКС-ПОВЕКС.

Стручното советување, на тема: технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини, традиционално се одржува секоја година во месец ноември. На ова советување земаат учество голем број на стручни лица од: рударската индустрија, универзитетите, научно-истражувачките и проектантските организации, производителите на опрема и др.

На досегашните единаесет советувања (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017 и 2018 год.) учествуваа повеќе автори од 12 држави, кои презентираа 312 стручни трудови.

За ова дванаесетто советување (ПОДЕКС - ПОВЕКС '19) пријавени се 25 труда, на автори од 2 држави.

Големиот број на трудови од домашните автори произлезе како резултат на научно-истражувачката работа реализирана на високообразовните институции во Р. Македонија. Меѓутоа, посебно не радува учеството на автори од непосредното рударско производство, кои што презентираат постигнати резултати во рударската пракса.

Се надеваме дека традицијата за собирање на сите специјалисти од областа на подземната и површинската експлоатација на минералните сировини, ќе продолжи и дека во идниот период ова советување ќе прерасне во меѓународен симпозиум.

Уредници



AMGEM

XII EXPERT CONFERENCE THEMED:

“Technology of underground and surface mining of mineral raw materials”

PODEKS - POVEKS '19

Strumica

01 ÷ 03. 11. 2019.

FOREWORD

The International expert conference on underground mining of mineral raw materials (PODEKS), organized by the Association of Mining and Geology Engineers of Macedonia (AMGEM), was first held on 06.12.2007 in Probishtip.

Since 2012, in this counseling, surface exploitation of mineral resources is included too, and it is called PODEKS-POVEKS.

This expert conference called: Technology of underground and surface mining of mineral raw materials, traditionally, has been organized annually during November. A number of experts from the mining industry, universities, research institutions, planning companies, and equipment manufacturing companies participate in this conference.

Many authors from 12 countries participated in the previous eleven conferences (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017 and 2018) presenting 312 expert papers.

Twenty-five authors from 2 countries have registered their expert papers for the XIIth conference (PODEKS - POVEKS '19).

The large number of expert papers from the domestic authors has emerged as a result of the research work carried out at the higher education institutions in the Republic of Macedonia. We are particularly delighted by the participation of the authors involved in the immediate mining production who will be presenting the achieved results in the mining practice.

We hope that the tradition of gathering of all specialists from the field of underground and surface mining of mineral raw materials will continue and that this conference will grow up to an international conference in the future.

The Editors



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Македонија

XII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

**Технологија на подземна и површинска експлоатација
на минерални сировини**

ПОДЕКС – ПОВЕКС '19

Струмица
01 ÷ 03. 11. 2019 год.

СОДРЖИНА

ПРИМЕНА НА ТЕЛЕСКОПСКИ ЛАФЕТ ВО РУДНИКОТ ЗА ОЛОВО И ЦИНК “САСА” * Дејан Ивановски, Стојанче Мијалковски, Борче Гоцевски, Стојне Стоиловски.....	1
МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ЕВАЛУАЦИЈА НА ВРЕМЕТО ЗА ЕВАКУАЦИЈА ВО СЛУЧАЈ НА ПОЖАР ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА * Ванчо Аџиски, Зоран Десподов, Далибор Серафимовски, Стојанче Мијалковски.....	12
ПРИМЕНА НА МАШИНКА „CAN-BLAST“ ЗА МАШИНСКО ПОЛНЕЊЕ НА МИНСКИ ДУПЧОТИНИ СО ПАТРОНИРАНИ ЕКСПЛОЗИВИ * Ристо Дамбов, Дејан Ивановски, Илија Дамбов.....	22
МОДЕЛСКИ ИСПИТУВАЊА ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА ИСКОРИСТУВАЊЕТО И ОСИРОМАШУВАЊЕТО НА РУДАТА * Стојанче Мијалковски, Зоран Десподов, Дејан Мираковски, Ванчо Аџиски, Николинка Донева.....	33
ПРОЦЕНКА НА ОДРЖЛИВОСТ НА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН * Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски.....	43
ОПШТИ ТЕОРИСКИ ПОСТАВКИ ОКОЛУ ПОТРЕБАТА И ТЕХНОЛОГИЈАТА НА ГЕОЛОШКО СКЛАДИРАЊЕ НА ГАСОТ CO₂ ВО СООДВЕТНИ ЛИТОЛОШКИ ФОРМАЦИИ * Силвана Пешовска, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски	53
УРИВАЊЕ СО МИНИРАЊЕ, НА ПОСТОЕЧКИ АРМИСКИ ФОРТИФИКАЦИСКИ ОБЈЕКТ (БУНКЕР) ОД ТРАСАТА НА ЕКСПРЕСНИОТ ПАТ ШТИП - РАДОВИШ * Миле Стефанов, Сашо Андреев, Блаже Митев.....	64

ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ДУПЧАЧКО-МИНЕРСКИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ТРАСАТА НА АВТОПАТОТ КИЧЕВО-ОХРИД ВО ЗОНАТА НА ИЗВОРОТ НА РЕКА ТРЕСКА * Александар Пановски, Блажо Митев, Миле Стефанов, Мирослав Влачо, Александар Велков, Драги Дојчиновски, Игор Ѓоргиев.....	72
КОМПАРАТИВНО ТЕХНО-ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ПРИ КРОЕЊЕ НА МЕРМЕРНИ БЛОКОВИ * Ристо Дамбов, Радмила Каранакова Стефановска, Игор Стојчески.....	83
ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНИ МАШИНИ ЗА ДОРАБОТКА И ДОБИВАЊЕ НА КОМЕРЦИЈАЛНИ МЕРМЕРНИ БЛОКОВИ * Николче Р`жаникоски, Игор Стојчески, Љупче Петрески.....	93
КОМПАРАЦИЈА НА РЕЗУЛТАТИ ДОБИЕНИ ОД СИТОВА АНАЛИЗА И ЛАСЕРЕН ДИФРАКЦИОНЕН ГРАНУЛОМЕТАР * Афродита Зенделска, Мирјана Голомеова, Благој Голомеов.....	101
ПРЕПОЗНАВАЊЕ ОПАСНОСТИ И УПРАВУВАЊЕ СО РИЗИК * Анкица Илијева Стошиќ.....	109
ПРОЦЕНКА НА РИЗИК НА РАБОТНО МЕСТО – ГЕОФИЗИЧАР ПРИ ИСТРАЖУВАЊЕ НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ * Марјан Делипетрев, Благица Донева, Ѓорги Димов, Зоран Панов, Радмила Каранакова Стефановска, Роберт Филиповски.....	119
MANAGING OF MINING INDUSTRY IN KOSOVO – INSTITUTIONAL AND LEGAL FRAMEWORK * Kemajl Zeqiri, Musa Shabani, Avdi Konjuhi.....	124
ЗАГАДУВАЊЕ НА ВОЗДУХОТ СО ПРАШИНА ВО ГРАДОТ КАВАДАРЦИ. ОДРЕДУВАЊЕ НА ФАЗНАТА ЗАСТАПЕНОСТ СО ПРИМЕНА НА СКАНИНГ ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА (СЕМ) И ЕНЕРГЕТСКА ДИСПЕРЗИВНА СПЕКТРОСКОПИЈА (ЕДС) * Иван Боев...	128
ГЕОМЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ГЛИНАТА ОД НАОЃАЛИШТЕТО „ГРАДЕЦ” – ВИНИЦА И НЕЈЗИНА ПРИМЕНА * Ѓорги Димов, Благица Донева, Војо Мирчовски, Марјан Делипетрев.....	143
МЕТОДИ НА ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА ЗА МЕРМЕРИЗИРАН ВАРОВНИК * Орце Петковски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски.....	151
ГЕОЕЛЕКТРИЧНИ МЕТОДИ ЗА ИСТРАЖУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНИ ВОДИ * Благица Донева, Ѓорги Димов, Марјан Делипетрев.....	161
ХЕМИСКИ СОСТАВ НА АЛАТКИТЕ КОИ СЕ КОРИСТЕНИ ПРИ ЕКСПЛОТАЦИЈАТА НА МЕРМЕРИТЕ ЗА ВРЕМЕ НА РИМСКИОТ ПЕРИОД НА ПРОСТОРОТ НА ПРИЛЕП, РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА * Иван Боев, Блажо Боев.....	169

ХИДРОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА ВО АСАНЛИСКО ПОЛЕ ВО БЛИЗИНА НА ДОЈРАНСКОТО ЕЗЕРО * Војо Мирчовски, Стојан Михајловски, Виолета Стефанова, Ѓорѓи Димов.....	178
ЛИТОСТРАТИГРАФСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОЛИГОЦЕНСКИТЕ СЕДИМЕНТИ ВО КОЧАНСКАТА КОТЛИНА, РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА * Виолета Стојанова, Гоше Петров, Виолета Стефанова.....	189
СЕИЗМИЧНОСТ НА ПЕЛАГОНИСКИ ХОРСТ – АНТИКЛИНОРИУМ ЗА ПЕРИОДОТ ОД 1970-2018 * Катерина Дрогрешка, Јасмина Најдовска, Драгана Черних – Анастасовска.....	196
ПРОМЕНИ ВО ПРИРОДНАТА ОКОЛИНА ПРЕДИЗВИКАНИ ОД ЗЕМЈОТРЕС * Катерина Дрогрешка, Јасмина Најдовска, Драгана Черних—Анастасовска.....	206
ПРОБНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА ПРИ ГЕОЛОШКО ИСТРАЖУВАЊЕ НА НАОЃАЛИШТА НА АРХИТЕКТинСКО ГРАДЕЖЕН КАМЕН * Орце Спасовски.....	216
ЕВРОПСКИ ПРЕДИЗВИЦИ ЗА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА МИЛТА/ТИЊАТА ОД ИНДУСТРИСКИ ПРОЦЕСИ И ЗАШТИТА НА ЖИВОТНАТА СРЕДИНА * Соња Лепиткова, Влатко Трпески.....	224



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Р. Македонија

XII^{TO} СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '19

Струмица
01 – 03. 11. 2019 год.

**ХЕМИСКИ СОСТАВ НА АЛАТКИТЕ КОИ СЕ КОРИСТЕНИ ПРИ
ЕКСПЛОТАЦИЈАТА НА МЕРМЕРИТЕ ЗА ВРЕМЕ НА РИМСКИОТ ПЕРИОД НА
ПРОСТОРОТ НА ПРИЛЕП, РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА**

Иван Боев¹, Блажо Боев¹

*¹Универзитет „Гоце Делчев“, Факултет за природни и технички науки,
Штип, Р. Северна Македонија*

Абстракт: Во трудот се прикажани резултатите од испитувањата на хемискиот состав на алатките кои се користеле при експлоатацијата на мермерите во околината на Прилеп (Беловодица) за време на римската империја со примена на методата на електронската микроанализа (SEM-EDS). Од добиените резултати може да се заклучи дека алатките се изработени од железо во чиј состав има голема количина на јаглерод.

Клучни зборови: железо, јаглерод, мермер, алатка.

**CHEMICAL COMPOSITION OF THE TOOL USED IN THE EXPLOITATION OF
MARBLE DURING THE ROMAN PERIOD ON THE TERRITORY OF PRILEP-
REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA**

Ivan Boev¹, Blazo Boev¹

*¹University “Goce Delcev”, Faculty of Natural and Technical Sciences, Stip,
R. of North Macedonia*

Abstract: This paper presents the results of the chemical composition of the tool used in the exploitation of marble in the vicinity of Prilep (Belovodica) during the period of the Roman Empire obtained by applying the method of electronic microanalysis (SEM-EDS). From the results obtained it can be concluded that it is a tool made of iron, which in its composition has a large amount of carbon, i.e. it is cast iron that was not subjected to further processing to reduce the amount of carbon and improve the properties of the iron.

Key words: iron, carbon, marble, tool.

1. INTRODUCTION

In the vicinity of Prilep, a large amount of white, dolomite marbles can be found, which were subject to exploitation from the earliest times. These marbles have been used as an architectural-decorative and building stone since the time of the Roman Empire to this day.

The marbles of the marble mass Sivec are part of the precambrian Pelagonian marble series, which is preserved along the east peripheral part of the Pelagonian cristal

mass. It enters into the tectonically segmented marble zone Belovodica-Pletvar-Kozjak-Sivec-Nebregovo. The digging of marble from the marble mass Sivec has a long history which is best documented with the numerous art and architectonic arts made by the marble of the marble mass Sivec (the large number of arts in Heraklea, Stibera, Stobi and other archeological localities in Macedonia). But, the more serious exploitation of the marble of the marble mass Sivec is linked to the period of formation of the "Marble Company"-Prilep (immediately after the WW2). So, it could be said that the organized mine production of marbles from the marble mass Sivec exists for the last 65 years, where the quantity of the dug blocks continuously increased, and today it is around 25 000 m³. In this period, a number of geological and mine researches are financed by the 'Marble Company' (*in 1969 by the Industroprojekt-Zagreb complete systematic geological researches for the larger part of the marble mass Sivec are made; than structural research of the Sivec marbles in the period from 1986 to 1995 by N. Dumurganov, et al, 1994*). Also, it should be mentioned that based on the extraordinary petrographic- mineralogy, physical- mechanical and esthetic characteristics, the marble from the marble mass Sivec are used in the industry as architectonically decorative stone, and on a world level they are known under the name "SIVEC". Detailed mineralogy research of the marbles of the marble mass Sivec are made by Jovanovski, Boev and Makreski, 2013.

2. GEOLOGICAL AND TECTONICAL FEATURES

The marbles of the marble mass "Sivec" are spread in NW-SW direction, with a length of 3-4 km and width of 0.5 до 1.5 km and general descent to NE with a descent of foliation of marbles from 25 to 40°. To SW, with the layer zone, the gneises-mickashistes is separated from the Prilep anticlinalic. To the NE over the marbles there lay members of the mixed series (gneisess, cipolines, micashistes) and here the contact is presented with an old, reverse layer, closed and masked with the pre-cambrian metamorphic processes, whereas towards NW and SE it is tectonically sunk under the layers of the Pelagon neo-tectonic ravine. (pelagon ravine) (Fig.1).(Arsovski et al, 1984).

From the regional tectonic survey, the marble mass of "Sivec" enters in the system of long and relatively narrow anticlinal and synclinal structures, with sinking axis towards SE and inversion of the strcutres towards SW, developed to SW in the space between the Mukos mountain to east and the Pilep anticlinal to west (Fig. 1 and 2).

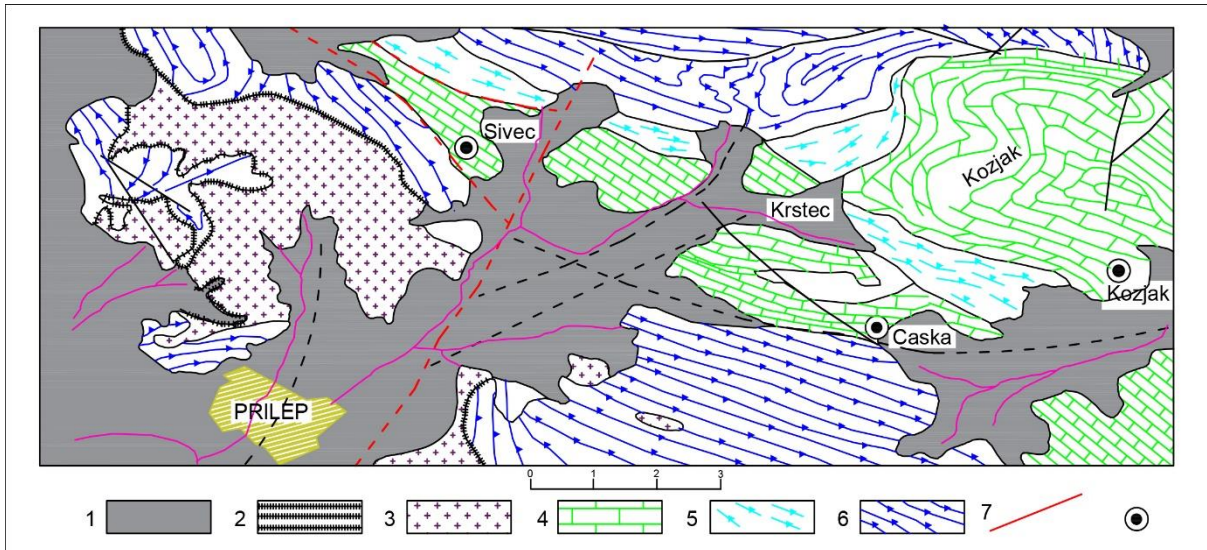


Figure 1. Geotectonic location of the locality Sivec in the space of the marble mass Sivec- Pletvar- Kozjak

1. Neogene and quarter layers;
2. Rifey cambric metamorphic complex (phylitoides, metadiabases, amphibolic shists and marbles);
3. Granites;
4. Marble series);
5. Mixed series (albitic gneissess, micashistes, marbles and cipolines);
6. Gneissess-micashistes series;
7. Fault;
8. Surface dig of marble Sivec

In cross-section, from SW to NE, in the lower levels of the marble table "Sivec" there are developed homogenized, dolomitic, white with sugar structure, fine grain marbles, with a tendency to transition to middle grain in depth, the width of the zone of about 250- 300 meters. This area in the work of the marble Company in the direction of the development of the mine "Sivec" is partly revealed in the working lot No.1 and 2, to a greater extent in the working lot number 5 and mostly in working lot number 6. This zone, towards NE incorrectly merges into partial strip gray-white dolomitic marble with jets, nests and tracks of calcite with locally stored foliation and traces of micro layers in higher parts of the series to the east the marbles of marble mass "Sivec" cross the strip calcite and calcite-dolomitic marbles (Dumurganov et al, 1994, Arsovski et al, 1977, Arsovski et al, 1984).

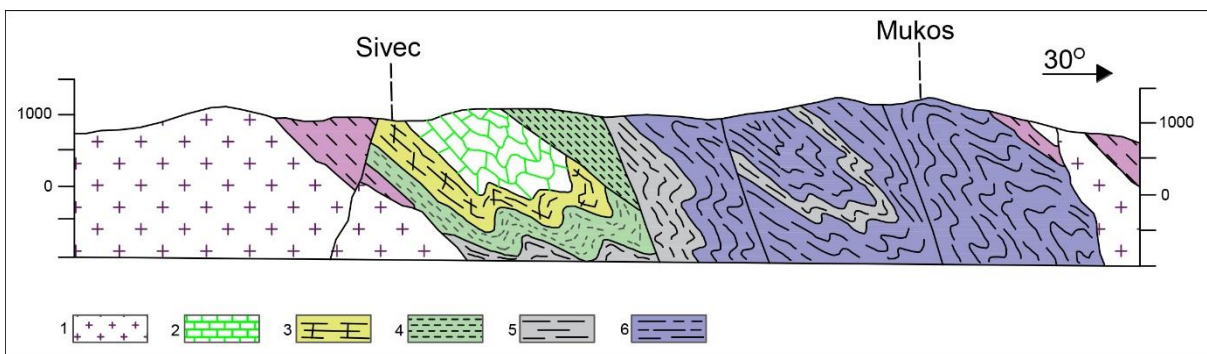


Figure 2. Schematic geological profile of the space of the marble mass Sivec

1. Granites;
2. Calcite marble;
3. Dolomitic marble;
4. Mixed series;
5. Micashistes series;
6. Gneissess series

General appearance of the marble mass "Sivec" is castification, which is predominantly expressed along the main rupture direction (NW-SE and NE-SW) and relative surface damage on the marble mass (somewhere more, somewhere less) as

a consequence of processes of surface decomposition which is more intense fissure systems and the crushing. This neo- tectonic damage on the blockage of the marble mass "Sivec" in the western part of the mass reaches depths of up to about 4-5 meters (rarely more along the main rupture), while in direction NE and N, where the terrain morphology rises to 800 to 1200 m, the damage grows and reaches a thickness of several dozen meters. Such phenomena of surface decomposition of the marble mass is primarily due to the abrasive activity of the former Pliocene-Pleistocene Pelagon lake, which is most intense in the western part, where most of the old carstification is practically eroded (Stojanov, 1968).

The main damage of the blockage of the marble table in vertical and lateral direction is a consequence of rupture tectonics represented by faults and fissure systems (most of the major fault zones cut the marble mass).

Probably within the marble table there are remains of older tectonics, but the main rupture tectonics that adversely affects the blockage of the marble mass "Sivec" is young and is linked to the processes of formation of the raven neo-tectonic Pelagon valley in Pliocene (newly established and reactivated old tectonics). Pelagonian depression is its part is formed by gravitational faults from two directions, NW-SE and NE-SW with elements of angling to N-S and E-W. The first system of faults with gravity fall towards the SW corner of the Land of 60-800 is known as neo-tectonic fault along which there are registered lower seismic tremors, and this limits the marble mass of the southwestern side. The second very important structure which limits the mass to the south east along the river to the village Prasad and Prilep lake with the stretching direction NE-SW and is subvertical to vertical descent.

The such expressed tectonics of this part of the pelagon metamorphic complex very clearly tectonically defines the marble mass "Sivec" where the space is defined between the already mentioned main ruptures (Fig.1).

3. PETROGRAPHIC- MINEROLOGY FEATURES

Marbles from the marble mass "Sivec" have exceptional, unique petrographic, mineralogical characteristics in terms of their structure and present mineral association that is a consequence of the specific genesis of this section of marbles pelagon metamorphic complex. Marbles have extraordinary freestone grainy structure which merges to secondary structure transitions to mosaic, and in places there appears porfiroblastic structure (Fig.3). In the crushed zones there appears catechistical structures and places and the appearance of milonitic structures. Dolomite grain size ranges from 0.1 to 0.5 mm. Dolomite grains are partly rounded and they have expressed crushing. The places have elliptical cross sections and poorly elongated in the direction of crushing. The dolomite grains rarely have an irregular polygonal shape. Despite the dolomite grains there are also calcite grains as well as unique variety of exotic minerals (corundum, fluorite, paragonit, fengit, titanite, rutile, epidotic minerals, chlorite, cosmatite, quartz, calcite, phlogopite, diaspore, almandine, etc.). The mineralogy of marbles from Sivec is very well represented in the monograph minerals from Macedonia (Jovanovski, Boev, Makreski, 2013), as well as works of Erdmannsdorffer (1925, Baric (1960, 1969), Stojanov, 1968,1977, Jersek et all, 1999. This specific mineral association is a result only in the space of the marble mass "Sivec" the granite rocks are in closest contact with the marbles from the marble mass Pelagonia and only here the metamorphic transformations are highlight.

4. RESEARCHED LOCALITY BELOVODICA

In the vicinity of the village Belovodica, there are several old quarries where white marble was exploited during the Roman Empire (Fig.3). In these quarries there are still traces of marble excavation with using old tools made of iron (Fig.4).



Figure 3. Mine for exploitation of white marbles Belovodica



Figure 4. Traces of exploitation of marble in the old quarries from Roman times

5. APPLIED WORK METHODOLOGY AND THE TESTING MATERIAL

The analyses were made with a scanning electron microscope TESCAN SEM VEGA3 LMU with an Oxford EDS detector, within the laboratory of AMBIKON at UGD-Stip. The test material is part of a metal tool used for working in the ancient quarries from the Roman period (Fig. 5).



Figure 5. Old tools made of iron I old quarries of Belovodica

6. OBTAINED RESULTS AND COMMENT

The results that were obtained by examining the tool using the CEM-EDS method are shown in the Table 1. From the results obtained, it can be concluded that the tool is raw iron with a large amount of carbon in its composition. The amount of carbon ranges from 8.38% to 11.43% (Table 1). The amount of silicon (Si) that ranges within the limits of 1.28% should also be mentioned (Table 1).

Table 1. Chemical composition of the tool from the Roman period for the production of marble

Element	1	2	3	4	5
C	11.43	8.38	9.82	10.96	9.32
Fe	88.57	91.62	90.18	87.76	90.68
Si				1.28	

From the conducted research it is interesting to mention the composition of the carbon as well as the transitions from pure iron to raw iron (Fig 6, Fig 7, Fig 8, Fig 9,).

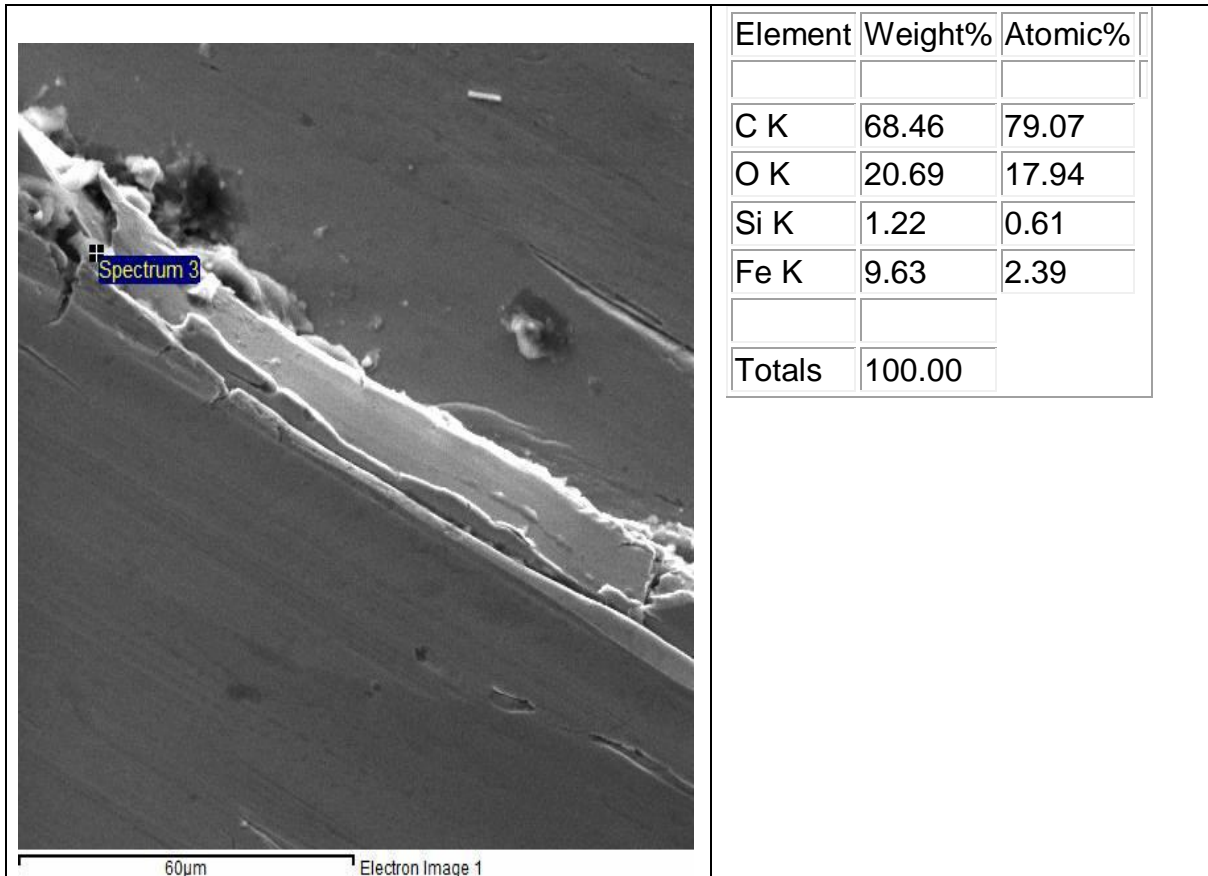


Figure 6. Chemical composition of carbon and transitions from pure Fe to raw Fe

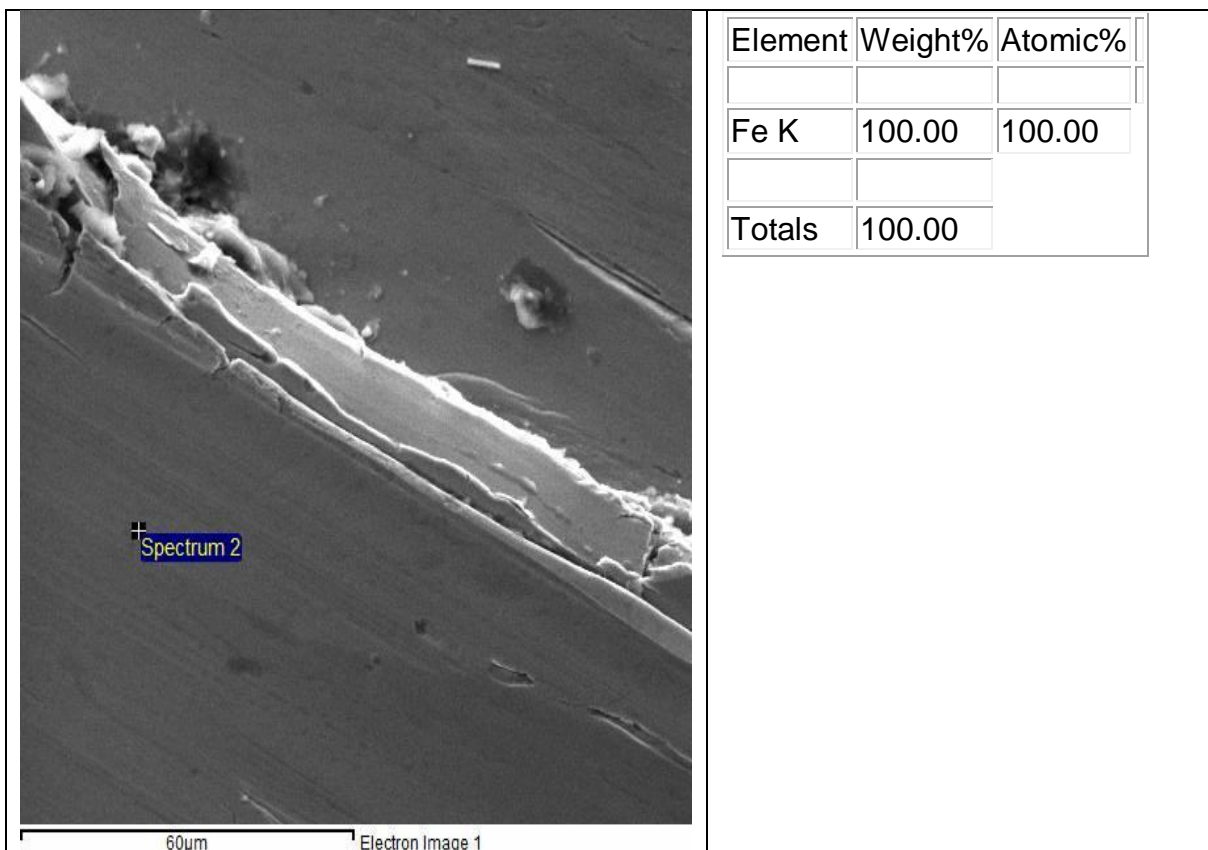


Figure 7. Chemical composition of pure Fe

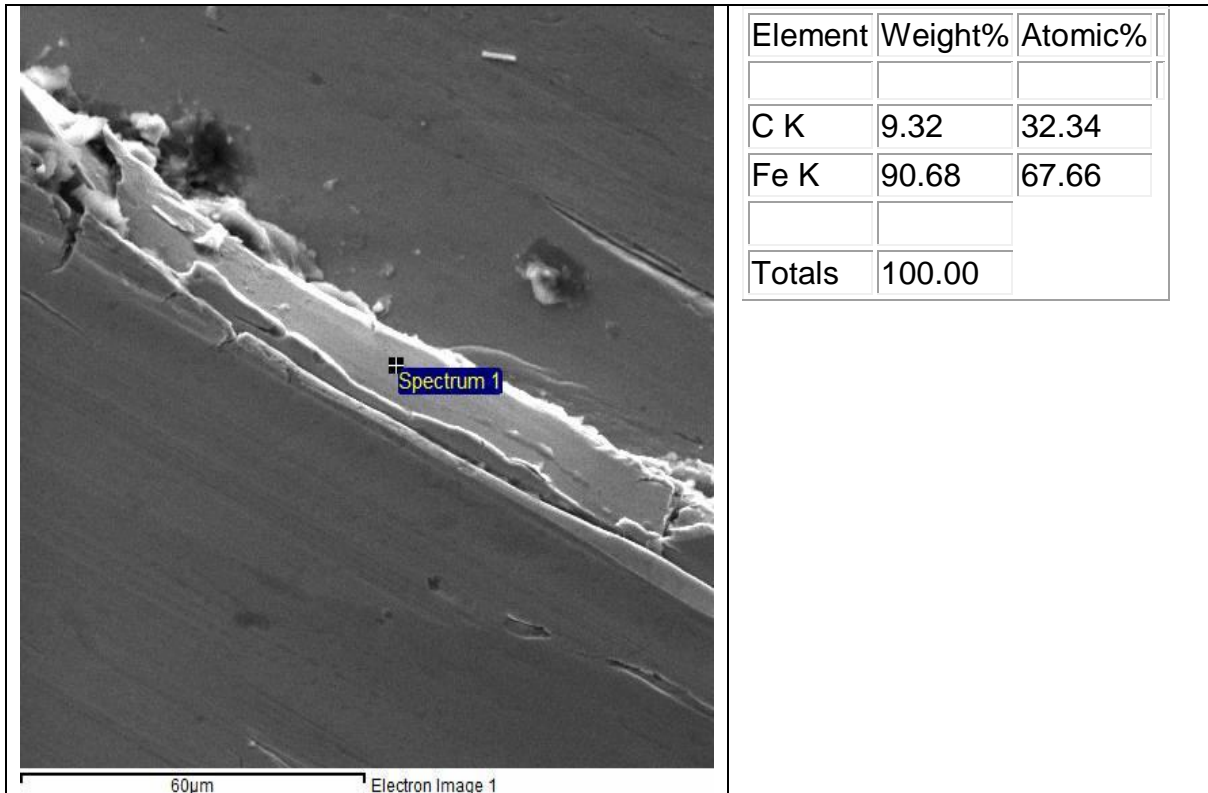


Figure 8. Chemical composition of transitions phase from pure Fe to raw Fe

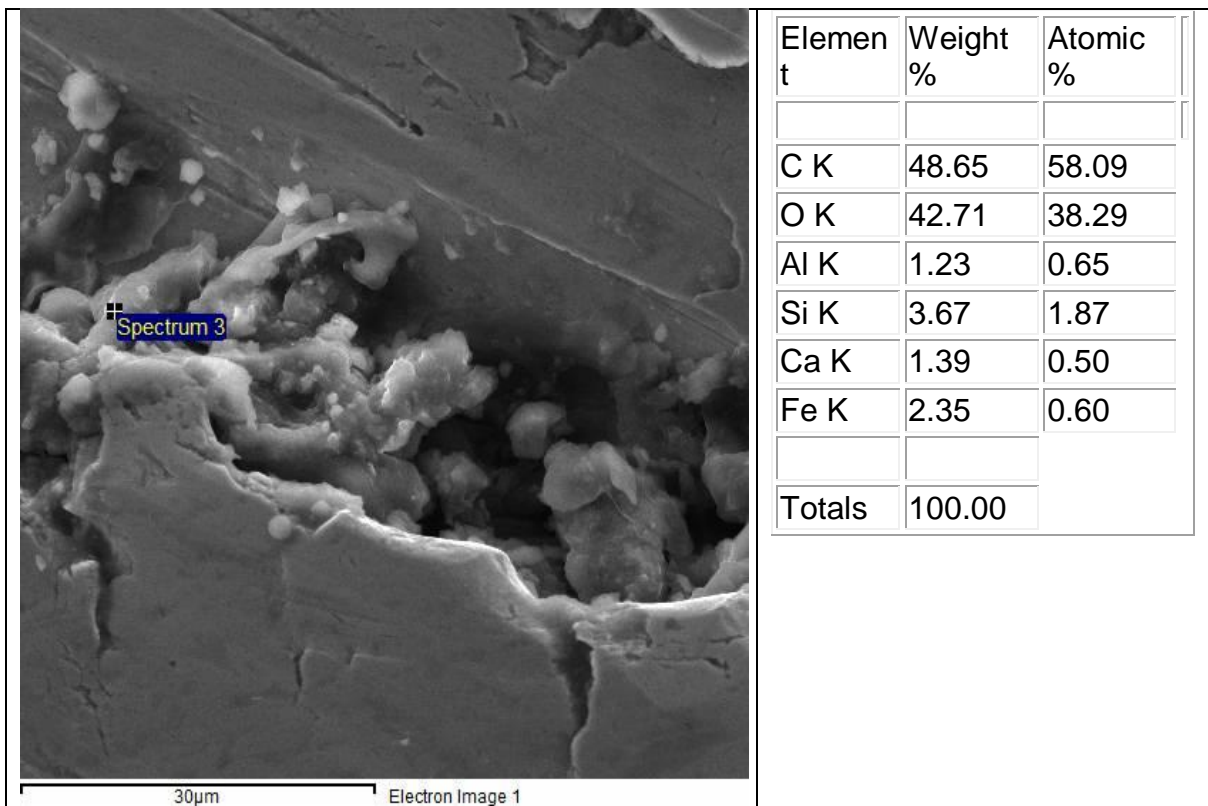


Figure 9. Chemical composition of carbon and transitions from pure Fe to raw Fe

The results obtained by the examination of the chemical composition of the tool for the production of marble indicate the conclusion that it is raw iron which by its composition

is no different from the composition of the other tools of that time (Muhly et al, 2003, Miller et al, 1994).

7. CONCLUSION

In the vicinity of Prilep, on the locality for the production of white marble Belovodica there are old quarries from the time of the Roman Empire in which there are traces of this mining, as well as some remains of tools used in the excavation of marble. Examination of the composition of these metal tools using the CEM-EDS method shows that these tools are made of raw iron in which there is a significant amount of carbon and silicon.

LITERATURE

- [1] O. H. Erdmannsdorffer (1925): Uber Kossmatit ein Neues Glied der Sprodglimmergruppe und seine Parageneses, Zentralblatt fur Mineralogie, Geologie, Palaontologie, Abteilung A, 1925, 69–72 (1925).
- [2] L. Baric,(1960): Optische Eigenschaften des Diaspors von Sivec Unweit von Prilep in Mazedonien, Bulletin of the Scientific Council of Academy of Yugoslavia, 5, 71–76 (1960).
- [3] N. Dumurganov, N. Stefkov (1994):, The Geology and Technical Features of the Sivec Marble Deposit – Prilep, Republic of Macedonia, *Geologica Macedonica*, 8, 29–35 (1994).
- [4] M. Arsovski, N. Dumurganov, S. Hristov, T. Ivanov, V. Ivanova, P. Petkovski,
- [5] R. Stojanov,(1977): Correlation of the Pre-Cambrian Complexes of the Pelagonian
- [6] Massif, Vardar Zone and Serbo-Macedonian Massif, Colloquium of Geology of the 6th Aegean Region, Proceedings, Athens, 2, 549–558 (1977).
- [7] M. Arsovski, N. Dumurganov,(1984): Recent Findings of the Structure of Pelagonian Horst Anticlinorium and Its Relation with the Rhodopean and Serbo-Macedonian Massif, *Geologica Macedonica*, 1, 3–25 (1984).
- [8] R. Stojanov,(1968) Fengites in Pelagonian Metamorphic Complex, Geological Survey of Macedonia, Book of Papers, 13, 41–57 (1968) (in Macedonian).
- [9] L. Baric,(1969): Mineralogische Entdeckungen die am Material aue Fundorften in Mazedonien Bisher Gemacht Worden Sind, Geological Survey of Macedonia, Book of Papers, 14, 55–66 (1969) (in Macedonian).
- [10]M. Jersek, B. Mitric,(1999): Corundum from Prilep Dolomitic Marble (Macedonia), *Scopolia*, 41, 1–22 (1999).
- [11]Jovanovski, G., Boev, B., Makreski, P., 2013: Minerals from the Republic of Macedonia-with introduction to mineralogy, MANU, 2013, Skopje
- [12]Miller, Duncan E.; Der Merwe, N.J. Van (1994). "Early Metal Working in Sub-Saharan Africa: A Review of Recent Research". *Journal of African History*. 35: 1–36.
- [13]Muhly, James D. (2003): 'Metalworking/Mining in the Levant' pp. 174-183 in *Near Eastern Archaeology* ed. Suzanne Richard (2003), pp. 179-180.