



УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ”-ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
Наоѓалишта на минерални сировини /Институт за геологија
ШТИП

Илијевски Коле

**МИНЕРАГЕНЕТСКИ КАРЕКТЕРИСТИКИ НА
НАОЃАЛИШТЕТО НА БЕЛ МЕРМЕР “СИВЕЦ”**

-МАГИСТЕРСКИ ТРУД-

Штип, март 2012

МЕНТОР: д-р Тодор Серафимовски, редовен професор,
Катедра: Наоѓалишта на минерални суровини,
Факултет за природни и технички науки

Комисија за оценка и одбрана

Претседател: д-р Орце Спасовски, вонреден професор,
Катедра: Наоѓалишта на минерални суровини,
Факултет за природни и технички науки

Член: д-р Тодор Серафимовски, редовен професор,
Катедра: Наоѓалишта на минерални суровини,
Факултет за природни и технички науки

Член: д-р Виолета Стефанова, вонреден професор,
Катедра: Наоѓалишта на минерални суровини,
Факултет за природни и технички науки

Благодарност и посвета:

Должен сум и чувствувам обврска да изразам благодарност до сите кои на каков било начин помогнаа за реализирање на овој магистерски труд, а пред сè на моето семејство кое во изминатиот временски период издржа поради моето отсуство при реализирањето на оваа задача.

За прифаќањето на ментор на овој Магистерски труд, за севкупно дадената помош воопшто, за укажаните совети, поуки и сугестии, изразувам голема благодарност до менторот проф. д-р Тодор Серафимовски.

Посебна обврска чувствувам да изразам благодарност и до: проф. д-р Орце Спасовски, проф. д-р Виолета Стефанова и доцент д-р Горан Тасев, за дадените корисни совети, корекциите на ракописот, техничкиот изглед и целосната дадена помош при изработката на магистерскиот труд.

Должам благодарност до менаџерскиот тим во фирмата во која работам МЕРМЕРЕН КОМБИНАТ АД ПРИЛЕП, за разбирањето, слободата при користењето на сите податоци со кои располага фирмата и за севкупната дадена помош воопшто.

На крај, за да биде ова вака како што е денеска, да издржам, пред сè за да станам ова што сум, ме водеше желбата и мислата на еден човек, а тоа е мојот ТАТКО, па затоа овој магистерски труд му го посветувам нему.

ОБЈАВЕНИ ТРУДОВИ

DISTRIBUTION AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF Pb-Ti-MINERALISATIONS IN A MIXED SERIES NEAR NEŽILOVO VILLAGE, MACEDONIA

Simeon Jancev¹; K. Ilijevski²

¹ Faculty of Technology and metallurgy, "Sv. Kiril i Metodij"
University, Skopje, Macedonia; e-mail: sijan42@hotmail.com

² Faculty for Mining and Geology, Stip, Macedonia

Abstarct: In defferent rocks (meta-rhyolites, dolomitic marbles, baryte schists ect.) of the aforementioned region from Macedonia, were discovered accessories of mineral components - peculiar Pb-Ti- mineralisations which geochemical composition could be refered alternatively to a Pb-poor-Ti-rich nezilovite- $\text{Pb}_{0,56}(\text{Ti}_{7,24}\text{Fe}_{2,96}\text{Zn}_{1,22}\text{Mn}_{0,45}\text{Sb}_{0,12})_{11,99}(\text{O},\text{OH})_{19}$, or to a very rare variety of Zn-rich senaite (?) - $\text{Pb}_{1,09}(\text{Ti}_{11,91}\text{Fe}_{5,84}\text{Zn}_{2,84}\text{Mn}_{0,48}\text{Sb}_{0,31})_{21,38}\text{O}_{38}$. Examined very rare Pb-Ti-mineral samples were indicated by ore microscopy and analysed by SEM-method. Furher mineralogical (X - ray, etc.) examinations are in progres.

Key words: new mineral species, Pb-poor-Ti-rich nezilovite (?), Zn-rich senaite (?)

МИНЕРАГЕНЕТСКИ КАРЕКТЕРИСТИКИ НА НАОЃАЛИШТЕТО НА БЕЛ МЕРМЕР “СИВЕЦ”

Краток извадок:

Во овој труд комплексно ќе бидат презентирани минерагенетските карактеристики на наоѓалиштето за бел мермер “Сивец”, односно ќе бидат презентирани сите параметри кои ќе се добијат како резултат на извршените научни испитувања кои донекаде ќе дадат една јасна слика за специфичноста на појавувањето, типот и видот на мермерите од наоѓалиштето “Сивец”, кое пред се бара една научна подлога за насочување на регионалните и деталните геолошки истражувања во функција на осознавањето на пошироката околина, најнапред во доменот на структуролошките прашања, а потоа и на, со време, запоставуваните минеролошки карактеристики на мермерите кои претрпеле неколку фази на метеморфизам.

Моделирањето на поедини делови од наоѓалиштето во трите димензии неспорно доведуваа до насочување и моделирање на перспективните резерви во услови на активна експлоатација со комерцијална димензија. Ваквото моделирање особено има своја непобитна страна во осознавањето на степенот на распуканоста, што е еден од основните услови за комерцијалитетот на финалниот производ.

Пазарната вредност на специфичните бели мермери од наоѓалиштето “Сивец”, неспорно има големо влијание во насочувањето на геолошките истражни работи и отвора можност за проширување на експлоатационите површини. Изработката на неколку вариетети на геолошко-економска оцена во услови на експлоатација на белите мермери во наоѓалиштето “Сивец” може само позитивно да се одрази токму на тие делови кои треба да бидат предмет на доистражување и експлоатација во некоја последователна фаза.

Клучни зборови:

специфичност, вид, истражување, моделирање, геолошко-економска

MINEROGENETIC FEATURES OF THE WHITE MARBLE DEPOSIT “SIVVEC”

Abstract:

The purpose of this paper is to give an elaborate presentation of the minerogenetic features of the white marble deposit “Sivec”, *i.e. to present the parameters got through the conducted scientific research, which will give a fairly clear image of the specificity of the emerging/ origination, the variety and the types of marble in the location “Sivec”, which above all, requires a scientific base for the direction of the regional and the elaborate geological researches in order to increase consciousness for developing a bigger part of the surrounding area, firstly in the field of structural issues, and then concerning the neglected mineralogical features of the marbles which had undergone several phases of metamorphism.*

The modeling of particular parts of the location in the three dimensions undeniably resulted with the direction and modeling of the perspective mineral reserves in terms of active exploitation with commercial dimension. This modeling plays a particular role in the process of defining of the degree of cracking, which is one of the basic conditions for the commercialization of the final product.

The market value of the specific white marble of the location “sivec” undeniably has great influence in the direction of the geological researches, and enables the expansion of the areas of exploitation.

The production of several varieties of geologically-economical estimation *in terms of exploitation of the white marble in the location “sivec” could only have positive repercussions exactly on those parts which should be objects of further research and exploitation in a certain successive fase.*

Key words:

Specificity, variety, research, modeling, geologically-economical

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД.....	1
2. ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО.....	3
3. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКА РАБОТА.....	4
4. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА.....	7
4.1. Тектонска реонизација на Македонија и местоположба на Пелагонискиот масив.....	10
5. ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ПЕЛАГОНИСКИОТ МАСИВ.....	13
5.1. Северен дел на Пелагонискиот масив.....	14
5.2. Јужен дел на Пелагонискиот масив.....	21
6. ТЕКТОНСКА ГРАДБА НА ПЕЛАГОНИСКИОТ МАСИВ.....	27
7. МЕТАМОРФИЗАМ ВО ПЕЛАГОНИСКИОТ МАСИВ.....	30
8. МЕРМЕРЕН КОМПЛЕКС “СИВЕЦ”.....	32
8.1. Географско-комуникациона положба.....	35
8.2. Историјат на досегашни истражувања.....	35
8.3. Литолошки и стратиграфски карактеристики на дел од мермерната серија од наоѓалиштето “Сивец”.....	37
8.4. Прекамбриски тектонски процеси.....	37
8.5. Неотектонски деформации.....	41
8.6. Детални структурни карактеристики.....	41
8.7. Петрографски карактеристики.....	47
8.8. Лабораториски испитувања.....	52
8.8.1. Рентгентска анализа.....	52
8.8.2. Минеролошки карактеристики.....	62
8.8.3. Физичко-механички особини на мермерите.....	66
8.8.4. Технолошки карактеристики на мермерите.....	69
8.8.5. Геохемиски карактеристики на мермерите.....	70
8.8.6. Проучување на изотопите.....	74
8.9. Генеza на наоѓалиштето.....	85
8.10. Компјутерско моделирање и 3D модел на наоѓалиштето.....	93
8.10.1. Начин на изработка на 3D модел на рудникот “СИВЕЦ”.....	93
8.11. Рудни резерви на наоѓалиштето за бел мермер “СИВЕЦ”.....	100
9. ГЕОЛОШКО ЕКОНОМСКА ОЦЕНА НА НАОЃАЛИШТЕТО.....	109

9.1. Фактори на геолошко економска оцена.....	109
9.2. Показатели на геолошко економска оцена.....	111
9.3. Елементи на геолошко економска оцена.....	113
9.4. Методи на геолошко економска оцена.....	117
9.5. Примена на Геолошко-економската оцена.....	124
9.6. Анализа на добиените резултати.....	129
10. ЗАКЛУЧОК.....	131
11. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА.....	134

1. ВОВЕД

Во овој труд комплексно ќе бидат презентирани минерагенетските карактеристики на наоѓалиштето за бел мермер “Сивец”, односно ќе бидат презентирани сите параметри кои ќе се добијат како резултат на извршените научни испитувања кои донекаде ќе дадат една јасна слика за специфичноста на појавувањето, типот и видовите мермери од наоѓалиштето “Сивец”, кое пред сè, бара една научна подлога за насочување на регионалните и деталните геолошки истражувања во функција на осознавањето на пошироката околина, најнапред во доменот на структуролошките прашања, а потоа и на, со време, запоставуваните минеролошки карактеристики на мермерите кои претрпеле неколку фази на метаморфизам.

Улогата на минералната асоцијација во компактоста на специфичните бели мермери во последно време сè повеќе се наметнува како фактор кој мора научно да биде третиран. Во тој контекст мошне значајни се типот, видот и потеклото на материјата од кои се изградени калцитите како основни конституенти на белите мермери. Еднозначно досега е третиран овој проблем, но научните информации говорат дека во потеклото на јаглородите се кријат и интересни податоци за типот, видот и квалитетот на овие мермери.

Покрај калцитите, корундите, хлоритите ќе бидат истретирани (испитани) и серија карактеристични метаморфни минерали кои заслужуваат рендгенски да бидат истретирани, за да се дефинира нивното место во минералната асоцијација и ад се укаже на нивната просторна распределеност која директно влијае на комерцијалноста на белите мермери.

Моделирањето на поедини делови од наоѓалиштето и сепаратното набљудување на поедините геолошки профили во трите димензии, неспорно доведуваа до насочување и моделирање на перспективните резерви во услови на активна експлоатација со комерцијална димензија. Ваквото моделирање особено има своја непобитна страна во осознавањето на степенот на распуканоста, што е еден од основните услови за комерцијалитетот на финалниот производ.

Пазарната вредност на специфичните бели мермери од наоѓалиштето “Сивец”, неспорно, има големо влијание во насочувањето на геолошките истражувачки работи и отвора можност за проширување на експлоатационите

површини. Сепак, треба да се направи една опсежна геоекономска анализа која ќе има директно влијание на степенот на оправданоста на користењето, не само на екстракомерцијалните делови од наоѓалиштето, туку ќе насочи и делови од рудните резерви кои во одредени временски услови и природно-вредносни показатели не биле во состојба да бидат предложени за експлоатација. Изработката на неколку варијети на геолошко-економска оцена во услови на експлоатација на белите мермери во наоѓалиштето “Сивец” може само позитивно да се одрази токму на тие делови кои треба да бидат предмет на доистражување и експлоатација во некоја последователна фаза.

Мермерната маса во Пелагонискиот хорст-антиклинориум се експлоатира многу одамна. Организирано рударење има во последните педесетина години. Наоѓалиштето “Сивец” е најзначајниот и најпознатиот локалитет. При експлоатацијата на мермерната маса, методите и технологијата, со текот на времето се менувале и усовршувале. Во овој труд, покрај досега наведените научни испитувања, дадени се и прегледот и анализата на сите досегашни истражувања на мермерите во Пелагонскиот хорст-антиклинориум со посебен осврт на наоѓалиштето “Сивец”.

Ваквите видувања од инженерски аспект беа предизвик за реализација на оваа магистерска работа која, се надевам, ќе има свој научен придонес во делот на атрактивните неметални минерални сировини во Република Македонија.

2. ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Според поставената задача на истражувањето, една од целите е комплексно да се прикаже истражуваниот простор. Во тој контекст е направена комплексна анализа на сите досегашни истражувања на наоѓалиштето “Сивец”, од голем број автори, а тоа се истражувања со широк спектар на поставени задачи за реализација.

Посебен осврт е направен при анализата на рудникот “Сивец”, имајќи ја предвид мојата досегашна работна активност и можноста за користење на рудничката документација. За наоѓалиштето “Сивец” беше извршен избор на различни видови калцит кои беа третирали на изотопи на јаглерод, беа изведени геохемиски анализи кои дадоа резултат за дистрибуцијата на најразличните придружни елементи, а посебно внимание беше посветено на рендгено-структурните испитувања кои го потврдија присуството на главните и придружните минерални фази во наоѓалиштето “Сивец”. Заедно со нив беше работено и на макроструктурно-текстурните карактеристики на белите мермери. Направен е и 3D-модел на наоѓалиштето “Сивец”. 3D-Моделот го дава целиот простор на наоѓалиштето “Сивец”, заедно со одлагалиштата со состојба од 31. 12. 2010 година.

Направените компјутерски анализи, базата на податоци со 3D-модел, има за цел да ги прикаже можностите на компјутерската техника во фазата на истражување на дадениот простор, изработката на елаборати, проектирање и следење на динамиката на експлоатација, како и формирање на комплетна дигитална архивска база на податоци за даден рудник.

3D-Моделирањето има посебна тежина во рудниците за украсен камен, а посебно во планирањето на експлоатацијата.

Дел од вниманието на овој труд е посветено и на обработката на натуралните и вредносните показатели кои претставуваат основа за современо менаџирање на ваквите објекти, во овој случај се пристапи на обезбедување на научна подлога за насочување на активностите на оперативен план поддржан од геоекономските параметри кои ги диктира пазарната економија. Ова е особено важно за белите мермери во наоѓалиштето “Сивец”, каде комерцијалноста се искажува преку блоковитоста на самите мермери.

3. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКА РАБОТА

Во реализацијата на поставената задача во првиот дел од истражувањето се вршеше изучување на предметот и објектот за работа како и степенот на постигнување во тој домен.

Во рамките на оваа фаза во најголем дел се реализираа рекогносцирачки работи, како во делот на самото наоѓалиште, така и за неговата непосредна околина, претежно во доменот на истражувачката работа која се вршела на самото наоѓалиште “Сивец” како и за неговата непосредна околина.

Во рамките на теренските истражувања и проучувања кои беа направени со цел да се обезбедат квалитетни и објективни графички прилози, работни планови и информации неопходни за толкување на серијата процеси поврзани со минералниот состав, карактерот на алтерациите, минералната асоцијација, морфолошкиот облик на појавување на продуктивните бели мермери, геохемиската дистрибуција на придружните елементи во мермерите и др., беа собрани примероци, како од самата мермерна маса, така и од разните минерали кои се појавуваат во самото наоѓалиштето “Сивец”. Тие примероци понатаму беа третирани со определување на изотопите на јаглеродот и кислородот.

Изотопните анализи на јаглерод и кислород од примероци на калцити и мермери (доломитски) од наоѓалиштето на доломитски мермер “Сивец”, беа изведени во соработка со Наравнословенотехничкиот факултет при Универзитетот во Љубљана и беа направени во познатиот Институт Јозеф Штефан во Љубљана, Р.Словенија. Јаглеродниот диоксид (CO_2) беше екстрахиран од калцитот (при 25°C) и мермерот (при 50°C) со користење на 100% фосфорна киселина (McCrea 1950). Јаглеродот во графитните сепарати е трансформиран во CO_2 со загревање заедно со бакар оксид при температура од 800°C . Јаглеродниот диоксид добиен од калцитот и мермерот е анализиран со користење на *Europa 20-20 Stable Isotope Analyser* со ANCA TG модул за сепарација на гасови во траги.

Анализите на изотопите на кислородот се направени на претходно fino сомелени примероци од калцити и мермери, каде кислородот е екстрахиран со употреба на BrF_5 , како што е опишано во Clayton & Mayeda (1963) и

квантитативно е претворен во CO_2 над вжештен графит (Beyth et al. 1997). Паралелната анализа на стандардот *NIST-28* (поранешен *NBS-28*) даде вредности од 9.52‰, додека трите анализи на интерниот кварцен стандард дадоа просечна вредност од 11.4‰, што е во корелација со 9.6‰ за *NIST-28*.

Беа направени геохемиски анализи кои дадоа резултати за дистрибуцијата на придружните елементи.

Земените примероци за геохемиски анализи беа испитувани во лабораторијата Acme Analytical Laboratories (Vancouver) во Канада.

Примероците беа испитувани со помош на ICP и ICP-MS и тоа со групите 1DX, 4A и 4B.

Групата 1DX се применува на 0,5гр. количина од примерокот кој се филтрира со вода загреана на 95°C , при што треба да се одбере поголема количина на примерок кој сакаме да го анализираме за да може да се добие потребната количина на Au анализи. Огноотпорните и графитични примероци можат да ја ограничат растворливоста на Au.

Рентабилните карактеристики на земените примероци се состојат од четири различни аналитички тестови.

Групата 4A претставува анализа која дава целосно изобилие на главните оксиди и неколку споредни елементи кои се јавуваат. Количината на примерокот кој се анализира со ICP-емисиона спектрометрија е 0,2 грама проследен со Lithium metaborate/tetraborate под дејство на топење со разредена азотна дигестија. Загубата при палење (LOI) се добива преку разликата во маса по палење на 1000°C .

Групата 4B претставува совршено надополнување на групата 4A.

Овој пакет содржи две различни анализи. Ретки земји и огноотпорни елементи се детерминираат со ICP масена спектрометрија проследена со Lithium metaborate под дејство на топење со загреана азотна киселина од 0,2 грама на примерок (истото распаѓање како во групата 4A). Надополнувањето на различниот примерок од 0,5 грама се дигестира со Aqua Regia и се анализира со ICP масена спектрометрија при што дава извештај за главни и споредни метали. Притоа, ова е ист метод како и методот од групата 1DX.

За анализа на групата 4A и 4B, потребна количина од примерокот е 5 грама, а за пакетот 4A-4B потребна е 10 грама од примерокот кој се анализира.

Во склоп на овие испитувања беа направени и рендгено-структурни испитувања кои го потврдија присуството на главните и придружните минерални фази во самото наоѓалиште.

Рендгенографските испитувања беа извршени со “Sistem D500 Siemens” со компјутерско управување и бакарно монохроматско зрачење при 40kV/30mA и поставување на автоматско променлива влезна бленда. Оптималниот однос на линијата/фонот се обезбедува автоматски од компјутерот PDP 11/23+. Дијагностицирањето на фазите при квалитативна анализа се извршени со помош на програмски пакет “Diffract 11” во програмите IDR, EVAL, COMSEA.

Квантитативните анализи беа направени по методот на Петер и Калман со претходно утврдени калибрациони коефициенти (корундови делови) за одделни минерални фази.

Беа подготвени и испитувани препарати со минимална преносна ориентација за снимање на општиот дифракционен модел во опсегот $2\Theta=3-60^{\circ}$.

- појдовна проба
- загревање при 600°C со траење од 2 часа.

По оваа методологија беа анализирани шесте примероци одбрани од наоѓалиштето “Сивец” означени како PRVN20; PRVN21; PRVN22; PRVN23; PRVN24 и PRVN25.

Имајќи ја предвид поставената цел за компјутерско моделирање на изучуваниот простор (просторот на наоѓалиштето “Сивец”), користени се методите на компјутерска обработка на дел од податоците, со почетни основи на табеларна база на податоци. На самиот рудник “Сивец” е извршено 3D-моделирање заедно со неговите одлагалишта.

3D-Моделирањето е извршено со помош на софтверскиот пакет на програмата на Datamine Studio3 со авторско право на Datamine Corporate.

Методот на формирање на дигитална база со 3D-моделите, применета на наоѓалиштето “Сивец” за ограничен број параметри, треба да ги отвори можностите на масовна употреба на компјутерската техника во геологијата и рударството.

Дигиталните бази и 3D-моделите како метод на работа, треба да се користат во фазата на истражувањето на просторот, проектирање на рудникот, динамиката на експлоатација, планирањето и изработката на анализи и студии од различен карактер.

4. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА

Пелагонискиот хорст-антиклинориум е тектонски елемент-структура од прв ред, која се протега на територијата на Р.Македонија во должина од околу 150 км и ширина околу 40 км. Претставува крупен масив (хорст) кој од сите страни е ограничен со раседи, а изграден е главно од високо метаморфни карпи.

Терминот “Пелагониски масив” во геолошката литература за првпат го вовел Космат (1924), кој вршел геолошко-истражувачки работи на територијата на Македонија за време на Првата светска војна заедно со група геолози. Во овој термин Космат ги вклучува терените од Западна Македонија и сите терени во Грција кои се изградени од палеозоиски и прекамбриски шкрилци. Пред Космат, Пелагонидите се сметале за дел од Родопите. Космат утврдил, долж Вардарската долина, еден појас од интензивно набран креден флиш со кој е поврзана зона од палеозоиски и мезозоиски карпи. Овој појас, кој го одделува Пелагонискиот масив од Родопите, го нарекол Вардарска зона. Структурите во Пелагонот, според Космат, се формирале под влијание на алпските орогени движења.

Што се однесува до внатрешната структура на Пелагонискиот масив, авторот претпоставува дека наизменичното сменување на гнајсевите и шкрилците не е последица на едноставна инјекција, туку на низа тектонски настани. Се работи за навлекување, кое е својствено на основните пластични планини. Од кровината, која настанала со издигање на магматската маса за време на набирањето, се откинале одделни партии, станале гнајсни и се прошириле помеѓу слоевите, мешајќи се со шкрилците.

Југословенскиот истражувач Цвијиќ (1926, *Основи за географијата и геологијата на Македонија и Стара Србија* – монографија), кој ги проучувал терените на Балканскиот Полуостров, има дадено детални податоци за геолошката градба и геологијата на Македонија. Во границите на Балканскиот Полуостров, Цвијиќ ги издвоил следните главни системи:

- стара маса на Балканскиот Полуостров;
- преодни зони меѓу старата маса и младите набрани планини и
- млади набрани планини, во кои ги издвоил:

а) Балкански систем;

- б) Карпатско - Банатски систем;
- в) Динарски систем, и
- г) Шарско - Пиндски систем.

На територијата на Македонија Цвијиќ детално ја расчленил Родопската маса. Овде тој издвојува подрачје источно од Вардар, кое се однесува на Родопската маса, потоа стара Вардарска депресија, Пелагониски или Западно-Македонски масив и преодна зона. Во рамките на Пелагонискиот масив ги вклучува терените на планините Баба и Бушева над Крушево, Пелистер над Битола, Клисурската Планина, Ниџе со Кајмакчалан, а на исток од Битолската Котлина - Бабуна со Плетвар и Селечка Планина.

Пелагонискиот масив, Цвијиќ го смета за кристалесто јадро кое е дел од Родопската маса од која на исток е издвоено со старата Вардарска депресија.

Луковиќ (1931) ја проучувал Скопската Котлина и нејзиниот обод и делумно го зафатил и теренот на Пелагонискиот масив. Според него, структурата на Пелагонидите е предпалеозоиска, а кристалестите шкрилци кои го изградуваат теренот ги смета за алгонкиски.

Јаранов (1947), познат бугарски геолог, дава нови податоци за стратиграфијата на палеозоик од Западна Македонија. Тој претпоставил дека дијабазно-филитската формација од Западна Македонија припаѓа на периодот силур-девон, што подоцна е потврдено со наоѓање на фосили.

Овој автор смета дека за време на алпската орогенеза, Пелагонот за цело време имал тенденција на издигање кое настанало од периферијата на масивот долж раседот.

Муратов (1949) работел на тектониката на Македонија и во нејзините рамки издвоил неколку тектонски единици и тоа (од исток кон запад): Македонски масив, синклинориум на Вардар, Пелагониски масив и Дебарска зона која ја смета за дел од мега-антиклинориумот Динариди - Хелениди.

Миловановиќ (1950), Пелагонискиот масив го споредува со кристалестите терени во Поречката навлака во Источна Србија, која лежи внатре во Карпатско - Балканскиот планински лак.

Кобер (1953) претпоставил дека во времето на развојот на Алпската геосинклинала, Пелагонискиот масив претставувал геоантиклинала формирана од варијациските движења. Ова го претпоставил врз основа на својата основна концепција дека алпската геосинклинала настанала на местото на херцинскиот

ороген појас кој во времето на мезозоик тонел под морското ниво. Според Кобер, спуштањето на херцинските структури било нерамномерно и како резултат на тоа се формирале депресиите-геосинклинали и издигнувања-геоантиклинали кои за време на орогените движења се движеле кон соседните кратони.

Медвениќ (1956) составил тектонска скица за Вардарска Македонија, во која на исток ги издвоил Родопите и Фурка зона, а останатата територија ја вклучува во Динаридите - Хеленидите. На оваа територија тој ги издвоил: Дебарската, Корабско - Пелистерската и Љуботенската зона, Крушевскиот клин, Вардарската зона, Радушката навлака и Пелагонидите. При составувањето, авторот се раководел од идеите на Кобер, но стратиграфијата, односно формациите и нивната старост ги ставил во заден план.

Петковиќ (1958) на територијата на Македонија ги издвоил Родопската маса, Вардарската зона и Пелагонискиот масив. Родопската маса ја смета за старо кристалесто јадро кое во текот на алпската орогенеза, со тектонските процеси, било искршено на помали и поголеми блокови кои претставувале хорстови и гребени. За теренот на Пелагонот смета дека стратиграфијата уште не е решена и за прв пат Пелагонискиот масив го нарекува антиклинориум, но во него ја вклучува и Шарпланинско - Пелистерската зона.

Арсовски (1958-1960) на територијата на Македонија ги издвоил следните тектонски единици од прв ред: Српско - Македонски масив, Вардарска зона на кршење и набирање, Пелагониски хорст-антиклинориум, Шарпланинско - Пелистерска зона и Дебарска зона.

Овој автор смета дека во геолошката градба на Пелагонот учествуваат формации од геосинклинален тип од различна старост. Сочувани се елементи од прекамбриум и елементи настанати со херцинските и алпските орогени движења. Во целина, Пелагонискиот масив е претставен со метаморфен комплекс изграден, главно од гнајсеви и микашисти од предпалеозоиска, прекамбриска старост. Ова подоцна било потврдено и со проучувањата на Делеон (1966), Стојанов (1974), Думурџанов (1984-1985) и Ивановски (2002).

4.1. Тектонска реонизација на Македонија и местоположба на Пелагонискиот масив

Тектонската реонизација се врши по определени принципи кои во сегашниот степен на развој на геолошката наука се прифатени од поголем број истражувачи. Во последните три до четири децении, со проучувањето на градбата на океанската кора, се појави "Теоријата на тектоника на плочи" која има широка примена во објаснувањето на тектонските процеси, особено во океаните. Со развојот на оваа теорија се појавиле и многу нови термини во геологијата, како што се: спрединг - ширење на океанското дно, субдукција - подвлекување, обдукција - навлекување, колизија - судир на плочи и други, така што терминот геосинклинали, кој порано бил основен поим при разгледувањето на тектогенезата, сега сосем малку се користи.

Територијата на Македонија е дел од Балканскиот регион, во кој се вклучени неколку тектонски единици од прв ред. Првата тектонска реонизација на Балканскиот Полуостров е претставена од Космат (1924). Во рамките на Македонија, од запад кон исток, тој ги издвоил следните зони:

1. Зона на мезозоиски офиолитски мигматити, дијабаз-рожњачка формација и горно кредна флишна фација,
2. Пелагониски масив,
3. Вардарска зона и
4. Родопска маса.

Овој начин на реонизација е задржан скоро до денес, со тоа што се извршени подетални реонизации и уточнувања на главните зони. Од истражувањата на поголем број истражувачи, како што се Петковиќ, Сикошек, Димитријевиќ, Арсовски и други, извршено е дополнување на поранешната реонизација и тоа врз основа на следните принципи:

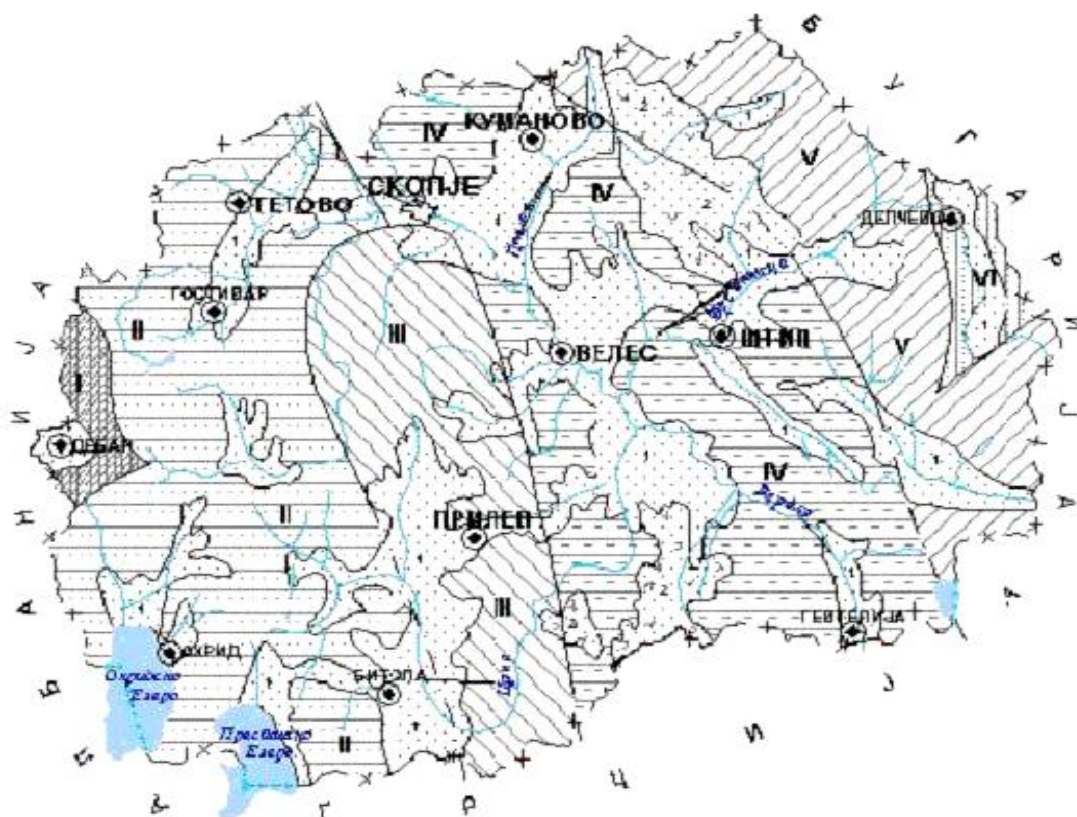
- дефинирање на времето во кое се одвивале геотектонските процеси;
- појава на магматизам, негова активност во одредена геолошка етапа и негови петролошко-хемиски особини;
- структурни и литофацијални карактеристики на присутните формации и степен на метаморфни измени;
- дефинирање на морфологијата на пликативните и дисјунктивните тектонски структури и нивните односи.

Врз основа на претходно наведените принципи, следува дека секоја тектонска единица има различна тектонска историја. Главни особини на тектонските единици се тектонските процеси кои се со различен интензитет.

Според овие тектонски принципи, територијата на Македонија е поделена на четири тектонски единици (сл. 1):

1. Српско - Македонска маса
2. Вардарска зона
3. Пелагониски масив и
4. Западно - Македонска зона.

Мал дел зафаќа и Краиштината зона (покрај границата со Бугарија) која се протега на територијата на Бугарија, а на запад, мал дел зазема зоната Цукали-Краста која е дел од Албанија.



Слика 1. Карта на тектонска реонизација на Р. Македонија $R=1:2000000$
 Figure 1. Map of tectonic regionalization of R. Macedonia $R=1:2000000$

I - Цукали-Краста; II - Западно-Македонска зона; III - Пелагониски масив; IV - Вардарска зона; V - Српско-Македонски масив; VI - Краиштинска зона;

Пелагонискиот масив или уште наречен хорст-антиклинориум, претставува автохтон остаток или реликт од прекамбриската, пребајкалска земјина кора во југоисточниот дел на Внатрешните Динариди. Од источната страна граничи со Вардарската зона, а од запад со Западно - Македонската зона. Зазема површина од околу 4000 км², што е 16% од територијата на Р. Македонија.

Детелните проучувања кои се извршени во оваа тектонска единица, укажуваат на сличност на карпестите комплекси со прекамбриските комплекси кои се присутни во Вардарската зона и Српско - Македонската маса.

Пелагонискиот масив се карактеризира со тоа што од сите страни е ограничен со регионални и длабински раседи кои претставуваат граници со соседните тектонски единици. Во алпската историја, Пелагонискиот масив за цело време бил релативно издигнат во однос на соседните тектонски единици, заради што е наречен хорст. Овој хорст е долг околу 150 км, а средната ширина му е околу 40 км со протегање север - северозапад, односно во субмеридијален правец.

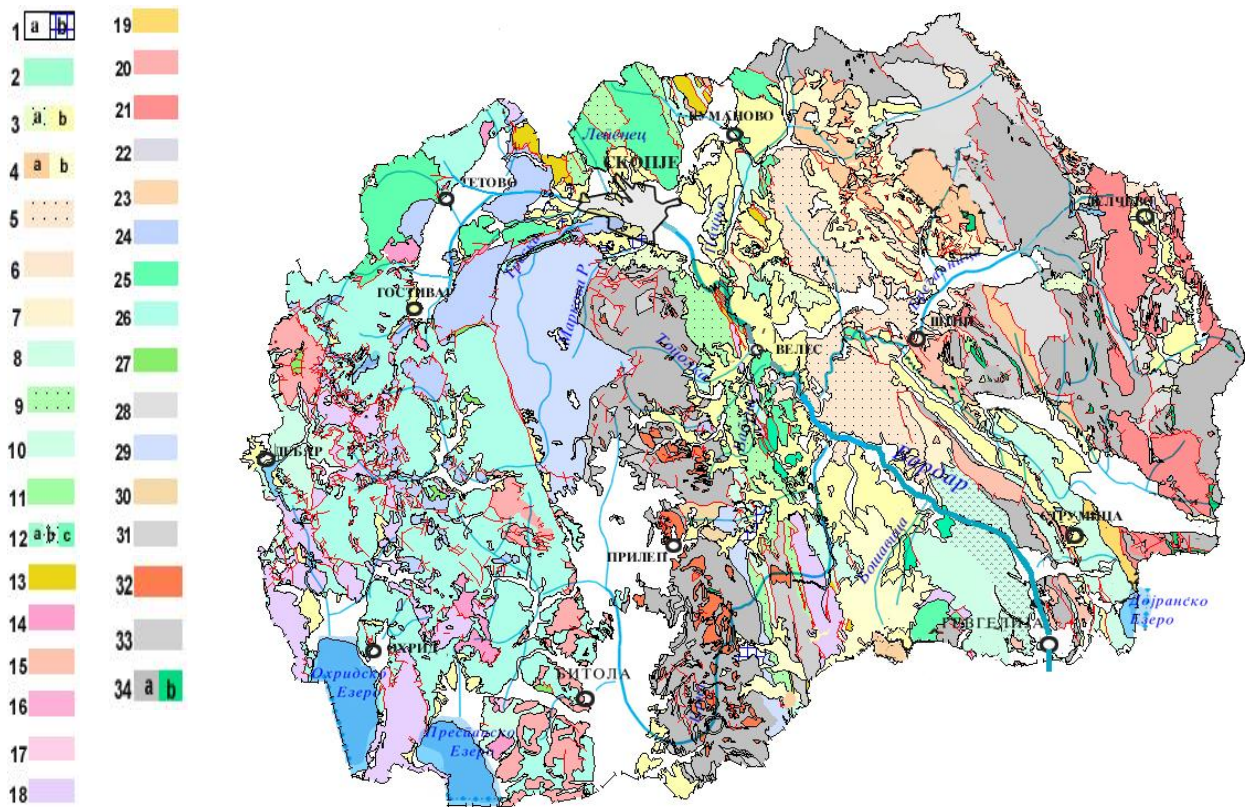
Терминот Пелагониски масив во геолошката историја е воведен во 1924 година од Космат, кој во овој поим ги вклучувал и останатите тектонски единици од Западна Македонија, се до зоната Мирдита во Албанија, како и сите подрачја на територијата на Грција кои се изградени од прекамбриски и палеозоиски комплекси. Според Космат, Пелагонидите претставуваат дел од Родопскиот масив од кој се издвоени со Вардарската зона. Подоцна Петковиќ (1958), го издвојува Пелагонот како антиклинориум и како посебна тектонска единица.

Со истражувањата на Арсовски е докажано дека овој хорст-антиклинориум е консолидиран дел од земјината кора кој бил зафатен само со осцилаторни движења и не дошло до внатрешни деформации.

Во целина, во Пелагонискиот масив се застапени карпести комплекси кои се различни од комплексите во другите тектонски единици. Морфологијата на структурите на овие комплекси покажува дека тектонските (пликативни и дисјунктивни) форми во Пелагонискиот масив се настанати во прекамбриум (во пребајкалската етапа). Структурите во соседните тектонски единици се настанати подоцна.

5. ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ПЕЛАГОНИСКИОТ МАСИВ

Геолошката градба на Р.Македонија е дадена на сл. 2. Теренот на Пелагонискиот масив е изграден од метаморфен комплекс претставен со гнајсеви, микашисти, мермери и мали серии на кварцити и амфиболити и гранитоиди. Според поделбата (по М. Арсовски, 1997), Пелагонискиот масив е поделен на два дела и тоа северен и јужен дел, во кои претежно доминираат гореспоменатите карпести комплекси.



Слика. 2- Геолошка карта на Р. Македонија R=1:1650000
Figure 2. Geological map of Macedonia R=1:1650000

1a-Недетерминирани; 1b-Травертин; 2-Базалти; 3.Езерски седименти:а-пескови и чакали; б-лапоровити глини; 4.Андезити:а-вулкански интрузии; б-вулкански седименти; 5.Марински теригени-карбонатни седименти; 6.Марински јагленови формации; 7.Теригени-груби кластични формации 8.Марински-гипсно-карбонатно-теригени седименти; 9.Флиш; 10.Минерализирани вулcano-интрузивни единици (дијабази, лава и туфови;теригено карбонатни седименти) преталожени Fe-Ni оолитски руди и Cu-сулфиди; 11.Марински конгломерати со базалните конгломерати; 12. Офиолитски единици: а-габро-перидотит; б-габро; в-вулкански седименти; 13.Перидотит; 14.алкални гранити; 15.Кварц монзонит гранодиорити гранити; 16.Кварцно порфирски вулкански седименти во 3.Македонија; 17.Кератофирни вулcano-седименти единици во 3. Македонија; 18.Карбонатно теригени единици; 19.Риолити мета-вулcano-сидименти стени; 20.Гранито-сиенити во 3. Македонија; 21.Палеогени гранити во I. Македонија; 22..Циполини; 23.Струма-диоритска единица; 24.Карбонатни единици во 3.Македонија; 25. Минерализирани вулcano седименти единици; 26.Минерализирани вулcano седиментни единици; 27.Вулcano-седименти и седиментни единици; 28.Гриншисти; 29.Палеогени мермери; 30.Минерализирани алкални вулcano седиментни единици; 31.Минерализирани метаморфисани габро вулкански седименти; 32. Палеогени гранити; 33. Микашисти; 34. а-Гнајс; б-Амфиболити

5.1. Северен дел на Пелагонискиот масив

Во овој дел на Пелагонискиот масив се издвоени горен и долен дел. Долниот дел е претставен со серија на гнајсеви и серија на микашисти, додека горниот дел е претставен со мешана серија и серија на мермери. За долниот дел се поврзани и гранитоидните карпи. Карпите се од прекамбриска старост.

Серијата на гнајсеви ги изградува најдлабоките делови од метаморфниот комплекс во северниот дел на Пелагонискиот масив.

Во нив се издвоени неколку типови и тоа: окцесто-амигдалоидни, лентовидни, леукократни мусковитски и епидот-мусковитско-биотитски гнајсеви. Окцесто-амигдалоидните гнајсеви се поврзани со контактните делови на гранитоидните интрузии, додека останатите типови се позастапени во погорните делови од серијата на гнајсевите.

Гнајсевите од оваа серија, во долните делови, се масивни и банковити, слоевити и шкрилести, што зависи од застапеноста на лискунот. На површината тие се распаѓаат во неправилни форми со различна големина.

По боја, гнајсевите најчесто се светлоцрвенкасти. Деловите кои се побогати со кварц и албит имаат посветла боја, а деловите побогати со лискуни имаат сивозеленкаста боја. Карактеристично е тоа што во долните делови, претставени со биотитско-мусковитски гнајсеви, од фелдспатите доминира микроклинот, а во погорните партии, односно во мусковитските гнајсеви, доминира албитот.

Гнајсевите кои се застапени на контактните делови со гранитоидите, односно гранитогнајсевите, имаат порфиروبластична лентовидна структура и се карактеризираат со крупни фенокристали од фелдспати.

Честопати во нив се сменуваат леукократни гнајсеви со крупнозрнеста структура кои претставуваат преодни типови меѓу гнајсевите и гранитоидите. Вакви типови се јавуваат во изворскиот дел на Кадина Река, Мукос и други локалитети.

Југозападно од село Оморани, во серијата на гнајсеви се издвоени биотит-епидотско-мусковитски гнајсеви со средно и ситнозрнеста структура и сива до темносива боја, во кои минералите се ориентирани. Изградени се главно од епидот и биотит, а од фелдспатите има албит.

Во некои делови од северниот дел на Пелагонискиот масив, како на Даутица и изворскиот дел на река Бабуна, се среќаваат неправилни леќи и ленти од амфиболски гнајсеви и амфиболити со изразита темнозелена боја, со зрнеста структура и масивна текстура.

Со распаѓање на овие амфиболски карпи, на нивната површина се таложи халит. Во ова подрачје има четири локации со каптирани извори од кои, за време на Втората светска војна, водата била користена како замена за сол. Појавата на солени води е тесно поврзана со изданоците од амфиболски карпи, бидејќи во гнајсевите нема траги од сол.

Во околината на село Елово, има појава на леќи од еклогити кои се изградени од гранат, пироксен и други минерали со темнозелена боја кои се карактеристични за еклогитите.

Во околината на село Нежилово и Ораше, во горните делови на гнајсевите, се јавуваат крупни леќи и прослојци од циполини и мермери. Североисточно од Нежилово, во подината на мермерите, се јавува слој од сахароидни доломити, кои се богати со шкрилци од темножолт и кафеав вермикулит.

Во серијата на гнајсеви се констатирани промени во петрографскиот состав, како во хоризонтален, така и во вертикален правец. Во долните делови преовладуваат банковити и масивни порфиробластични окцести гнајсеви во кои има ксенолити од темносива ситнозрнеста карпа изградена од фелдспат, серицит и кварц.

Банковитите и масивните гнајсеви постепено се сменуваат со слоевити гнајсеви со добро изразена шкрилавост. Во нив се јавуваат и прослојци од микашисти во кои главни минерали се кварц, мусковит и гранат.

Серијата на микашисти е помалку застапена во однос на серијата на гнајсеви. Претставена е со лискунски шкрилци, кварцити и графитични кварцити, кои преминуваат едни во други. Микашистите се јасно зашкрилени, со темнокафеава до црна боја, зависно од присуството на графитична материја. Во основната маса, освен кварц, содржат и лискуни (мусковит и биотит), како и дистен, стауролит, албит, амфибол, турмалин и други. Има и гранатски микашисти кои содржат до 30% гранат, чии кристали достигнуваат големина на орех. Вакви карпи се застапени северно од Козјак.

Во некои делови, во гранатските микашисти има и графитични кварцити, кои во близина на гранитоидите се многу албитизирани. Во составот на овие микашисти учествуваат: кварц, албит, мусковит, биотит, хлорит, гранат, магнетит, рутил и јагленова материја. Во графитичните кварцити, кои се со црна боја, има присуство на чисти кварцити кои се шупликави на површината, затоа што од нив делумно е изнесена графитичната материја, а содржат и оксидиран пирит кој лесно се распаѓа.

На контактите на микашистите со помалите гранитоидни тела, се појавуваат ситнозрнести биотит-мусковит-кварцни шкрилци во кои има прослојци и леќи од биотит-амфиболско-цоиситски и амфиболски шкрилци со албит и гранати.

Во серијата на микашисти кај село Дреновци има големо присуство на амфиболско-биотитски шкрилци во кои се застапени леукократни жици од гранитоиди.

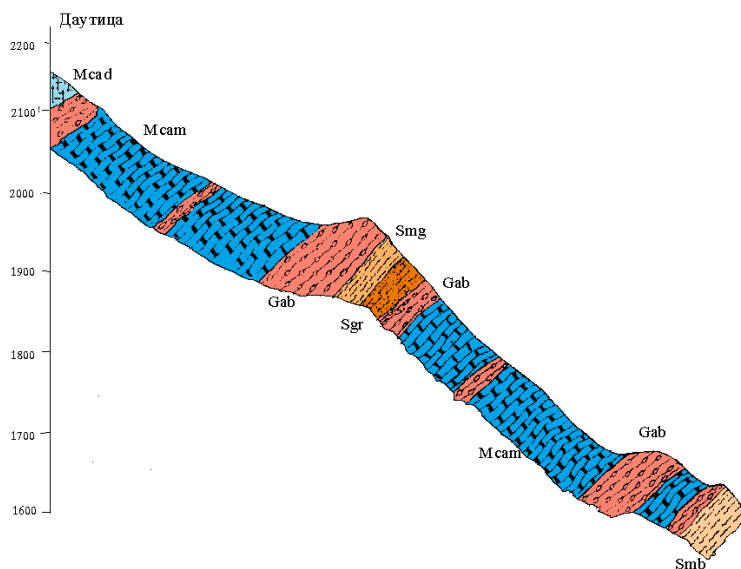
Дебелината на микашистната серија во северниот дел на Пелагонискиот масив е многу варијабилна и се движи од 50-100 м, кај село Извор, до над 500м на источните падини на Даутица.

Мешаната серија зафаќа цел комплекс од метаморфни карпи со различен петрографски состав и тоа: бобичести гнајсеви, фелдспатизирани хлоритошисти, циполини, талкшисти и мермери, кои преминуваат едни во други, како хоризонтално, така и вертикално. Меѓу нив доминираат гнајсевите кои претежно се албитски, а има и присуство на метариолити.

Оваа серија првпат е издвоена на источните падини на планината Даутица, каде преку серијата на микашисти лежат циполини и фелдспатизирани бобичести зелени шкрилци со прослојци од микашисти. Оваа серија е издвоена како мешана, поради бочното преминување на карпите едни во други (сл. 3).

Мешаната серија, по правецот на протегање, литолошки многу се менува. На планината Козјак доминираат бобичести гнајсеви кои се наречени "фласер" гнајсеви.

Источно од Прилеп, оваа серија е претставена со албитски бобичести гнајсеви кои преминуваат во фелдспатизирани циполини и микашисти.



Слика 3. Геолошки профил на мешаната серија на Даутица
Figure 3. Geological profile of the mixed series of Dautica

Mca d-калцитско-доломитски мермери; *Mcam*-циполини; *Smg*-гранатски микашисти; *Sgr*-графитични микашисти; *Gab*-албитски гнајсеви; *Smb*-гранатски и гранатско-графитични микашисти и кварцито-микашисти.

Албитските гнајсеви од мешаната серија се крупнозрнести, со бобичеста структура и побогати се со лискуни. Во структурен поглед, се разликуваат од серијата на гнајсеви по тоа што фелдспатските зрна, во нормален пресек, имаат кружни површини. Исто така, албитските гнајсеви содржат прослојки од циполини кои бочно и вертикално се сменуваат со бели сахароидни мермери. Количината на албитот е мошне варијабилна, па затоа некаде доминираат гнајсеви, а некаде албитизирани шкрилци.

Циполините кои се наоѓаат во состав на мешаната серија се изградени главно од калцит, со присуство на мусковит и кварц. Поради присуството на лискун, тие се шкрилести.

Мермерите од оваа серија се претежно калцитски со крупнозрнеста структура.

Во карбонатниот дел од мешаната серија, односно во мермерите и циполините, кај изворот на река Бабуна, присутни се слоеви и леќи од баритски шкрилци во кои се присутни минерали кои содржат олово, цинк и други метали. Баритските шкрилци се наречени кумритски карпи.

Дебелината на мешаната серија, во целина, е многу варијабилна и се движи од неколку метри до 700 м.

Серијата на мермери претставува најгорен дел на метаморфниот комплекс во северниот дел на Пелагонискиот масив.

Основна маса на оваа формација се калцитски и доломитски мермери кои честопати фазијално преминуваат едни во други. Земено во целина, калцитските мермери доминираат во долните делови на серијата, додека доломитските мермери преовладуваат во горните делови.

На терените каде е застапена мешаната серија, серијата на мермерите лежи конкордантно преку неа, со постепен премин, така што границата не е секаде јасно изразена. Ова е карактеристично за источните делови на планината Караџица, каде мешаната серија е вклопена во подината на серијата на мермери.

Мермерите главно се со бела и сива боја, но има и присуство на слоеви од темносиви до црни мермери. На некои терени, како на пример Даутица, забележано е присуство на розеникави мермери.

Во профилот на оваа серија, од западните делови на Даутица до западните делови на Караџица, може да се следи сукцесија на различни партии од мермери. Во долниот дел се застапени крупнокристалести калцитско-доломитски мермери со бела и сивобела боја, кои преминуваат во дебел слој од крупнокристалести калцитски мермери во чии средишни делови е вклопен пакет од темносиви до црни мермери.

Сивобелите и белите калцитски мермери во подината се плочести, а потоа преминуваат во банковити и масивни.

Лентата од црни мермери може да служи како хоризонт кој ги одделува долните и горните делови на белите калцитски мермери. Црните мермери се банковити, ретко плочести. Основната маса им е изградена од крупнокристалеста калцитска маса која содржи графитична материја. На подрачјето на село Дебреште овие мермери се експлоатираат како украсен камен.

На северните падини на планината Караџица се застапени бели и сивобели ситнозрнести доломитски мермери во кои локално се појавуваат зрна од кварц и лиски од мусковит.

Целиот терен изграден од серијата на мермери е зафатен со карстификација која е изразена особено во повисоките делови на планинските

масиви, каде се манифестира со карстни полиња, вртачи, провалии и други карстни облици.

Серијата на мермери е најзастапена на планината Козјак, на Плетвар и источно од Прилеп - Сивец. Мермерите на подрачјето на Сивец се експлоатираат како украсен камен. По состав се главно доломитски мермери со бела боја и зрнеста сахароидна структура. Во подлабоките делови главно се банковити и масивни, што е условено од контактниот метаморфизам на Прилепските гранитоиди. Во овие мермери често се среќаваат кристали од корунд и дијаспор, а во пукнатините се јавуваат флуорит, цоисит и парагонит.

На подрачјето на Плетвар доминираат калцитски мермери, претставени со ленти од бели, сивобели и сиви калцитски мермери, кои исто така се експлоатираат како украсен камен, но се со послаб квалитет од мермерите во Сивец.

Вкупната дебелина на серијата на мермери во северниот дел на Пелагонискиот масив изнесува над 3500 м.

Гранитоидната формација е поврзана со долниот дел од северниот дел на Пелагонискиот масив, каде е помалку застапена во споредба со јужниот дел. Најзастапени карпи се гранодиоритите, а помалку присутни се чисти гранити, диорити и жилни кисели карпи: пегматити, аплити и кварцни жили.

Границата помеѓу гнајсевите и гранитите тешко се одредува, затоа што тие постепено преминуваат едни во други. На терените каде што се откриени гранитите се гледа дека тие ги пробиваат гнајсевите по фолијацијата и честопати содржат енклави од гнајсеви. Во некои места се забележани шкрилести гранодиорити чија шкрилавост се совпаѓа со фолијацијата на гнајсевите.

Гранодиоритите од оваа формација се крупнозрнести со порфиرويدни зрна од розов и бел микроклин и албит. Изградени се од кварц, калиски фелдспати, плагиокласи и биотит. Како споредни минерали се јавуваат мусковит, епидот, циркон, титанит и магнетит.

Гранитите, како чисти, се издвоени на јужните падини на Даутица. Тие се среднозрнести, шкрилести карпи со катакластична структура. Изградени се од кварц, калиски фелдспати, плагиокласи, биотит и мусковит, а како споредни се јавуваат епидот, цоисит, титанит и гранат.

Диоритите се јавуваат само по долината на реката Бабуна, каде се втиснати помеѓу гнајсевите и микашистите. Се јавуваат со алотриоморфна и хипидиоморфна зрнеста структура, а изградени се од пироксени, биотит, сосиритизирани плагиокласи, микроклин и кварц.

Пегматитите, аплитите и кварцните жили се крајни кисели жилни диференцијати на гранитоидите. Пегматитите најмногу се јавуваат во јужните делови на планината Бабуна. Изградени се од микроклин, кварц, албит, мусковит и ретко епидот. Од калиските фелдспати, покрај бели, се јавуваат розеникави и зеленкасти вариетети.

Аплитите се претставени со бројни помали жили кои се конкордантни или напречни на шкрилавоста, додека кварцните жили се со многу мала дебелина и често содржат голема количина на фелдспати, поради што преминуваат во пегматитски жили.

Според присутната минерална асоцијација во високометаморфните формации во северниот дел на Пелагонискиот масив, издвоени се две фази на метаморфизам. Во првата фаза, пелитско-псамитските и карбонатните седименти, како и базичните интрузивни и изливни карпи, биле зафатени со интензивен регионален метаморфизам, како резултат на кој настанале гнајсеви, микашисти, амфиболити, циполини и мермери. Во втората фаза на метаморфизмот се јавува изразита алкална метасоматоза во веќе постојните метаморфни карпи. Оваа фаза особено е изразена во серијата на гнајсевите и микашистите.

Во северниот дел на Пелагонот, ограничена распространетост има и рифеј камбрискиот комплекс, наречен Самоковска серија која е претставена со формација на графитични и кварц-мусковитски шкрилци,. Графитичните и кварц-мусковитските шкрилци преминуваат едни во други и не можат да се издвојат како посебни единици. Во јужниот дел на серијата тие трансгресивно лежат над прекамбриските мермери. Во целина, во оваа серија доминираат графитичните шкрилци кои од присуството на графитична материја се скоро црно обоени. Изградени се од кварц, графит, мусковит, серицит и поретко биотит, албит, титанит и калцит. На некои места се доста фелдспатизирани и добиваат карактер на микашисти или гнајсеви.

Кварц-мусковитските шкрилци се разликуваат од графитичните шкрилци по тоа што не содржат графитична материја. Тие се помалку застапени и најчесто се вклопени во графитичните шкрилци во облик на тенки ленти и леќи.

Дебелината на Самоковската серија изнесува околу 500 м.

5.2. Јужен дел на Пелагонискиот масив

Метаморфниот комплекс во јужниот дел на Пелагонискиот масив настанал во услови на регионален метаморфизам на пелитско-псамитски седименти, базични и кисели вулкански и интрузивни карпи и карбонатни карпи. Претставен е со три серии на карпи: гнајсно-микашистна серија, мешана серија и серија на мермери. Во овој дел се позастапени и гранитоидите.

1. Гнајс-микашистната серија го претставува долното стратиграфско ниво на метаморфниот комплекс и е изградена од различни карпи. Различното влијание на притисокот и температурата на различна длабочина, поврзано со регионалниот метаморфизам и влијанието на гранитоидниот магматизам, условиле појава на зонарна градба на гнајсно-микашистната серија и издвојување на две зони: долна и горна.

Долната зона претставува хомогенизирана маса изградена претежно од мусковит-биотитски гнајсеви и на места ленти од амфиболити. Гнајсевите се сиви до сивобели по боја со средно и ситнозрнеста гранобластична структура и масивна текстура. Во минералниот состав учествуваат кварц, калиски фелдспати, плагиокласи, мусковит, биотит, а како споредни минерали се јавуваат епидот, цоисит и титанит. Калиските фелдспати се претставени со микроклин, а плагиокласите со албит.

Амфиболитите се ретки и се јавуваат како тенки ленти и мали леќи изградени од хорнбленда, албит, епидот и биотит.

Горната зона е хетерогена маса во која наизменично се сменуваат различни типови на гнајсеви, микашисти, кварцити и амфиболити.

а) Гнајсевите се најраспространети карпи и се застапени со повеќе вариетети и тоа: мусковитско-биотитски, порфиробластични, лентовидни мигматитски и фенгитски гнајсеви.

Мусковитско-биотитските гнајсеви се јавуваат на различни нивоа и не се зафатени со влијанието на гранитоидите. По боја се сиви до сивобели со

среднозрнеста гранобластична и лепидобластична структура и лентовидна текстура. Изградени се од кварц, калиски фелдспат, мусковит, биотит, епидот и ретко гранат и титанит.

Порфиробластичните гнајсеви просторно се поврзани со порфиرويدните гранитоиди, околу кои се наоѓаат како обвивка, а генетски се поврзани со метасоматските процеси од првата гранитоидна фаза на Пелагониските гранитоиди. Различниот степен на влијание на метасоматизмот условило варијабилен минерален состав во овие гнајсеви, но во целина, тие претставуваат средно до крупнозрнести карпи со порфиробластична структура, изградени од кварц, калиски фелдспати (микроклин), плагиокласи (албит, алтерисан олигоклас и андензин), мусковит, биотит и поретко епидот, цоисит и гранат.

Лентовидните мигматитски гнајсеви генетски се поврзани со втиснувањето на гранитоидите во втората фаза. Тие се средно и крупнозрнести карпи со гранобластична структура и лентовидна текстура. Нивниот минерален состав зависи од оддалеченоста од гранитоидите, при што во близина на гранитоидите по состав се блиски на гранодиоритите, а со оддалечување преминуваат во дволискунски или мусковитски гнајсеви.

Фенгитските гнајсеви се создадени во специфични P-t услови, а поврзани се со процесите на гранодиоритскиот магматизам. Слични се со мусковитско-биотитските гнајсеви, само што овде преовладува фенгитот. Покрај фенгит, застапени се кварц, микроклин, албит, мусковит и биотит.

б) Микашистите се мошне распространети карпи, особено на Селечка планина. Дел од нив, под влијание на гранодиоритите, се изменети и претворени во мигматити. Се појавуваат во два хоризонта со дебелина од неколку стотини метри до еден километар, а ги има и во облик на ленти и леќи во гнајсевите. Главни минерали во нивниот минерален состав се кварц, мусковит, гранат-алмандин, дистен и стауролит. Локално се јавуваат и графит, биотит, епидот, албит, хлорит и други. Според распространетоста на дистенот и стауролитот, издвоени се:

-дистен-стауролит-алмандински микашисти, кои се развиени во внатрешните делови на Пелагонискиот масив, а изградени се од кварц, мусковит, алмандин, дистен и стауролит, а помалку се јавуваат епидот, биотит, албит и други;

-стауролит-алмандински микашисти, кои се јавуваат на Селечка Планина и Кајмакчалан. Тие се дел од дистен-стауролит-алмандинските микашисти кои поради понискиот степен на метаморфизам преминале во ситнолискуности микашисти составени од кварц, мусковит, стауролит и локално епидот и графит. Во некои делови графитот е главен минерал поради што микашистите добиваат црна боја и се издвоени како графитични микашисти.

в) Кварцитите најчесто се развиваат во графитичните микашисти, а поретко и во гнајсевите. Настанати се со метаморфизам на песочници. Изградени се од кварц, мусковит, гранат, помалку епидот и албит. Во близина на амфиболитските карпи се јавуваат сиви и сивобели кварцити кои претставуваат метаморфозирани силикатни продукти на иницијалниот базичен магматизам. Тие се изградени од ситнозрнест кварц, мусковит, епидот, гранат и други минерали.

г) Амфиболитските карпи се производ на прекамбрискиот базичен магматизам, кои со метаморфните и тектонските процеси биле трансформирани. Зависно од степенот на трансформација на минералниот состав, во оваа група карпи се издвоени: амфиболити, метагаброви и метадијабази (метабазити).

Амфиболитите се најраспространети и се јавуваат во облик на издолжени леќи и ленти. Тие претставуваат темнозелени, шкрилести до масивни карпи, изградени од хорнбленда и албит. Во зависност од застапеноста на други минерали, се издвојуваат повеќе вариетети: епидотски, епидот-пироксен-гранатски, епидот-биотитски амфиболити и амфибол-епидотски шкрилци.

Метагабровите се јавуваат како реликти во амфиболитските маси кај селото Бонче и на Селечка Планина. Тие претставуваат темнозелени ситнозрнести карпи со габроидна структура. Изградени се од изменети плагиокласи и албит како главни минерали и секундарни хорнбленда, биотит и епидот.

Метадијабазите (метабазитите), исто така, се јавуваат како реликти во амфиболитските маси. Од метагабровите се разликуваат по тоа што имаат офитска структура.

2. Мешаната серија е широко застапена со дебела маса наслаги во северниот дел на Пелагонискиот масив, додека во јужниот дел нејзината

дебелина е редуцирана или пак серијата воопшто не се појавува. Се појавува како реликт во подината на мермерите. На некои места овие реликти се откриени и се претставени со ленти од циполини, микашисти и бобичести гнајсеви. Најизразит реликт е откриен на подрачјето на Ниџе.

3. Серијата на мермери е најдобро изразена во источниот маргинален дел на јужниот дел на Пелагонискиот масив. Врз неа трансгресивно лежат рифеј-камбриски нискометаморфни карпи и горно-кредни седименти кои се карактеристични за Вардарската зона. На потегот Ниџе – Лабница – Мелница - Вепрчани - Беловодица, серијата на мермери е претставена со два хоризонта. Во долниот дел доминираат доломити и доломитско-калцитски мермери, а горниот дел е претставен со калцитски мермери со сивобела и бела боја. Во средишните делови на овие хоризонти е интеркалиран секундарен хоризонт од сиви и темносиви доломитски мермери со дебелина до 5 м.

Гранитоидите, во јужниот дел на Пелагонискиот масив, се јавуваат во голем број мали и големи тела, чија бројност се зголемува од периферните кон централните делови на Пелагонискиот масив, каде што тој е најдлабоко еродиран. Гранитоидните тела најчесто се со неправилна форма и ги сечат околните метаморфни карпи. Во подлабоките делови, гранитоидните тела преминуваат во гранитоиден масив како единствен плутон.

Гранитоидите се претставени главно со гранодиорити и кварцдиорити, а помалку со кварцмонзонити и гранити.

Според начинот на појавување, местоположбата и контактот со околните метаморфни карпи, гранитоидите претставуваат стари магматити тесно поврзани со прекамбриските метаморфни, магматски и тектонски процеси, односно поврзани се со гренилската тектогенеза. Изотопската старост, одредена со калиум-аргон методот, изнесува околу 800 милиони години, Делеон (1966).

Поради специфичните услови на генезата на гранодиоритската магма и нејзиното втиснување во околните метаморфни карпи, не може да се издвојат сите фаза во магматскиот процес. Но, според минералошкиот состав, структурните и текстурните карактеристики, меѓусебните односи и местоположбата на гранодиоритите во метаморфната обвивка, издвоени се три сигурни фази и тоа прва и втора гранитоидна фаза и фаза на образување на дишистни жилни карпи.

-Прва гранитоидна фаза: Според распространетоста и бројот на различните вариетети, оваа фаза е помалку застапена во однос на втората гранитоидна фаза. Во оваа фаза се значајни појавите на метасоматски промени во метаморфитите, претставени со биотитски ореоли околу гранитоидните тела и широки фронтови на порфиروبластични гнајсеви. Главни продукти на оваа фаза се порфиرويدните гранитоиди кои ретко преминуваат во кварцмонзонити и гранити.

Гранитоидните тела од оваа фаза формираат помали тела со издолжена форма кои заземаат повисоко литостратиграфско ниво во споредба со гранитоидите од втората фаза. Позначајни појави на овие гранитоиди се откриени на потегот Бабуна - Мукос и Селечка Планина - Кајмакчалан.

Порфиرويدните гранодиорити се сиви до темносиви, со порфиرويدна структура и масивна до шкрилеста текстура и во нив се присутни фенокристали од калиски фелдспати. Изградени се од плагиокласи, калиски фелдспати, кварц и биотит, а како споредни минерали се јавуваат серицит, цоисит, хлорит и други.

Гранитите ретко се јавуваат како производи на првата гранитоидна фаза. Најчесто се јавуваат како периферни диференцијати на гранодиоритите.

-Втора гранитоидна фаза: Магмите од оваа фаза се втиснувале подалеку од огништето во кое се формирале, во услови на значително оладување на метаморфната обвивка. Поради тоа, метасоматските појави во метаморфниот комплекс се помалку застапени и се претставени со помали ореоли од биотит околу крупните гранитоидни тела и со формирање на хомогени мигматити. Карактеристично за оваа фаза е тоа што некои од поголемите гранитоидни тела ги деформирале наборните структури.

Продуктите на втората гранитоидна фаза се концентрирани главно по должината на централната оска на Пелагонискиот масив (Бабуна – Прилеп - Селечка Планина - Кајмакчалан), а поретко се јавуваат и по периферните делови. Покрупните маси имаат закономерен начин на појавување. Како резултат на магматската диференцијација, централните и подлабоките делови на гранитоидните маси се побазични, а периферните и поплитки делови се покисели. Редоследот на појавување на одделни типови од центарот кон периферијата е: кварцдиорит-гранодиорит-кварцмонзонит-гранит.

Кварцдиоритите се застапени главно како тоналити, а изградени се од алтерисани плагиокласи, кварц, биотит и калиски фелдспати. Споредни минерали се: титанит, рутил, апатит, циркон, епидот, албит, серицит.

Гранодиоритите се најраспространети типови од втората гранитоидна фаза. По боја се сиви до темносиви карпи, со крупно до среднозрнеста структура. Изградени се од плагиокласи, калиски фелдспати, кварц, биотит, а помалку мусковит и хлорит.

Кварцмонзонитите и гранитите се застапени поретко и тоа главно во периферните делови на гранитоидните маси.

-Диашистни жилни карпи: Овие карпи настануваат во завршните процеси во циклусот на гранитоидниот магматизам. Во оваа фаза настанале аплити, пегматити и кварцпегматити.

Аплитите се ретки и се со мали димензии. Тоа се ситнозрнести леукократни карпи, изградени од албит, микроклин, олигоклас и кварц и ретко биотит, мусковит и епидот.

Пегматитите се најраспространети типови од оваа фаза. Се појавуваат во облик на силови, дајкови и неправилни тела кај кои е развиена метасоматоза и изразена е зонална градба. Зоналноста се манифестира со кварцен состав на јадрото на телата, обвиткано со зона од крупнокристалест фелдспат. Во правец кон контактот со околните гнајсеви, пегматитот преминува во гранитоиден пегматит богат со крупнокристалест мусковит.

Кварцпегматитите се најкисели жилни претставници на гранитоидниот магматизам. Се јавуваат главно како силови, дајкови и неправилни тела сместени во гнајсевите и микашистите, ретко во гранитоидите. Најчесто според минералниот состав, се кварцни, поретко е развиена мусковитска зона. Позначајни појави на кварцни и кварцпегматитски жици има на подрачјето на планината Бабуна, Селечка Планина и Кајмакчалан.

6. ТЕКТОНСКА ГРАДБА НА ПЕЛАГОНИСКИОТ МАСИВ

Главните тектонски карактеристики на Пелагониската кристалеста маса се формирани со сингенетски процеси на регионален метаморфизам и набирање со механизам на пластичен ток за истовремено внедрвање на интрузиви од првата гранитоидна фаза. Со овие процеси биле образувани крупни брахиформни антиклинални и синклинални набори и доми. Втората и главна гранитоидна фаза имала повеќе деструктивен карактер и предизвикала деформација или напдно уништување (со процеси на гранитизација и метасоматоза) на повеќето од постојните набори, а со неа биле формирани нови брахи набори.

Така формираната тектонска градба на кристалестата маса на Пелагонот, со гренвилската ектогенеза, во подоцнежните геолошки периоди била изложена главно на дисјунктивна тектоника, особено на доцните алпски тектонски движења, кога дошло до интензивна сегментација на мермерната серија.

Зафатен со прекамбриските полифазни тектонско-магматски процеси, просторот на мермерните маси Сивец, Чаве – Скрка - Плетвар во целина бил претворен во превртена синклинална структура со генерално протегање СЗ -ЈИ и инверзија кон ЈЗ, со раседен контакт кон подинската гнајсно-микашистна серија и развиени интрасериски реверсни раседи со тренд на навлекување кон ЈЗ. Со неотектонски трансверзални раседни структури, оваа зона на мермери била диференцирана на четири помали мермерни маси (Сивец, Чаве, Скрка и Плетвар), додека пак минералната маса Козјак претставува релативно добро зачувана гренвилска брахисинклинална структура наклонета кон исток.

Современите сознанија за геолошката градба на Пелагонискиот масив укажуваат дека тој се дели на два дела: северен и јужен, кои главно се изградени од метаморфни комплекси.

Северниот дел е асиметрична структура во која источното крило е значително издигнато и во него се застапени формација на гнајсеви и формација на микашисти, додека во западното крило се застапени т.н. мешана серија и серија на мермери.

Јужниот дел е исто така асиметричен, но овде е издигнато западното крило во кое се јавуваат многу пликативни структури ориентирани во

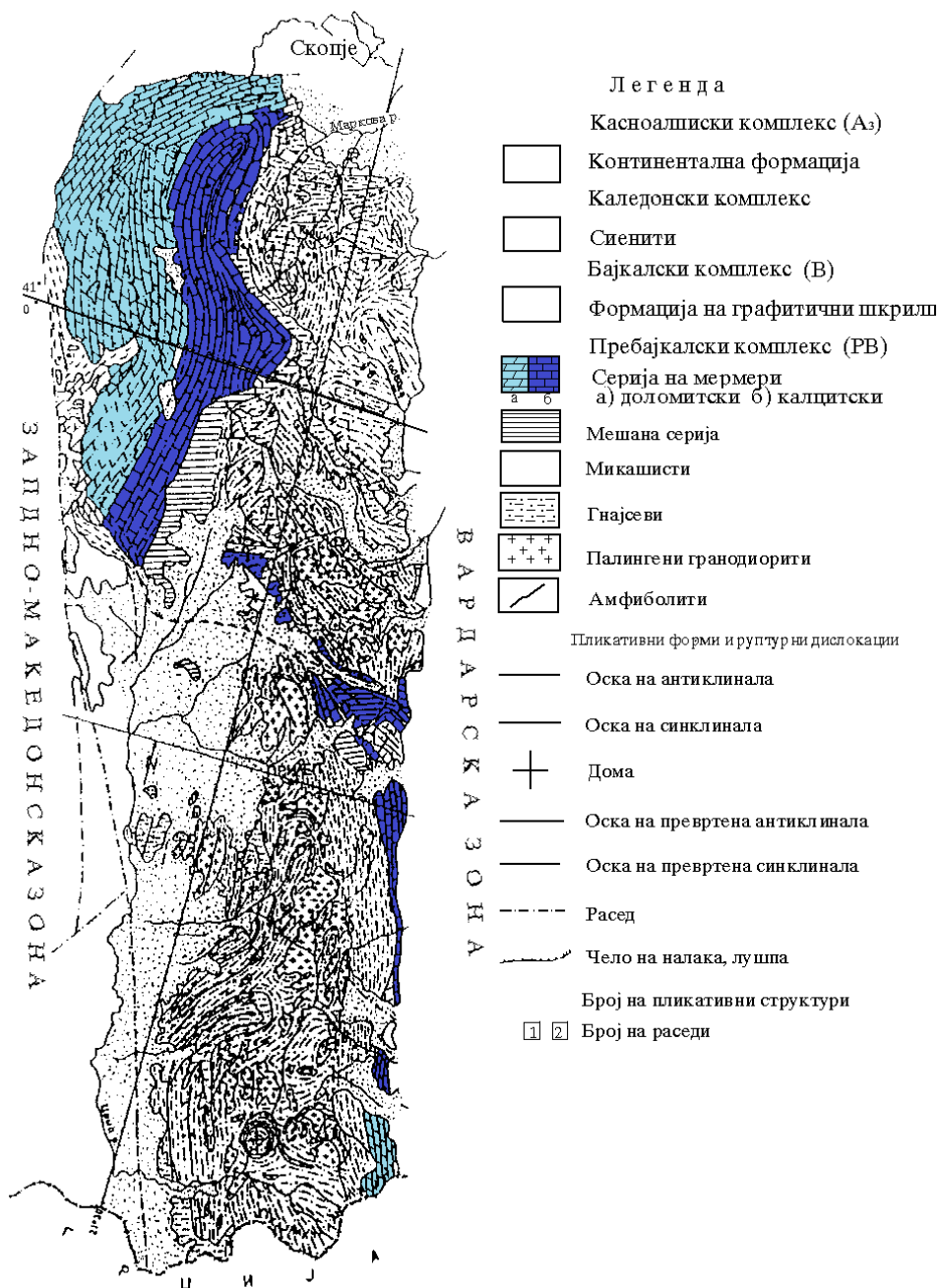
субмеридијален правец и кои во северните делови повиваат кон североисток. Средишните делови се изградени главно од гранитоиди и во целина, овој дел на Пелагонискиот масив е поиздигнат, односно подлабоко еродиран. Преминот од гнајсевите кон мермерите по источниот раб на Пелагонот е постепен, со отсуство на мешаната серија и микашистите.

Овие два дела на Пелагонискиот масив, кои биле внатрешно набрани и дислоцирани за време на гренвилската тектогенеза, биле доведени во колизија помеѓу себе, така што северниот дел е навлечен на јужниот, за што сведочат превртените пликативни структури и систем од навлаки и реверсни раседи на потегот Плетвар - Дисан - Дервен - Дреново.

За колизијата помеѓу северниот и јужниот дел на Пелагонот сведочи и сигмоидната форма на серијата на мермерите (сл. 4), кои од басенот на реката Треска во северниот дел на Пелагонот, од Македонски Брод преку Дебреште свртуваат кон исток и пак се појавуваат кај Сивец - Козјак и Плетвар.

Во целина, Пелагонискиот масив претставува централен масив издолжен во правец север - југ, тектонски ограничен со длабински раседи од Вардарската зона и Западно - Македонската зона.

Сигмоидната форма на прекамбриските мермери во Пелагонот зборува за тектонската активност со која бил зафатен Пелагонот. Од шемата јасно се гледа дека Пелагонот бил зафатен со тектонската активност која, меѓу другото, допринела за формирањето на сигмоидната форма на прекамбриските мермери, односно релативно поместување на северниот дел во однос на јужниот дел и формирање на два генерални блока во самиот Пелагон, северен и јужен.



Слика 4. Шематски приказ на сигмуидната форма на серијата на мермери во Пелагонискиот хорст-антиклинориум $R=1:750000$ (на кој само со боја се означени доломитски и калцитски мермери од серијата на мермери)

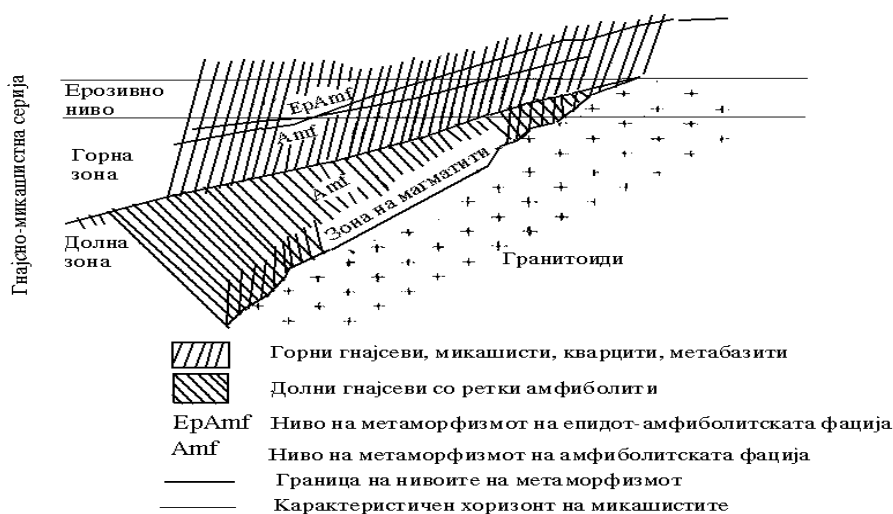
Figure 4. Schematic representation of sigmoidal form of a series of marbles in the Horst-Pelagonian anticlinorium (in which just with color are marked dolomitic and calcitic marbles of series of marbles)

7. МЕТАМОРФИЗАМ ВО ПЕЛАГОНИСКИОТ МАСИВ

Литофацијалните карактеристики на метаморфниот комплекс од кој е изграден Пелагонискиот масив, неговиот состав, кристализација, присуство на магматизам-гранитизација и односот на гранитоидните маси со метаморфните карпи, покажуваат дека тектонските, магматските и метаморфните процеси со кои настанала кристалестата маса на Пелагонот, претставуваат еден поврзан циклус. Овие процеси се одвивале во повеќе стадиуми.

Примарната пелитско-псамитска и карбонатна маса, која во долниот дел била збогатена со магматски формации од иницијалниот магматизам, кон крајот на гренвилскиот седиментационен циклус била спуштена во подлабоките делови на земјината кора, каде под влијание на високи притисоци била набрана. Под влијание на високи притисоци и температури, целиот комплекс бил регионално метаморфозизиран. Генерално земено, во подлабоките делови масата била метаморфозизирана во услови на амфиболитска фација, а во повисоките нивоа во услови на епидот-амфиболитска фација.

Во услови на амфиболитска фација, како резултат на влијанието на температурата и хидростатичкиот притисок, подлабоките делови се хомогенизирани и настанала долната зона на гнајсеви, додека во повисоките делови се формирала хетерогена зона во која се сменуваат гнајсеви, микашисти, кварцити и амфиболитски карпи (сл. 5).



Слика 5. Шематски приказ на односот на карпите на метаморфизмот и границите на зоните на серијата. (О. Иваноски)

Figure 5. Schematic representation of the relation between the rocks of metamorphism and borders of the serial zones. (O.Ivanoski)

Во услови на епидот-амфиболитска фација, метаморфизмот се одвивал во горните делови на горната зона и во мешаната серија и серијата на мермери, односно метаморфизмот се одвивал подалеку од главното влијание на температурата (по должината на оската на Пелагонот).

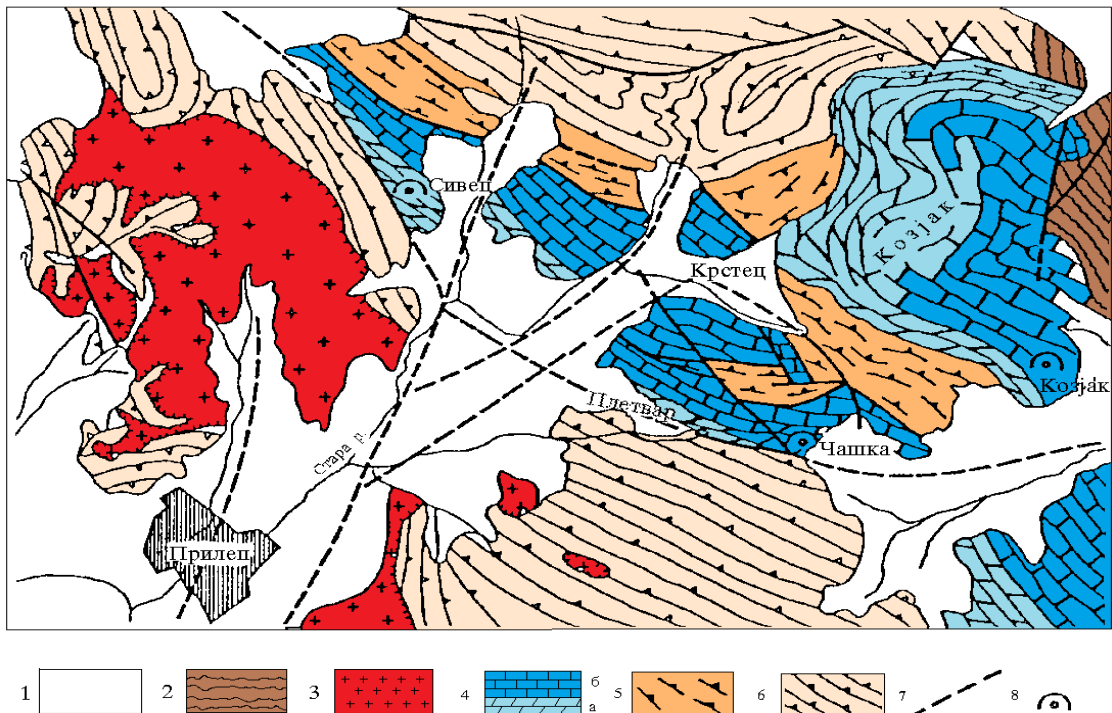
Вториот стадиум од регионалниот метаморфизам претставува приспособување на комплексот на новите услови во текот на ладењето и консолидацијата. Во вакви изменети услови, при пониски притисоци и температури, дошло до измена кај калиските фелдспати, плагиокласите станале покисели, а во амфиболитите се формирал хлорит.

Во подоцните фази од консолидацијата на метаморфизмот, дошло до формирање на палингени гранитоидни магми, кои примарно биле богати со калиска компонента и вршеле метасоматски промени на околните метаморфни карпи. На тој начин настанале порфиробластични гнајсеви. Подоцна, во изладениот и тектонски стабилизирани метаморфен комплекс дошло до втиснување на главните гранитоидни магми.

Третиот стадиум од метаморфизмот е претставен со гранитоидниот магматизам со кој е извршено дефинитивно оформување на метаморфните карпи. Овие процеси се со послаб интензитет и се манифестираат со појава на неокалски фелдспати, неоалбит, биотит и фенгит. Во подрачјата зафатени со поголемо влијание на метасоматските процеси се образувани мигматитски фронтови и биотитски ореоли околу гранитоидните тела.

8. МЕРМЕРЕН КОМПЛЕКС “СИВЕЦ”

Експлоатацијата на мермер на територијата на Македонија има долга традиција. Мермерот од Македонија се користел како градежен и украсен камен уште пред нашата ера, на што укажуваат археолошките наоди од тоа време. Ова е сосема разбирливо, имајќи ги предвид сите квалитети кои ги поседува мермерот. Првото производство во индустриски обем датира од четириесетите години од минатиот век на подрачјето околу Прилеп (сл. 6) и Гостивар.



Слика 6. Геолошки план на областа со мермерна маса Сивец-Плетвар-Козјак
R=1:18000

Figure 6. Geological plan of the area with marble mass Sivec-Pletvar-Kozjak
R = 1:18000

1. Неогени и квартерни седименти; 2. Рифеј-камбриски метаморфен комплекс (филитоиди, метадијабази, амфиболски шкрилци и мермери); 3. Гранитоиди; 4. Мермерни серии (а- доломитски и калцитско-доломитски мермери, б-калцитски мермери); 5. Мешана серија (албитски гнајсеви, микашисти, мермери и циполини); 6. Гнајс-микашистна серија (гнајсеви, микашисти, кварцити и амфиболити); 7. расед 8. површинско ископување на мермери.

Мермерот е широко застапен во Пелагонот и Западно - Македонската зона, меѓутоа иако во помал обем, но сепак го има и во Источно - Македонската зона.

Експлоатацијата на мермерната маса досега е концентрирана во околината на Прилеп. Разработени се повеќе наоѓалишта кои се носители на

мермер, како што се: Сивец, Чашка, Козјак и други помали наоѓалишта кои се отворени пред некое време. Но, главен носител на бел мермер во нашата држава е наоѓалиштето Сивец кај Прилеп.

Потенцијалните можности на поедини наоѓалишта, традицијата на примена на каменот во историјата и економската моќ на современата цивилизација се основни показатели според кои може да се оцени дека побарувачката и производството на мермер ќе се зголемува и во наредниот временски период.

Во последните десет години евидентно е зголемувањето на производството на најскапиот материјал, односно на најбараниот квалитет на домашниот и светскиот пазар, а тоа е белиот мермер од “Сивец”. Кај другите квалитети се забележува одредена стагнација.

Тоа бара стручно и научно истражување, пред сè на: геолошко-тектонските услови на локалитетот Сивец кои годиктираат откопниот метод во целост, а исто така и применетата технологија за издвојување на банковите од карпестата маса со посебно внимание на коефициентот на искористување на корисната супстанца и др.

Најголемо производство на мермер во Р.Македонија се остварува од површинскиот коп “Сивец” каде се вадат комерцијални блокови од бел доломитски мермер како и блокови со поткомерцијални големини и вредности.

Под името “Рудник Сивец” (сл. 7) се подразбираат повеќе површински копови каде се врши редовна експлоатација и каде подготовката на коповите, технологијата на добивање на комерцијални блокови и транспортот се делумо независни.

Со перспективниот развој на рудничкиот комплекс т.е. на работилиштата каде се произведува бел доломитски и доломитско-калцитски мермер, овој комплекс во наредниот временски период ќе прерасне во единствен површински коп кој ќе ја опфати целата рудна зона, со што сегашното производство ќе се мултиплицира.

Перспективата на “Сивец” не е само во неговите потенцијали како наоѓалиште на украсен архитектонско-градежен камен, туку и како високоакумулативен рударски објект чиј производ е високо ценет на светскиот пазар.



Слика 7. Панорама на рудникот “СИВЕЦ”
Figure 7. Panorama of the mine "SIVEC"

Фото: Илијевски, 2010

Мермерите се продаваат на светскиот пазар како комерцијални блокови и мермерни плочи за внатрешна и надворешна декорација, познати како “Сивец-А1, А2, Ра, Рб, СД”. Белината и повеќето од корисните технички и механички карактеристики на мермерите биле познати уште од античко време, кога биле направени првите споменици и градби од мермер. Многу статуи, бисти, надгробни плочи и културни монументи направени од овој мермер, се сочувани и пронајдени во античките локалитети Стиберија, Хераклеја близу Битола, Стоби, Марков град и други археолошки наоѓалишта.

Ископувањето на овие мермери, со мали прекини, се одвива неколку векови, но масовната експлоатација започнала пред околу шест децении. Високиот квалитет на овие мермери како архитектонски и градежен камен е причина за нивната зголемена побарувачка на светскиот пазар, што води до модернизација и зголемена продуктивност на рудникот. Денес, овој површински коп произведува повеќе од 20000 м³ мермер годишно, со можност за поголемо откопување на блокови со различни димензии, зависно од потребите на купувачите. Најголеми купувачи на белиот мермер, било во блокови, било во плочи, се Италија, Германија, Јапонија, Кина, Грција, Чешка, Шпанија, и др.

8.1. Географско-комуникациска положба

Наоѓалиштето “Сивец” припаѓа на серијата мермери која претставува најгорен дел на метаморфниот комплекс на Пелагонискиот масив. Најмногу е изразена во источниот маргинален дел од Пелагонот. Подрачјето на кое се простира наоѓалиштето за бел мермер “Сивец” припаѓа на масивот југозападно од планината Бабуна а е во пресек со планината Козјак со правец на протегање СЗ - ЈИ со должина од 3 км, и ширина од 2 км.

Од градот Прилеп наоѓалиштето е оддалечено 10 километри асфалтен пат кој е прооден во текот на целата година.

Во негова непосредна близина се наоѓа и Прилепското вештачко езеро, како и селата Стар Присад и Небрегово.

Комуникациските врски на рудникот во текот на целата година се многу добри, а во последните неколку години рудникот е оспособен и со интернет врска.

8.2. Историјат на досегашни истражувања

Сахароидните доломитски мермери во локалитетот “Сивец” биле користени за изработка на уметнички дела уште во Античко време, почнувајќи од првиот, па до петтиот и шестиот век од нашата ера. За тоа сведочат многубројните скулптури, бисти и столбови пронајдени во античките локалитети: Стиберија, Хераклеја, Стоби и други.

Први геолошки информации за мермерите како составен дел на Пелагонискиот масив потекнуваат од Космат (1924) кој прв го издвоил Пелагонот како самостоен масив.

Подетални информации за мермерите се дадени од Арсовски (1959-1961), а пред сè од авторите на толкувачот на ОГК 1:100 000, лист Прилеп (Ракичевиќ и други) во 1965 година кои во мермерната серија издвојуваат повеќе хоризонти со различен состав.

Прилепските мермери се опфатени во рамките на истражувањата на магматските и метаморфните карпи од пошироката околина на Прилеп, извршени од страна на Стојанов во 1974 год.

По локалните истражувања во педесеттите години од минатиот век се отворени и првите површински копови на локалитетот “Сивец” за експлоатација на мермер.

За потребното проширување на експлоатацијата се вршени повеќекратни геолошки, мал дел геофизички и рударски истражувачки работи, но дури во 1969 година мермерната маса од локалитетот “Сивец” е систематски и комплетно истражувана од Индустропројект - Загреб (1968).

Мошне детални структурни истражувања на сивечките мермери се вршени во периодот 1986-1988 и 1990 година од страна на Думурџанов и Петров и Стојанов. Во 1995 година од страна на Думурџанов и Петров при Рударско - геолошкиот факултет од Штип, е извршено уште едно испитување на геолошко - тектонската градба на мермерните маси на подрачјето на Козјак, Плетвар, Сивец, Небрегово. Во 1998 година од страна на ГП “Маврово” е извршено уште едно длабинско истражно дупчење, каде беа издупчени сса 1000 м со максимална длабина на дупчењата до 110 м и тоа во сивечката мермерна маса, при што беа добиени поволни показатели за протегањето на мермерната маса, како и за колоритот на мермерот.

Најголемите истражувања на мермениот комплекс од Пелагонот, пред сè на белите мермери од рудникот “Сивец”, а во помала мера на рудниците за сивобел мермер “Чашка” и “Козјак”, се направени од страна на високостручните кадри од Мермерниот Комбинат и од аспект на геологијата и од аспект на рударството, како и техниката која се користи при експлоатацијата и методите на откопување, каде на овие простори структурно-тектонските карактеристики се диктатори на моделот на откопување.

За што поголеми усовршувања за решавање на проблемите, било од структурно-тектонски, било од рударско-истражен карактер, неколку екипи од високостручни кадри од 1989 до 1994 година престојувале во Италија, пред сè во рудниците Карара, со цел да ги согледаат структурно-тектонските карактеристики на мермерниот комплекс Карара и експлоатацијата на мермерите која е тесно поврзана со структурно-тектонските елементи кои се присутни на ове простори, а со што е поврзана и техниката која се користи за сечење на мермерната маса, а исто така и методите на откопување, бидејќи на тие простори, во зависност од тектонските процеси кои се застапени на тој простор, се врши висинско (етажно) откопување и јамска експлоатација.

Сите тие сознанија кои биле стекнати, постепено се применети во мермерниот комплекс Козјак, Чашка и пред сè во наоѓалиштето “Сивец”, каде што и денес се вршат геолошки истражувања и рударски истражни работи.

Наоѓалиштето “Сивец” е еден од најголемите рудници во Р. Македонија каде се експлоатира висококвалитетен бел мермер и каде се користи најсовремена технологија за сечење на мермерните маси, каде што покрај висинскиот (етажен) метод, во одредени делови се примени и длабинскиот откопен метод, но како резултат на високо изразената тектоника и нискиот коефициент на искористување на минералната маса, длабинскиот откопен метод не ги дал очекуваните резултати.

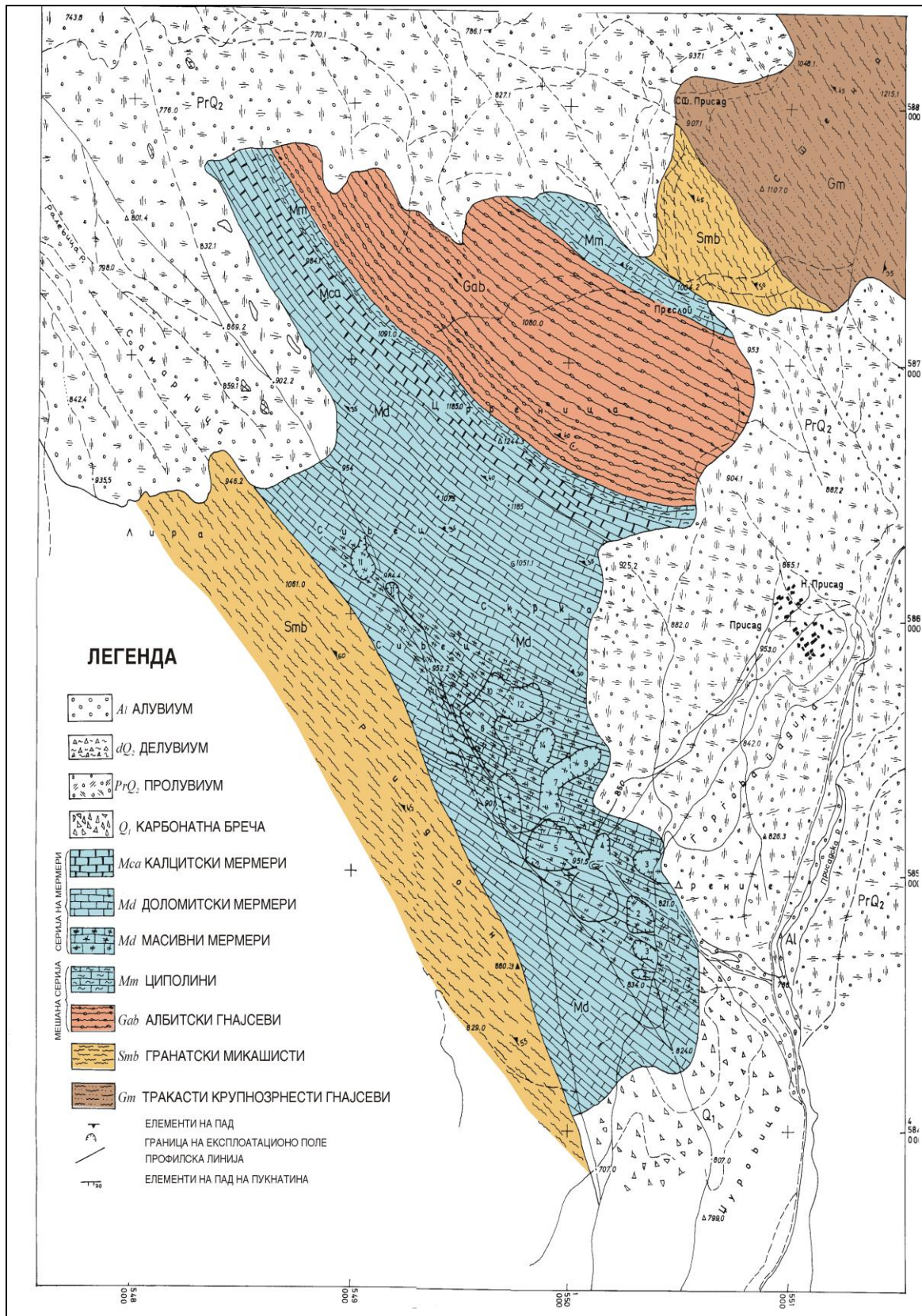
8.3. Литолошки и стратиграфски карактеристики на дел од наоѓалиштето “Сивец”

Мермерите од наоѓалиштето “Сивец” припаѓаат на мермерната серија на Пелагонискиот масив. Оваа мермерна маса е сместена меѓу Прилепската антиклинала на југозапад и интензивно набраниот планински масив Мукос на североисток, а тоне кон северозапад под плиоценските наслаги на периферните делови на Пелагониската котлина, за кон југоисток да се појавува на локалитетот Чаве и Козјачката синклинала. Литостратиграфските и тектонските особини на сивечката мермерна маса укажуваат на полифазни процеси при седиментационата акумулација, регионален метаморфизам, набирање и хомогенизација со прекамбриска старост и со процеси на неотектонски деформации.

8.4. Прекамбриски тектонски процеси

Основните структурни карактеристики на метаморфната маса на Пелагонот се резултат на сингенетски процеси на висок регионален метаморфизам и набирање со механизам на пластичен ток со истовремено внедрвање на гранитоидите од првата гранитоидна фаза, кога се образувани и крупните наборни структури.

Значајна улога одиграла и втората гранитоидна фаза која се манифестира како главна магматска активност, чии продукти покрај метасоматските промени и хомогенизација во метаморфните карпи, во одделни делови на Пелагонот извршиле пренабирање и формирање на нови крупни набори и деформирање т.е. извршена е деструкција на постарите наборни структури (Сл. 8).

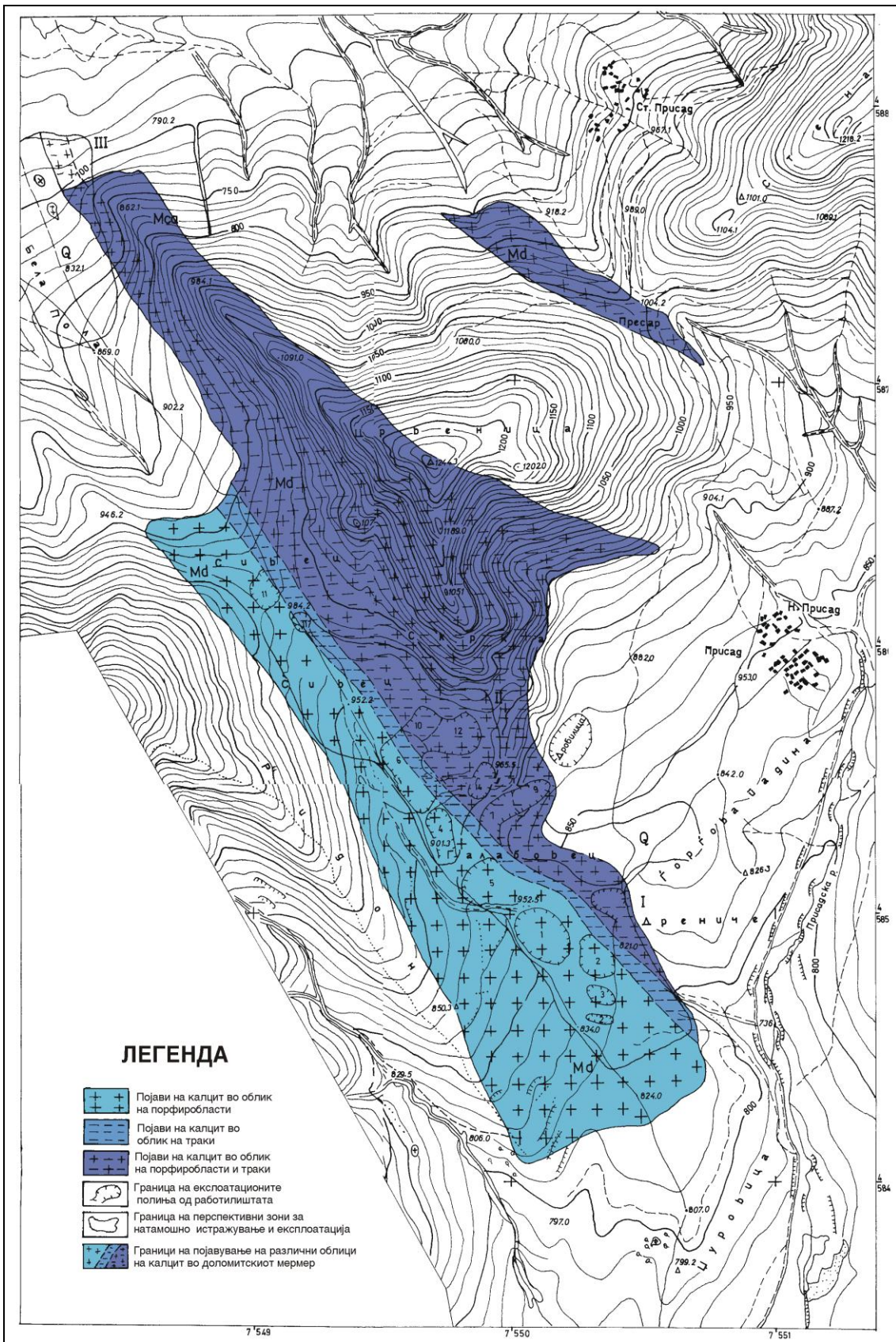


Слика 8. Геолошка карта на пошироката околина на "Сивец" $R=1:20000$ (О. Иваноски)
 Figure 8. Geological map of the environment of "Sivec" $R=1:20000$ (O. Ivanoski)

Сивечката антиклинала е една линиски издолжена структура која од правец на север и североисток е доведена во контакт, по раседна линија, со Дервенската (Мукоската) антиклинала и Козјачката синклинала.

Во градбата на Сивечката синклинала земаат учество карпите од мешаната и мермерната серија. На теренот Црвеница, Сивечката синклинала е претставена со својот центриклинален дел. На западната падина од локалитетот Црвеница се гледа како слоевите на мермери го оформуваат центриклиналното затворање на оваа структура. Така, ако слоевите од мермери и бобичести гнајсеви кај котата 1242 паѓаат кон С-СИ под агол од 40° - 50° , тие во западната падина брзо го менуваат правецот на своето протегање кон ЈЗ, прават коленасто повивање и паѓаат многу стрмно. Ваквата нивна положба сведочи дека шарнирот на овој набор овде силно се издига. Во правец И-ЈИ шарнирот тоне. На теренот кај Чаве, кој е продолжение од оваа синклинала, се гледа нејзината несиметрична градба што се должи на многу стрмното северно крило, кое на некои места е во превртена положба и на релативно благо наклонето јужно крило од 20° - 50° .

За сивечката мермерна маса е значајно тоа што во нејзините долни делови е извршена хомогенизација, избелување и доломитизација на мермерите, процеси кои се поврзани за втиснувањето на гранитоидната маса во Прилепската антиклинала. Имено, долните нивоа од оваа маса се изградени од бели сахароидни доломитски и масивни мермери, во кои само локално можат да се забележат траги од примарната фолијација и микронабирањето, додека со оддалечувањето од контактот со Прилепската антиклинала кон исток, доломитските мермери постепено преминуваат во тракасти, а понатаму и во шкрилести калцит-доломитски мермери. Калцит-доломитските мермери во базалниот дел на мермерната серија се закономерна појава на целото нејзино распространување на Пелагонот (сл. 9).



Слика 9. Карта на појави на калцитот во доломитските мермери во широката околина на “Сивец” R=1:20000 (О. Иваноски)
 Figure 9. Map of calcite presence in dolomitic marbels in environment of “Sivec”.
 R=1:20000 (O. Ivanoski)

8.5. Неотектонски деформации

Во структурната градба на Сивечката мермерна маса значајно место зазема руптурната тектоника, пратставена со раседи и раседни зони, пукнатински зони и одделни пукнатини кои припаѓаат на различни зони.

Секако дека е можно некои од руптурните структури да се стари, но главната руптурна тектоника е млада и е поврзана со процесот на образување на неотектонски гребен на Пелагониската Котлина во плиоцен.

Преформирањето на Пелагонискиот неотектонски гребен, основните раседни структури имале правец СЗ - ЈИ со повивање кон С - Ј, како и СИ - ЈЗ со повивање кон И - З.

Овие главни раседни системи се манифестираат на просторот на Прилепската антиклинала, која претставува бочен хорст во Пелагонискиот гребен, а исто така има целосен одраз во Сивечката мермерна маса.

На југозапад, Сивечката мермерна маса е издвоена со мошне важна дијагонална раседна зона позната како Небреговски неотектонски расед, долж кој се регистрирани и послаби сеизмички потреси. Оваа активна раседна структура, со протегање СЗ-ЈИ и пад кон ЈЗ под агол од 60° - 80° , ја сече Сивечката мермерна маса дијагонално со пад 35° - 40° .

Вториот мошне значаен периферен расед кој ја ограничува масата кон југоисток, е покриениот расед кој се протега во правец СИ-ЈЗ по текот на Стара Река.

Ослободувањето на екстензивните напрегања долж овие два раседа во овој дел на Пелагониската гребенаста морфоструктура имало одраз и врз Сивечката мермерна маса чиј простор како резултат на компензацијата на тие напрегања е сегментирана на поголем број блокови со раседи и пукнатински зони од овие два главни тектонски правци, при што е развиена и пукнатинска мрежа.

8.6. Детални структурни карактеристики

Покрај проучувањето на генералните тектонски карактеристики на Сивечката мермерна маса и на другите е изработена детална студија за внатрешната структурна градба.

Испитувањата се состојат од детално снимање на структурните елементи (фолијација, набори, раседи, пукнатини и др.).

Кршењето на карпестите маси долж овие главни правци, условило сегментација со раседи и пукнатински зони на Сивечката мермерна маса во голем број блокови, кои генерално имаат паралелна ориентација во овие правци. Имено, во западниот простор, каде владееле напрегањата од Небреговскиот систем на раседи, блоковите главно се ориентирани во правец СЗ - ЈИ, а во источниот и југоисточниот простор, под влијание на напрегањата од едниот и од другиот правец, се формирани блокови со протегање И - З или блоковите со правец СЗ - ЈИ повиваат во правец И - З до СИ - ЈЗ.

Со оглед на тоа дека мермерната маса "Сивец" претставува локалитет со најголема експлоатација на мошне квалитетни доломитски мермери и постои интерес за проширување и зголемување на производството со усовршување и воведување на нови експлоатациони методи, деталните структурно-геолошки и други истражувања беа насочени на овој локалитет.

Сивечката мермерна маса, од почетокот на нејзината експлоатација во раните педесетти години и подоцна, но и денес, е предмет на геолошки истражувања. Во 1969 година од страна на Индустропројект - Загреб биле извршени и пообемни тектонски, петрографски и хемиски испитувања на мермерите. Со овие поранешни истражувања се давани согледувања и претпоставки дека во длабина масивноста и блоковитоста на мермерната маса растат. Овие претпоставки при долгогодишната експлоатација, а и денес, се покажаа како неточни, а тектонската дислоцираност на масата во латерален и вертикален правец претставува и денес главен проблем за фронтална експлоатација.

Сегашните структурнотектонски испитувања на мермерната маса внесуваат нова светлина за решавањето на овој проблем, а новите сознанија за внатрешната градба и општите карактеристики на масата ќе овозможат поинаков пристап во експлоатацијата, т.е. напуштање на тезата за длабинско ископување на мермерните маси и подготовка на коповите за јамска експлоатација, туку примена на висинско (етажно) откопување на мермерните маси. Резултатите од овие проучувања треба да овозможат поголемо и поекономично производство на комерцијални блокови и тамболони (блокови со неправилна форма) кои понатаму ќе бидат валоризирани.

Мермерната маса "Сивец" која има протегање во правец СЗ-ЈИ и моноклинално паѓа кон СИ под агол од 25°-40° е долга околу 4 км и широка

околу 0,8-2 км. На J3 контактира со раседна зона со гнајсно-микашистната серија на Прилепската антиклинала. На СИ преку неа лежи блок од литолошки членови од мешаната серија кој е издвоен со стар реверсен расед залечен со прекамбриските метаморфни процеси, додека кон ЈИ и И е тектонски потоната под неогените наслаги и има продолжение во мермерната маса Скрка - Плетвар. Кон СЗ исто така е спуштена под наслагите на Пелагонискиот неоген гребен (Небреговско Поле).

Во регионален поглед оваа маса припаѓа на систем издолжени и тесни антиклинални и синклинални структури со тонење на оските кон ЈИ и инверзија на наборите кон J3, развиен на просторот меѓу планината Мукос на исток и Прилепската антиклинала на запад чие јадро е изградено од гранитоиди.

Во формирањето на литолошко-минералошкиот состав, внатрешната структурна градба, дислоцираноста и квалитетот на мермерите во површинските делови од масата, главна улога одиграле следните фактори:

- примарните услови на седиментација и последователните метаморфно-тектонски процеси од прекамбриска старост;

- хомогенизација, доломитизација и избелување на подинските нивоа и општото влијание на гранитоидниот магматизам во целата мермерна маса;

- влијанието на фанерозоиските тектонски процеси, а особено неотектонската радијална тектоника врз мермерната маса и

- влијанието на атмосфералии на Пелагонското неогено-квартерно езеро.

Во попречен профил, одејќи од запад кон исток, во базата на мермерната маса "Сивец", поточно од работилиште бр.1 (сл. 10) на кота 856, каде беше извршено истражно длабинско дупчење на кота 823 м, дојдено е до мермер со сива боја, чист калциум карбонат, кој продолжува до кота 810, каде е прекинато истражното дупчење. Ова укажува дека во базата на мермерната маса "Сивец" се развиени мермери со сива боја (калцитски мермери). Над котата 823 се развиени доломитски, сахароидно бели масивни мермери, кои се откриени на површина од околу 250-300м кои со неправилна граница преминуваат во маса на делумно тракасти сивобели доломитски мермери со доста траки и помали гнезда од калцит со делумно сочувана фолијација и траги од микронабирање. Нивото на овие мермери, чија ширина достигнува од 10-15 м, кон исток постепено преминува во сивобели и сиви калцитско-доломитски и калцитски мермерни маси, а во највисоките нивоа во шкрилави мермери со

јасно изразена фолијација, преку кои се навлечени албитски гнајсеви од мешаната серија.



Слика 10. Работилиште Бр.1, место каде се извршени длабински истражни дупчења и на 34 м се дојде до мермер со сива боја (чист калциум карбонат) дебелина на слојот од 13м.

Figure 10. Quarry No. 1, place where was done depth research and on 34 m was found grey marble (pure calcium carbonate) and thickness of the mass 13m.

Фото: Илијевски, 2010

Општа појава во Сивечката мермерна маса е карстификацијата, доминантно изразена долж правците на главните руптурни структури (СЗ-ЈИ, И-З, СИ-ЈЗ) и активизацијата на микропрслините, шкрилавоста и внатрешните напрегања под влијание на атмосфералиите. Овие процеси условиле големо оштетување на блоковитоста на мермерната маса во нејзините површински нивоа, што се манифестира со силна површинска ушкриленост, раздробеност и карстифицираност. Меѓутоа, таквите оштетувања до поголема длабочина се изразени во источниот дел на теренот, на работилиштата 7, 9 (во кои денес не се работи) и источно од нив и помали зони помеѓу работилиштата 4 (денешно работилиште бр. 8) (сл.11) и 5 (сл. 12), додека во западниот дел, каде ерозивното ниво е значително подлабоко, површинската оштетеност изнесува од неколку дециметри до 4-5 метри, а само долж некои од раседните и пукнатинските структури се јавува карстификација и до поголема длабочина.



Слика 11. Работилиште бр. 8, Дел од наоѓалиштето “СИВЕЦ” каде имаме оштетување на мермерната маса во нејзините површински нивоа
Figure 11. Quarry No. 8, Part of the occurrence "SIVEC" where we have damages of the marble mass in its surface levels.

Фото: Илијевски, 2010



Слика 12. Работилиште бр. 5, каде оштетувањето на мермерната маса е поголемо, но бојата на мермерот е побела
Figure 12. Quarry No. 5, where the damages of marble mass are bigger, but the colour of the marble is whiter

Фото: Илијевски, 2010

Таквата манифестација на овие процеси и морфологијата на теренот укажуваат дека во западниот простор под влијание на абразивната дејност на некогашното неогено-квартерно езеро поранешното оштетено површинско ниво било еродирано и спуштено, така што руптурните структури кои овде се јавуваат на површина се од тектонско потекло и имаат развој и во длабина, каков што е случајот со карстификацијата на мермерната маса во работилиште бр. 11 (во кое денес не се работи) која е присутна и во подлабоките делови (на 8-9 м), каде ќе следат детални геолошки истражувања во наредниот период, бидејќи во ваква состојба мермерната маса е толку карстифицирана што економски е неоправдана нејзината експлоатација.

За експлоатација на квалитетни блокови во Сивечката мермерна маса најважна улога има руптурната тектоника која е претставена со раседи, пукнатински зони и одделни пукнатини што припаѓаат на различни системи. Можно е некои од руптурните структури да се и постари, но главната руптурна тектоника со која е дислоцирана мермерната маса е млада и е поврзана со процесот на образување на неотектонскиот гребен на Пелагониската котлина во неоген. Имено, при формирањето на Пелагонискиот гребен, главните раседни системи имале павец СЗ-ЈИ со повивање кон С-Ј и СИ-ЈЗ со повивање до И-З. Овие гравитациони раседнувања имале целосен одраз и во мермерната маса “Сивец”, а се манифестираат и на просторот на Прилепската антиклинала која претставува бочен хорст вклучен во Пелагонискиот гребен.

Кон ЈЗ, Сивечката мермерна маса е издвоена од Прилепската антиклинала со мошне важна дијагонална раседна зона, позната како Небреговски неотектонски расед, долж кој се регистрирани и послаби сеизмички потреси. Оваа зона, со генерално протегање СЗ-ЈИ и пад кон ЈЗ под агол од 60° - 80° , дијагонално ја ограничува мермерната маса, а некои од раседите ја сечат и самата маса.

Втора мошне значајна периферна руптура претставува покриениот расед вдолж долината на Стара река со протегање СИ-ЈЗ.

Кршењето на карпестите маси долж овие главни правци условило и сегментација со раседи и пукнатински зони на Сивечката мермерна маса во голем број блокови кои генерално имаат паралелна ориентација со овие правци. Имено, во западниот простор каде владееле напрегања од Небреговскиот систем на раседи, блоковите се главно ориентиани СЗ-ЈИ, а во

источниот и југоисточниот простор под влијание на напрегањата од едниот и другиот правец се формирани блокови со протегање И-З или блоковите од правецот СЗ-ЈИ повиваат во правец И-З па до СИ-ЈЗ. Оваа состојба е нагласена со распоредот, ориентацијата и падната насока на раседните структури и пукнатински зони.

8.7. Петрографски карактеристики

Во наоѓалиштето за бел мермер “Сивец” се разликуваат неколку вариетети на мермер и тоа:

-Доломитски мермер

Генерално во најдолните нивоа се развиени бели сахароидни ситно-зрнести доломитски мермери $(CaMg(CO_3))_2$. Површински гледано тој има светлосива боја, додека на свеж откршок бојата му е снежнобела (сл. 13).



Слика 13. Доломитски мермер, од VI етажа во Работилиште бр.5 со снежнобела боја при свеж откршок, бидејќи мермерната маса е дупчена со пневматски дупчачки бургии, јасно се гледаат направените издупчувања во мермерот

Figure 13. Dolomitic marble, from the VI storey in a quarry No.5 with snow white colour, because marble mass is drilled with pneumatic drills, and could be clear seen drillholes that are done.

Фото: Илијевски, 2010

На просторот на Сивечката маса овие мермери имаат плитко школкесто кршење со гранобластична ситнозрнеста структура и масивна текстура. Големината на доломитските зрна во мермерот изнесува 0.2 - 0.3 мм и ретко поголеми од 0.4 - 0.5 мм. Поголеми кристали на доломите во вид на основен ромбодар се среќаваат во шуплините и дупнатините на мермерната маса во вид на кристални друзи и претставуваат доломити од втора фаза или таканаречен неодоломит.

-Доломитски мермери со примеси на калцит

Овие мермери се застапени во погорните стратиграфски нивоа, каде неправилно преминуваат во делумно тракасти сивобели доломитски ситнозрнести мермери со млазеви, гнезда и траки од калцит (сл. 14) со локално сочувана фолијација и микронабори.



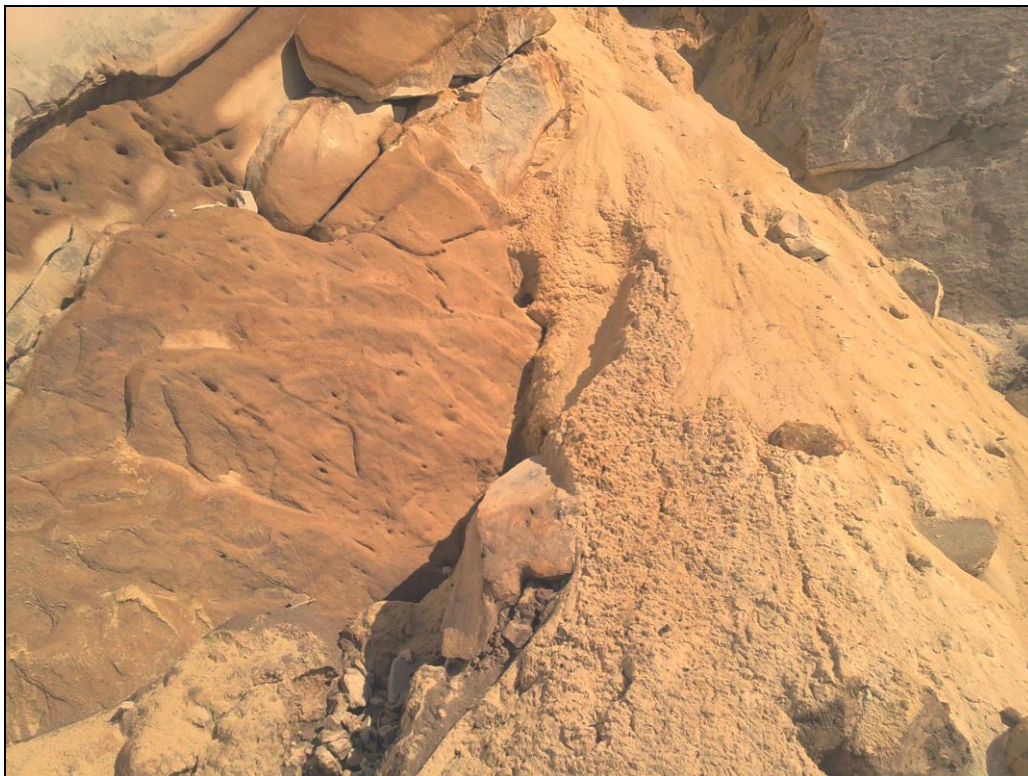
Слика 14. Доломитски мермери со примеси на калцит (калцитот претпознатлив по јасно сивата боја)
Figure 14. Dolomitic marbles with primes of calcit (calcit could be found with grey colour).

Фото: Илијевски, 2010

Калцитот е со сива боја и со право може да се каже дека е штетна компонента за белиот сахароиден доломитски мермер затоа што му го намалува квалитетот, а секако и продажната цена.

-Доломитски миломитизиран песок

Овој песок е исклучиво творба создадена под дејство на физичко-хемиски процеси на мермерот кои се вршеле под дејство на вода. Претежно се појавува на терени каде имаме јасна карстификација при што најчесто се јавуваат пукнатини поголеми од 20-50 см. Овој песок има јасно жолта боја со големина на зрната не поголема од 1мм (сл. 15), и се наоѓа во растресена положба.



Слика 15. Доломитски-миломитизиран песок

Figure 15 Dolomite-milomitized sand

Фото: Илијевски, 2010

-Дробински материјал

Дробината обично се јавува како падински материјал одвоен од матичната мермерна маса и претежно е преталожен во непосредна близина на примарната карпа. Големината и обликот на преталожената дробина е различен и заобленоста зависи од должината на транспортот (сл. 16).



Слика 16. Дробински материјал
Figure 16. Craggy material

Фото: Илијевски, 2010

-Хумусна покривка

Хумусниот материјал претежно е претставен со: хумус (сл. 17), доломитски песок и песокливи глини кои се среќаваат на места каде се појавуваат мали длабнатини, така што постоеле услови за распаѓање на доломитот. Дебелината на хумусната покривка изнесува од 20 до 60 см, а на места како се оди во пониските делови на влезот во рудникот, нејзината големира расте и изнесува од 6 до 10 м.



Слика 17. Хумусна покривка

Figure 17. Humus cover

Фото: Илијевски, 2010

8.8. Лабораториски испитувања

8.8.1. Рендгенска анализа

На примероците од мермери кои беа земени од наоѓалиштето “СИВЕЦ” беа направени рендгенографски испитувања (XRD, X-Ray Diffraction) со цел да се дефинира точниот состав на самите мермери како и да се дефинира евентуалното присуство на мали (или евентуално поголеми) количества на други минерали. За рендгенографски анализи беа земени 6 проби од сите работилишта во рудникот “СИВЕЦ” и тоа: пробата N20 е земена од работилиште број 1 на 2 етажа, пробата N21 е земена од работилиште број 2 на 1 етажа, пробата N22 е земена од работилиште број 5 на 2 етажа, пробата N23 е земена од работилиште број 8 на 6 етажа, пробата N24 е земена од работилиште број 6-стара на 7 етажа и пробата N25 е земена од работилиште број 6-стара на 3 етажа.

Рендгено-структурна анализа

Рендгенографските испитувања беа извршени со “Sistem D500 Siemens” со компјутерско управување и бакарно монохромарско зрачење при 40kV/30mA и поставување на автоматско променлива влезна бленда. Оптималниот однос на линијата/фонот се обезбедува автоматски од компјутерот PDP 11/23+. Дијагностицирањето на фазите при квалитативна анализа се извршени со помош на програмски пакет “Diffract 11” во програмите IDR, EVAL, COMSEA.

Квантитативните анализи беа направени по методот на Петер и Калман со претходно утврдени калибрациони коефициенти (корундови делови) за одделни минерални фази.

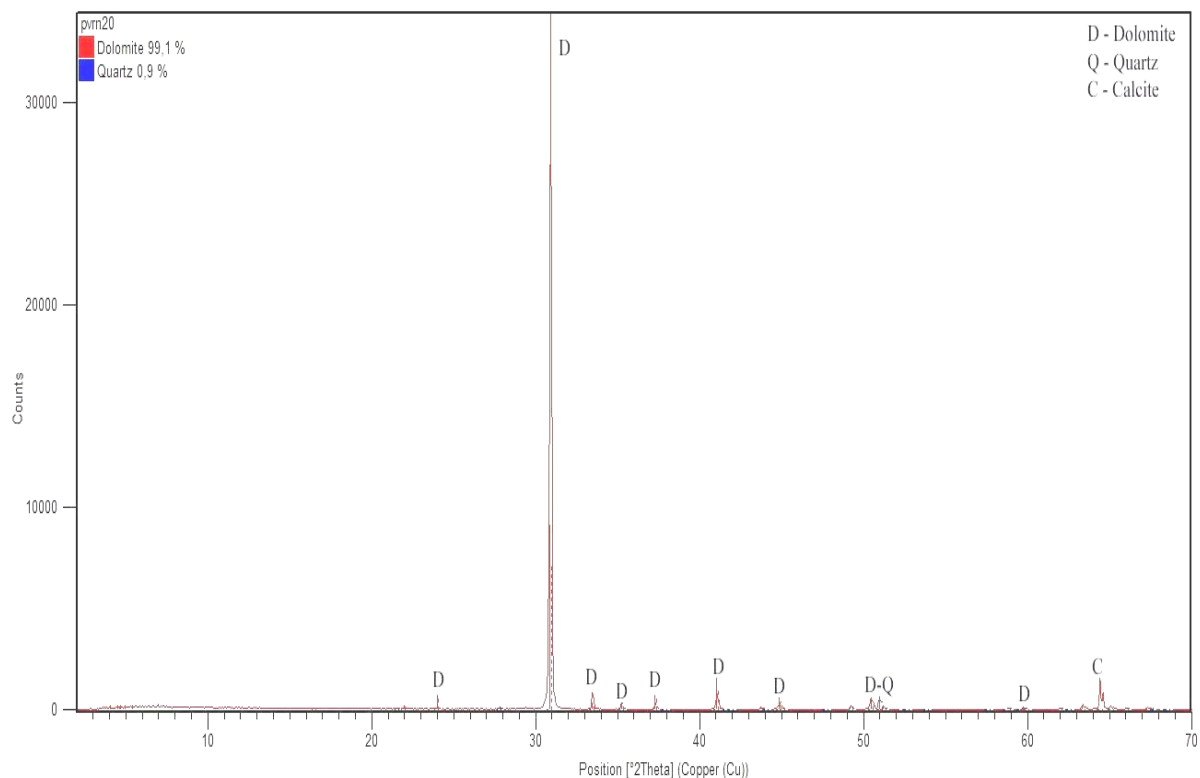
Беа подготвени и испитувани препарати со минимална преносна ориентација за снимање на општиот дифракционен модел во опсегот $2\Theta=3-60^\circ$.

- појдовна проба
- загревање при 600°C со траење од 2 часа.

По оваа методологија беа анализирани шесте примероци одбрани од наоѓалиштето “Сивец” означени како PVRN20; PVRN 21; PVRN 22; PVRN 23; PVRN 24 и PVRN 25.

Резултатите од рендгенските испитувања се дадени во прегледот што следи подолу:

-Анализа на примерокот **PVRN-20** покажа дека истиот е составен, главно, од доломитска компонента која всушност е и доминантна (99,1%) и кварц кој се јавува како споредна компонента (0,9%) и калцит кој се јавува како компонента во трагови (сл. 18).



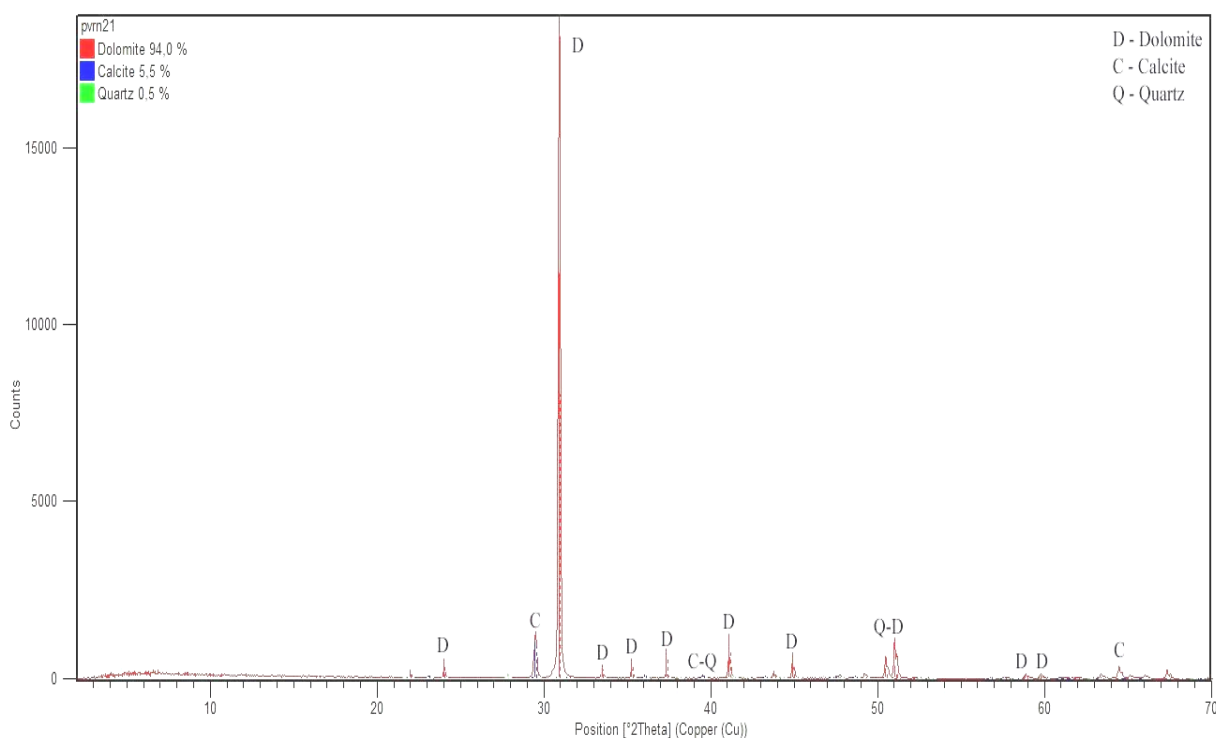
Слика 18. Рендген дифрактограм на анализиран примерок *PVRN 20*, Сивец, Р. Македонија
Figure 18. X-ray diffractogram of the analyzed sample PVRN 20, Sivec, R. Macedonia

Како што може да се види и од приложената слика 18, одредбата на доломитската компонента беше извршена врз база на доминантните пикови на позицијата 2Θ до 30.99 и d -растојание од 2.886 nm (интензитет од 100%), за потоа одредбата да продолжи преку пикови на позиција 2Θ до 41.22; 50.58 и 45.02 и одговарачките d -растојанија од 2.191; 1.805 и 2.014 nm. Токму ваквиот состав на доломитот посочува дека станува збор за скоро до идеалниот стехиометриски распоред со d -растојание од 2.887 nm.

Во делот на одредбите на кварцот, интерпретацијата својата основа ја имаше во главниот негов пик во овој примерок на позицијата 2Θ од 50.17, односно соодветно d -растојание од 1.818 nm.

Калцитот кој се јавува како компонента во траги беше одреден врз база на пикот на позицијата 2Θ од 64.71, и соодветно d-растојание од 1.4405 nm.

-Анализа на примерокот **PVRN-21** покажа дека истиот е составен, главно, од доломитска компонента која всушност, како и кај претходниот примерок, иако во помал процент, е доминантна (94%), потоа следат: калцитот кој се јавува како споредна компонента (5,5%) и кварцот кој исто се јавува како споредна компонента со (0.5%), (сл. 19).



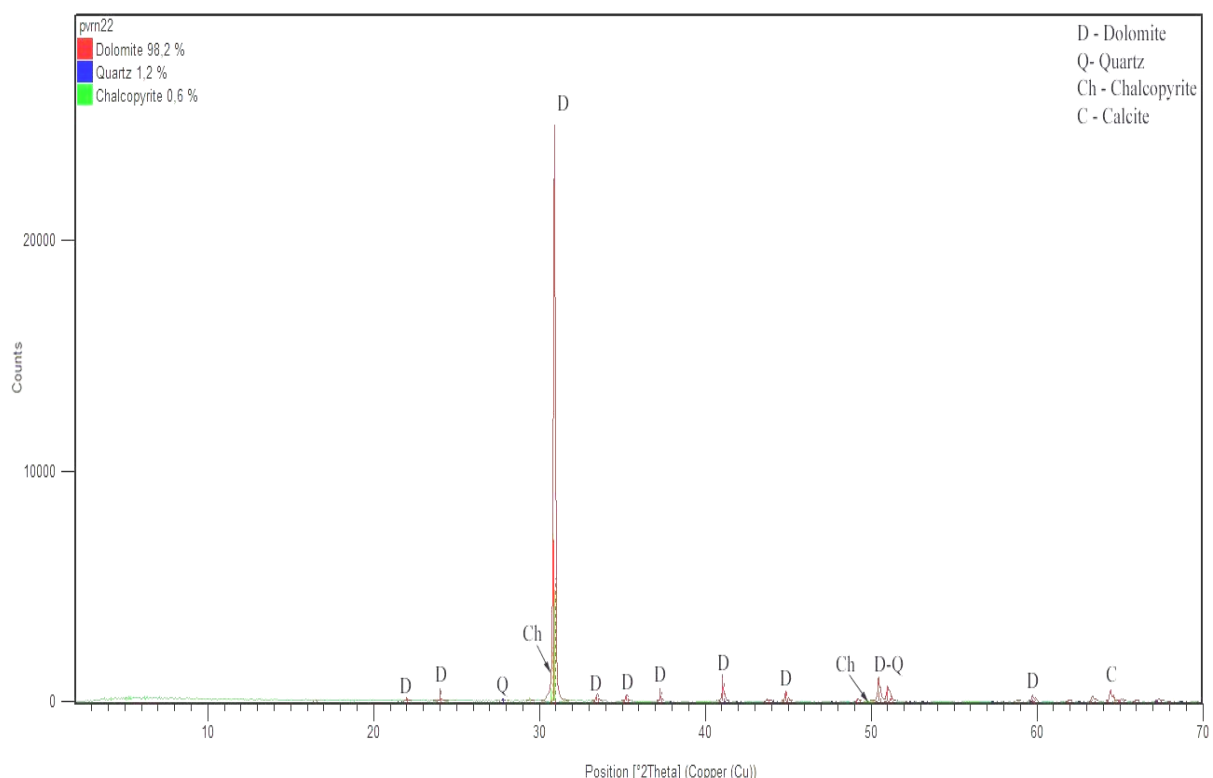
Слика 19. Рендген дифрактограм на анализиран примерок *PVRN 21*, Сивец, Р. Македонија
Figure 19. X-ray diffractogram of the analyzed sample PVRN 21, Sivec, R. Macedonia

Како што може да се види и од приложената слика 19, одредбата на доломитската компонента беше извршена врз база на доминантните пикови на позицијата 2Θ до 30.99 и d-растојание од 2.886 nm (каде интензитетот е до 100%), за потоа одредбата да продолжи преку пикови на позиција 2Θ до 41.22; 50.58 и 45.02 и одговарачките d-растојанија од 2.191; 1.805 и 2.014 nm. Како и во претходниот примерок така и кај овој примерок *PVRN 21* забележливо е дека токму ваквиот состав на доломитот посочува дека станува збор за скоро до идеалниот стоихиометриски распоред со d-растојание од 2.887 nm.

Калцитот кој се јавува во релативно зголемена концентрација (5.5%) беше одреден врз база на пиковите на позицијата 2Θ од 29.42; 39.44 (кој пик делумно се поклопува со оној на кварцот) и 64.5 и одговарачките d-растојанија од 3.036; 2.285; 2.014 nm.

Што се однесува до одредбата на кварцот, интерпретацијата беше базирана на неговиот главен пик во овој примерок на позицијата 2Θ од 50.17, односно соодветно d-растојание од 1.818 nm и споредниот доминорен пик кој се поклопува со калцитот на позиција 39.40.

-Анализа на примерокот **PVRN-22** или третиот анализиран примерок покажа дека тој е составен, главно, од доломитска компонента која е крајно доминантна (98.2%), потоа следат кварц со присуство од (1,2%), халкопиритот во концентрација од (0.6%) и калцит кој се јавува како компонента во траги (сл. 20).



Слика 20. Рендген дифрактограм на анализиран примерок *PVRN 22*, Сивец, Р. Македонија
Figure 20. X-ray diffractogram of the analyzed sample PVRN 22, Sivec, R. Macedonia

Како што може да се види и од приложената слика 20 одредбата на доломитската компонента беше извршена врз база на доминантните пикови на позицијата 2Θ до 30.99 и d-растојание од 2.886 nm (каде интензитет е до

100%), за потоа одредбата да продолжи преку пикови на позицијата 2Θ до 41.22; 50.58 и 45.02 и одговарачките d-растојание од 2.191; 1.805 и 2.014 nm .

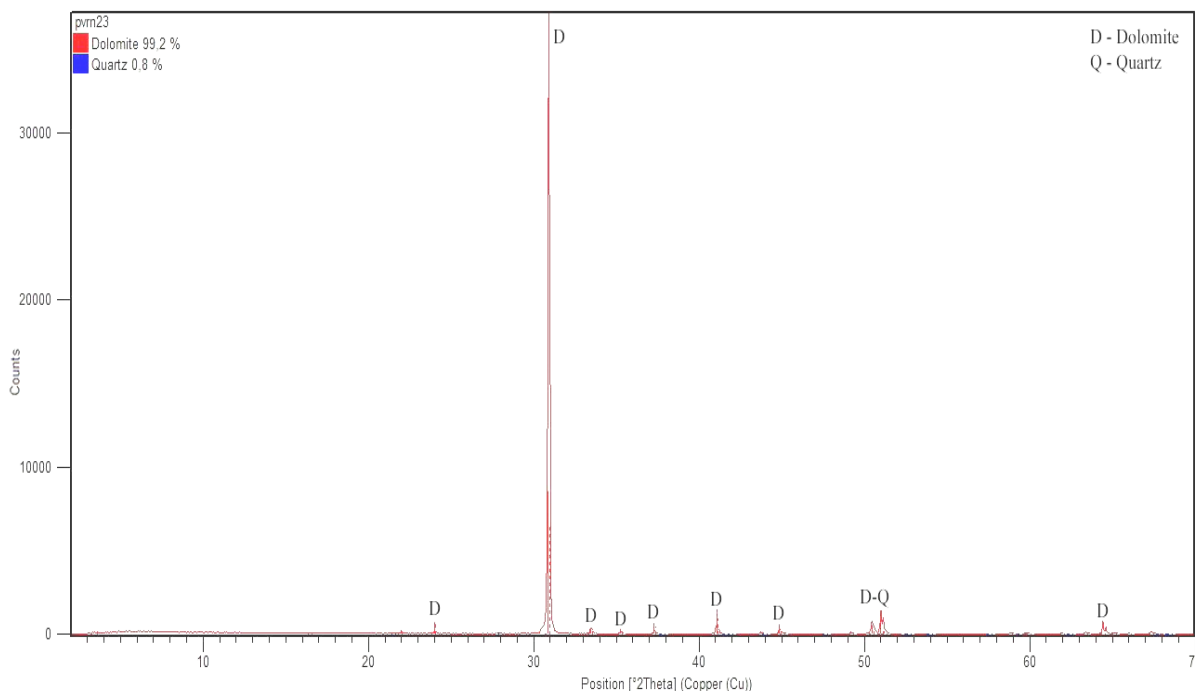
Како и во претходниот примерок така и кај овој примерок *PVRN 22* забележливо е дека токму ваквиот состав на доломитот посочува дека станува збор за скоро до идеалниот стоихиометарски распоред со d-растојание од 2.887 nm.

Во поглед на одредбата на кварцот, интерпретацијата беше базирана на главниот негов пик во овој примерок на 50.17 односно 1.818 nm и споредниот доминорен пик (во овој случај, инаку главен за кварцот) на позицијата 27.05 и соодветното d-растојание од 3.2965.

Од споредните минерали се јавува халкопиритот (0.6%) кој беше одреден врз база на пикот на позицијата 2Θ од 29.70 и соодветното d-растојание од 3.008 nm но и оној на позицијата 2Θ од 49.64 и соодветното d-растојание од 1.837 nm.

Калцитот кој се јавува како компонента во траги беше одреден врз база на пикот на позицијата 2Θ од 64.71 и соодветното d-растојание од 1.4405 nm.

-Анализа на примерокот *PVRN-23* или четвртиот анализиран примерок покажа дека тој е составен, главно, од доломитска компонента која е крајно доминантна (99.2%) и спореден кварц со (0.8%) (сл. 21).



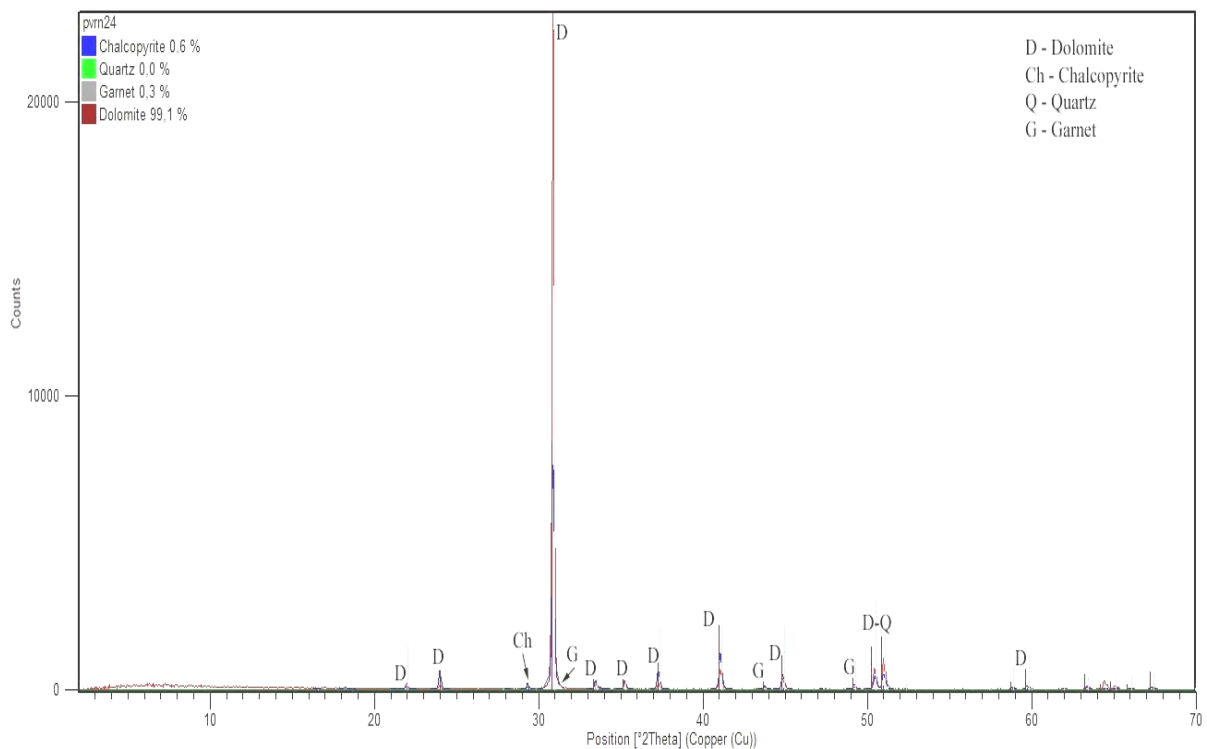
Слика 21. Рендген дифрактограм на анализиран примерок *PVRN 23*, Сивец, Р. Македонија
Figure 21. X-ray diffractogram of the analyzed sample PVRN 23, Sivec, R. Macedonia

Како што може да се види и од приложената склика 21, одредбата на доломитската компонента беше извршена врз база на доминантните пикови на позицијата 2Θ до 30.99 и d-растојание од 2.886 nm (каде интензитетот е до 100%), за потоа одредбата да продолжи преку пикови на позиција 2Θ од 41.22; 50.58 и 45.02 и одговарачките d-растојанија од 2.191; 1.805 и 2.014 nm.

Како и во претходниот примерок така и кај овој примерок *PVRN 23* забележливо е дека токму ваквиот состав на доломитот посочува дека станува збор за скоро до идеалниот стоихиометриски распоред со d-растојание од 2.887 nm.

Кварцот (0.8%) беше одреден врз база на пикот на позицијата 2Θ од 50.17 и со соодветното d-растојание од 1.818 nm.

-Анализа на примерокот PVRN-24 односно петтиот анализиран примерок покажа дека тој е составен, главно, од доломитска компонента која е крајно доминантна (99.1%), халкопиритот како спореден со (0.6%) и гранат со (0.3%) додека кварцот се манифестира само во траги (сл. 22).



Слика 22. Рендген дифрактограм на анализиран примерок *PVRN 24*, Сивец, Р. Македонија

Figure 22. X-ray diffractogram of the analyzed sample PVRN 24, Sivec, R. Macedonia

Како што може да се види од приложената слика 22 одредбата на доломитската компонента беше извршена врз база на доминантните пикови на позицијата 2Θ до 30.99 и d-растојание од 2.886 nm (каде интензитетот е до 100%), за потоа одредбата да продолжи преку пикови на позиција 2Θ од 41.22; 50.58 и 59.90 и соодветните d-растојанија од 2.191; 1.805; 2.014 и 1.5442 nm. Како и во претходниот примерок така и кај овој примерок *PVRN 24* забележливо е дека токму ваквиот состав на доломитот посочува дека станува збор за скоро до идеалниот стоихиометриски распоред со d-растојание од 2.887 nm.

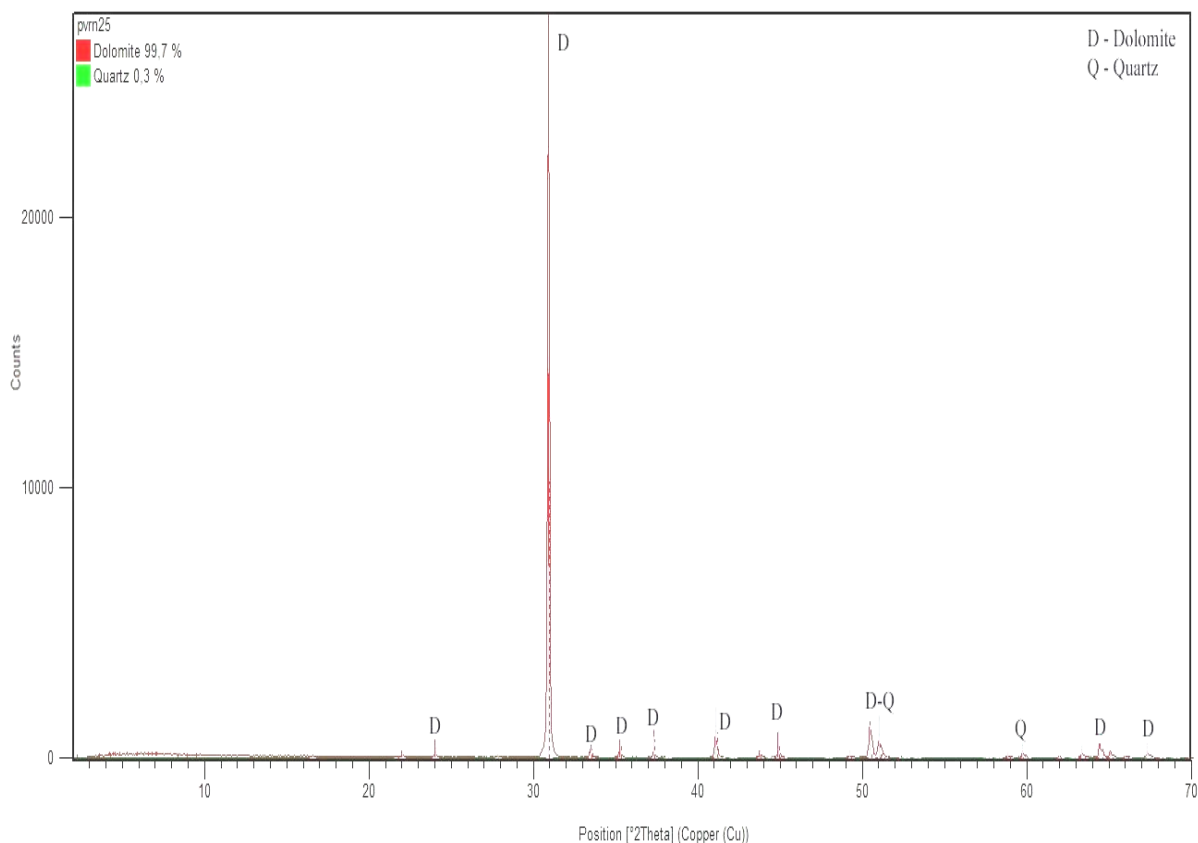
Од споредните минерали се јавува халкопиритот (0.6%) кој беше одреден врз база на пикот на позицијата 2Θ од 29.70 и соодветното d-растојание од 3.008 nm по халкопиритот како спореден минерал во концентрација од (0.3%) беше констатиран и гранатот на позиција 2Θ од 31.02, 44.44 и 48.68 и и соодветните d-растојанија од 2.8828, 2.0384 и 1.8706 nm.

Кварцот кој се јавува како минерал во траги беше одреден врз база на неговиот пик (кој скоро да се прекрива со оној на доломитот) на позицијата 2Θ од 50.17 односно 1.818 nm.

-Анализа на примерокот *PVRN-25* односно шестиот анализиран примерок покажа дека тој е составен, главно, од доломитска компонента која е крајно доминантна (99.7%), со минорно присуство на кварц од (0.3%) (сл. 23).

Како што може да се види и од приложената слика 23, одредбата на доломитската компонента како и во претходните примероци беше извршена врз база на доминантните пикови на позицијата 2Θ до 30.99 и d-растојание од 2.886 nm (каде интензитет е до 100%), за потоа одредбата да продолжи преку пикови на позиција 2Θ од 41.22; 50.58 и 45.02 и одговарачките d-растојанија од 2.191; 1.805 и 2.014 nm.

Како и во претходниот примерок така и кај овој примерок *PVRN 25* забележливо е дека токму ваквиот состав на доломитот односно доминантниот пик на 2Θ до 30.99 посочува дека станува збор за скоро до идеалниот стоихиометриски распоред со d-растојание од 2.887 nm.



Слика 23. Рендген дифрактограм на анализиран примерок *PVRN 25*, Сивец, Р. Македонија
Figure 23. X-ray diffractogram of the analyzed sample PVRN 25, Sivec, R. Macedonia

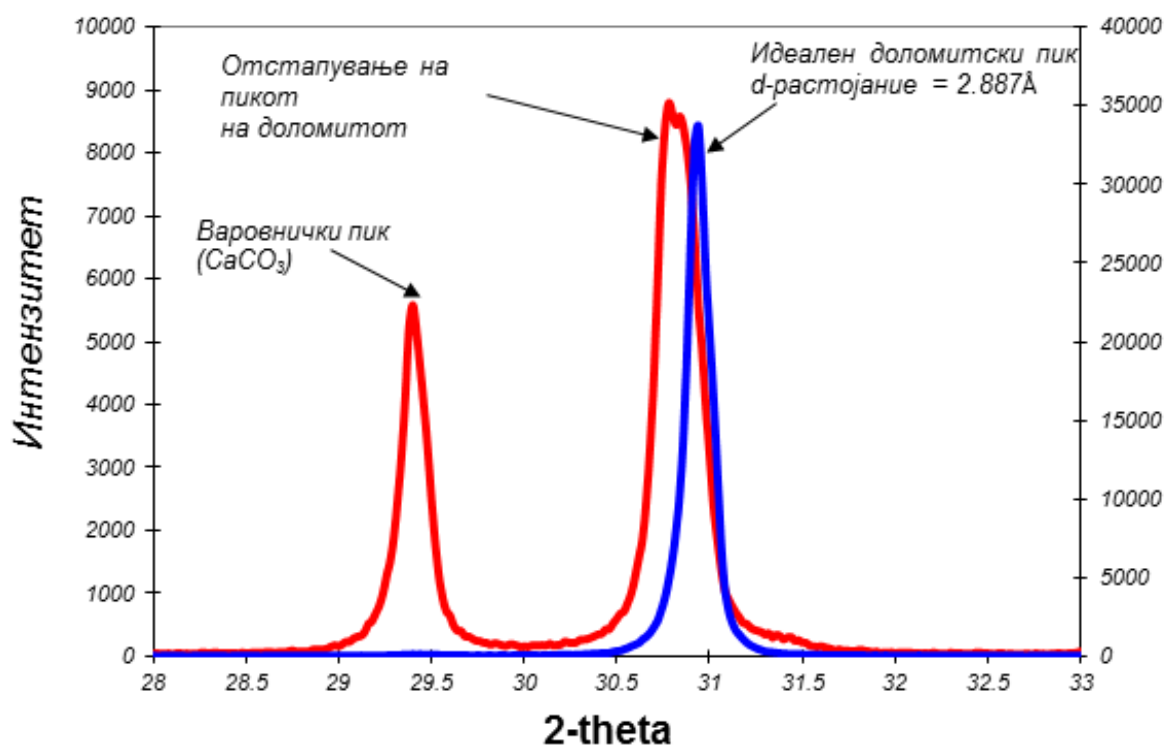
Кварцот кој, веќе рековме, дека се јавува како компонента со споредно присуство од 0.3% беше одреден врз база на пиковите на позицијата 2Θ од 50.15 и 59.96 и со соодветните d-растојанија од 1.8191 и 1.5429 nm.

По завршените анализи и интерпретацијата на резултатите од рендгенската дифракција мора да се спомене дека истата ни овозможи да се добијат неопходните нумерички вредности и параметри кои пак од своја страна недвосмислено се поврзани со минеролошкиот состав на анализираните примероци.

Како што може да се види од рендгенограмите постојат убаво дефинирани пикови на главните минерали, иако на места беше констатирано и препокривање на одредени пикови, што од своја страна предизвикуваше потешкотии во интерпретацијата на истите.

Од особена важност беше дека квалитетот на доломитот можеше да биде одреден и со методологија на отстапување на пикот на дијаграмот од рендгенската дифракција (Rosen et al., 1988).

Имено, квалитетот на доломитот се одредува така што колку е поголемо отстапувањето на пикот на доломитот од идеалниот пик од 2.900 \AA (најточно 2.886 \AA) до толку е понизок квалитетот на минералогјата на доломитот (сл.24)



Слика 24. Отстапување на пикот на доломит од "Сивец" со идеалниот доломитски пик со растојание $d=2.886 \text{ \AA}$

Figure 24. Retracting on the spade of dolomite of "Sivec" with the ideal dolomite spade with distance $d = 2886 \text{ \AA}$

Во сите анализирани и интерпретирани примероци доломитот покажа остри пикови на дифрактограмите токму на идеалната доломитска позиција, d -растојание 2.886 \AA , што беше извонреден доказ дека доломитот ја зачувал својата идеална кристална структура со текот на времето. Сите вредности на доломитот беа исти или многу блиски на идеалните стахиометриски вредности онака како што се посочени од Kaminskas et al., (2010).

Пресекот на добиените резултати може да се сумира во фактот дека во анализираниите примероци доминира доломитот со опсег на вредности од 94 до

99.7%, а токму ваквите добиени вредности покажуваат на постоење на интензивна доломитизација (некаде и преку 99% од карбонатната компонента).

Потоа во минорни количества следуваат калцит со присуство во траги па сè до максималните 5.5% во пробата PVRN 21, кварц кој се јавува во опсег од 0.3 до 1.2%, гранат со 0.3% во пробата PVRN 24 и халкопирит со константните 0.6% во пробите PVRN 22 и PVRN 24.

Присуството на халкопиритот се должи на зголемените концентрации на сулфур во растворите одговорни за процесите на доломитизација. Важно е да се спомне и дека таквите примеси се непожелни во поглед на квалитетот на доломитот како пазарна суровина.

Иако некои од констатираните минерали со овие анализи ги потврдија некои од минералите констатирани од претходни истражувачи (Jeršek M. and Mirtič B., 1999, Jovanovski et al., 2003), одредени минерали од редот на дијаспор, корунд, рутил, турмалин, мусковит, флогопит, косматит и други заради ограничениот број на анализирани примероци не беа потврдени. Токму тука сакам да потенцирам дека утврдениот минеролошки состав не посочува на варовник односно доломите, кој бил рекристализиран под влијание на надворешните влијанија како што се топлина, притисок или присуство на течни раствори. Фактот дека мермерите се всушност мозаик на разни минерални односи се потврдува и во овој случај, кога главно доломитски и помалку калцитски зрна, честопати се прослоени со други минерали како што се кварц, гранат, халкопирит и др., кои всушност ги претставуваат “нечистотиите” во иницијалниот варовник кои стапиле во реакција за време на метаморфизмот и формирале нови компоненти.

Очигледно е дека наспроти некои заеднички карактеристики кои обично се однесуваат на петролошкиот состав и структурата на различните минерали, постојат и голем број разлики кои ги прават мермерите крајно различни. Токму се има во предвид фактот дека во рамките на еден коп или негов дел, мермерот е доволно хомоген, постојат доволно голем број вариетети на физички карактеристики кои можат да бидат употребени како маркери во проучувањето на провинцијата на потекло (Duliu et al., 2009). Бидејќи мермерите честопати содржат, покрај главните компоненти, и други споредни компоненти, квантитативна одредба на минералошкиот состав би можела да се покаже како многу корисна во проучувањата на географското потекло-

провинција на истите (Duliu et al., 2009). Во тој контекст може да се каже дека мермерите од “Сивец” според своите минералоски карактеристики односно главни минерали, се многу блиски до доломитските мермери од Драма, Тасос и Дидимон во Грција (Duliu et al., 2009), но сепак присуството на специфичните споредни и минерали во траги ги прават овие мермери уникални по своето потекло, односно доломитски мермери од “Сивец” - Прилеп, Р. Македонија.

8.8.2. Минеролошки карактеристики

Сивечката мермерна маса во целост е изградена од еден единствен минерал - доломит, што значи претставува мономинерална карпа. Но, покрај доломитот, во мермерот, во поголема или помала мера најмногу се среќаваат и други минерали кои, пред сè, претставуваат споредни состојки, а тоа се: калцит, корунд, мусковит, флуорит, парагонит, фенгит, титанит, епидот флогопит, рутил, кварц и др.

Во зависност од местоположбата каде се најдуваат, нивната убавина и најразличните бои во кои се појавуваат, тие секогаш претставуваат штетни компоненти во мермерната маса и се непожелни.

Доломит

Доломитот е многу распространет минерал, се појавува во кристални форми на ромбододекаедричниот клас и најчесто се појавува во финозрнести и густе агрегати. Доломитските зрна (сл. 25) од кои е изграден мермерот се бели сахароидни и ситни зрна чија големина изнесува 0.2-0.3 мм и до 0.4-0.5 мм ретко поголеми. Освен овој примарен доломит се јавува и доломит од втора фаза или таканаречен неодоломит чии кристали се појавуваат во вид на основен ромбодар. Овој доломит има стаклест сјај и ретко се појавува и како ишаран со бели линии. Овие кристали се среќаваат во шуплините на мермерот, поединечни или во друзи и се бело обоени до прозрачни.



Слика 25. Доломит во мермерна маса, доломитските зрна се со големина од 0.2-0.3 мм и до 0.4-0.5 мм, ретко поголеми
Figure 25. Dolomite in marble mass, Dolomite grain have size of 0.2-0.3 mm to 0.4-0.5 mm and rarely are more bigger.

Фото: Илијевски, 2010

Калцит

Калцитот е хексагонален вариетет настанат под дејство на ниски притисоци. Во доломитските мермери се јавува во вид на осамени пеги, во вид на ленти и некаде во вид на жици што е поредок случај. Обично може да се востанови ромбодарска кристализација, а по боја е прозачно бел (Сл. 26а) до светло сив (сл. 26б). Честа е појавата на близнење. Иако се појавува во многу убави и прозачни кристали калцитот е штетна компонента за доломитскиот мермер, бидејќи негативно делува на бојата и му ја намалува продажната цена.

Корунд

Корундот е чист Al_2O_3 . Се појавува во тенки и дебелоплочести кристали, честа е појавата на полисинтетички близнаци, а поретко се среќаваат и продорни близнаци. Сјајноста е дијамантска, седефаста или стаклеста. Кристалите имаат светлорозе до виолетовоцрвена боја што зависи од

примесите на Cr и V. Кристализира хексагонално во призматични и бипирамидални кристали (Сл. 27). Се јавува во вид на кристали кои имаат хипидиоморфен облик. Кристалите на корунд не преминуваат големина од 10см.



а



б

Слика 26. Калцит во мермерна маса, а. прозрачен бел калцит; б. светло сив калцит
Figure 26. Calcite in marble mass, a. translucent white calcite b. light gray calcite

Фото: Илијевски, 2010



а.



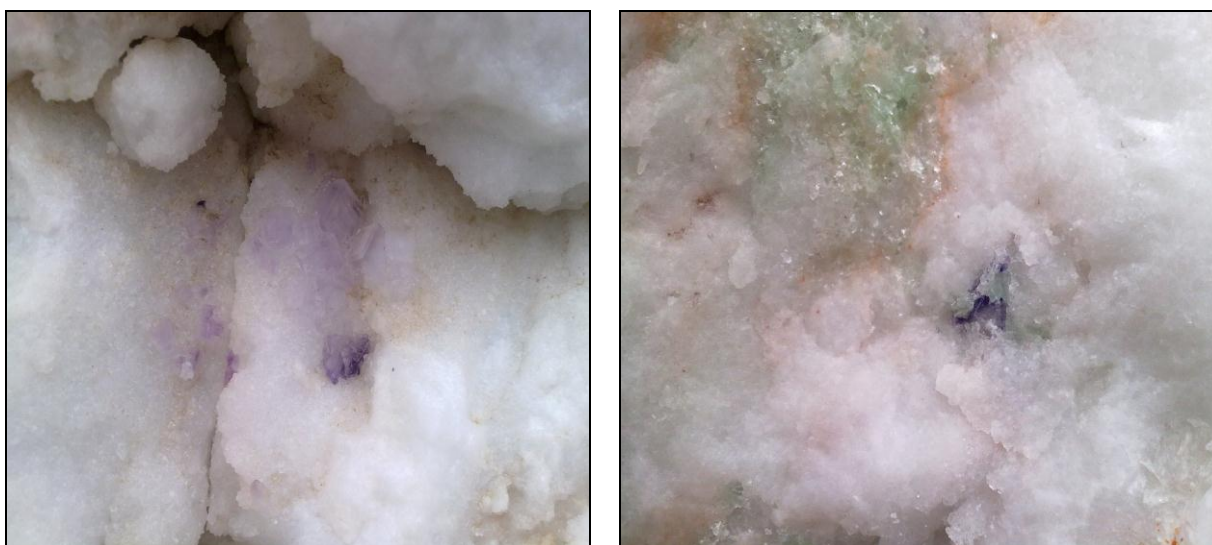
б.

Слика 27. Корунд, а. корунд во мермерна маса; б. појава на близнење на корундот
Figure 27. Corundum, a. corundum in marble mass b. phenomenon of the corundum duplicate.

Фото: Илијевски, 2010

Флуорит

Флуоритот кристализира тесерално. Најчесто се појавува во облик на кристали, но и во масивни зрнести агрегати. Честа е појавата на близнаци. Се среќава во шуплините и пукнатините на мермерот. Тој е обоен розе или пак интензивно виолетово (Сл. 28) и обично се јавува во ситни кристали.



Слика 28. Флуорит во мермерна маса
Figure 28. Fluorite in the marble mass

Фото: Илијевски, 2010

Рутил

Рутилот е TiO_2 . Кристализира тетрагонално. Се појавува во столбчести или призматични кристали, но може да се појави и во крупни маси или како иглички во некоја друга маса. Во наоѓалиштето “Сивец” ретко се јавува и тоа во вид на мали столбчести кристали. По боја е метално црн (Сл. 29).

Мусковит

Мусковитот кристализира моноклинично, а се појавува во вид на плочести кристали со псеудохексагонален хабикус. Се јавува во вид на тенки ливчиња кои се безбојни до зеленкастожолти со седефаст сјај (Сл. 30). Цепливоста му е совршена, а обично се појавува во затворените пукнатини и прслини.



а.



б.

Слика 29. Рутил а. ситни кристали на рутил; б. рутил во мермерна маса
Figure 29. Rutile a. small rutile crystals; b. rutile in the marble mass

Фото: Илијевски, 2010



Слика 30. Мусковит
Figure 30. Muscovite

Фото: Илијевски, 2010

8.8.3. Физичко-механички особини на мермерите

Многу автори, овие мермери ги сметаат како дел од прекамбриските мермерни серии во Пелагонискиот масив. Податоци за геологијата, тектониката, техничките и механичките особини, рудните резерви и други

параметри, се дадени во извештаите на истражувачите вработени во рудникот и други истражувачи (Думурџанов, 1990).

Мермерната маса во наоѓалиштето Сивец е дел од прекамбриската мермерна серија на Пелагонискиот масив или дел од тектонски сегментираната зона Беловодица - Плетвар - Козјак - Сивец - Небрегово.

Мермерната маса има протегање северозапад - југоисток во должина од 4км и ширина од 2км, со наклон кон североисток под агол од 25°-40°. Регионално, масата припаѓа на тесни и издолжени антиклинални и синклинални структурни форми со североисточна екстензија, превртена кон северозапад помеѓу планината Мукос на исток и Прилепската антиклинала на запад, во јадрото во кое се појавуваат прилепските гранитоиди. Самата мермерна маса е синклинала со екстензија северозапад-југоисток. Околина на литолошките членови и раседната тектоника претставува примарната стратиграфија на теренот. Пресекот југозапад - североисток низ масата ја има следната структура: југозападниот дел е составен од хоризонт со дебелина од 250м, изграден од хомогенизирани, бели, сахароидно зрнести доломитски мермери, кои во подината се одделени од гнајсевите и микашистите со раседна зона. Со постепен премин, овој хоризонт преминува во лентовидни бели и сивобели доломитски мермери, со ретки калцитски ленти и гнезда кои преминуваат во 150-200м дебел појас од сивобели лентовидни доломитско-калцитски мермери, кон југоисток. Масата завршува со ленти од калцитски мермери, одделени со расед од мешаната серија.

Според минералошкиот, структурниот и текстурниот состав, мермерната маса во Сивец е изградена од сахароидно бели доломитски мермери, доломитски мермери со ленти и гнезда од калцит и лентовидни калцитски мермери.

Сахароидно белите доломитски мермери се развиени во најниските нивоа. По боја се бели, фино зрнести, хомогени, масивни и компактни. Нивниот доломитски состав е делумно поврзан со примарните гнајсеви. Белината, хомогеноста и компактоста се поврзани со термалното влијание и метаморфните процеси на пелагониските гранитоиди. Влијанието на гранитоидите врз мермерите се гледа и во појавата на минерали како корунд, флуорит, парагонит, фенгит, титанит, епидот и други, кои не се забележани на други места.

Доломитските лентовидни мермери се сивобели до бели, ситнозрнести, со ретки гнезда и ленти од калцит. Тие претставуваат постепен премин кон лентовидните сиво бели доломитско-калцитски мермери, каде термалното влијание на гранитоидите е сè уште големо.

Лентовидните калцитски мермери се сивобели, средно до ситно зрнести, во облик на леќи и гнезда. Термалното влијание на гранитоидите овде е намалено и минералошкиот состав е поврзан со примарниот седиментен состав и високиот степен на регионалниот метаморфизам, кој влијаел на сите прекамбриски пелитски, пелитско-псамитски и карбонатни седименти.

Целата мермерна маса е зафатена со процес на карстификација. Руптурната тектоника, претставена со неколку раседни системи и пукнатини е полифазна, па може да се каже дека палеотектонското раседнување и системите од пукнатини во мермерната маса биле преформирани со помлади процеси. Неотектонските раседни и пукнатински системи извршиле најголеми оштетувања на формата на мермерните блокови. Имено, мермерната маса е во директен контакт со југоисточниот дел на Пелагонискиот мио-плиоценски гробен. Овој дел бил формиран од гравитациони раседи од две страни. Тоа е систем северозапад - југоисток до север - северозапад и југ - југоисток, со наклон кон северозапад и запад под агол од 60° до 80° , кои останале сеизмички до денес и систем североисток - југозапад до исток - запад со вертикален до субвертикален наклон. Овие два големи раседи ја ограничуваат мермерната маса од југозапад и исток и влијаат на самата маса, што може да се види и од раседните зони и зоните на смолкнување што ја сечат масата во подината.

Пукнатинската мрежа е претставена со четири значајни системи, од кои два имаат правци северозапад - југоисток со наклон кон северозапад под агол од 80° до 90° и правец исток - запад со наклон кон југ под агол од 80° до 90° . Двата правци се сингенетски со неотектонските процеси. Овие системи се претставени како индивидуални пукнатини и пукнатински зони, долж кои мермерите се силно смолкнати неколку метри во должина. Другите два система на пукнатини, кои се со правци североисток – југозапад и север - југ, се слабо изразени.

Големите раседни и пукнатински системи влијаат на сегментирањето на наоѓалиштето во неколку поголеми и повеќе помали блокови од компактен

мермер, корисни за ископување на комерцијални блокови. Физичко-механичките особини на мермерите се дадени во табела 1.

Табела бр. 1.-Физичко-механички карактеристики на мермерот од “СИВЕЦ”

Table No. 1. Physical-mechanical characteristic of the “Sivec” marble.

Средна густина:	2.843 g/m ³
Густина:	2.858 g/m ³
Порозност:	1.2 %
Водопропустливост:	0.134 %
Компресивна цврстина:	167.6 N/mm ²
Цврстина на свиткување:	9.33 N/mm ²
Отпор на абење:	27.5 cm/50 cm ²
Отпор на мрзнење:	стабилен
Продуктивен волумен:	Висок
Големина на блокови:	блокови со екстра големина

Мермерите од наоѓалиштето Сивец, благодарение на нивните минералоски, структурно-текстурни и технички особини како и лесната обработливост, имаат висок квалитет и високо се ценети на пазарот како архитектонски и украсен камен.

8.8. 4. Технолошки карактеристики на мермерите од рудникот “СИВЕЦ”

На основа на извршените хемиски анализи може да се каже дека доломитскиот мермер има воедначен квалитет. Основни елементи кои се испитувани дадени се во следната табела (табела 2):

Од табелата бр. 2 може да се види дека се работи за многу чиста минерална супстанција со висока содржина на CaO и MgO, што овозможува примена во повеќе гранки во индустријата. Согледувајќи ги физичките особини на мермерот, може да се каже следното: мермерот се јавува како ситнозрнест сахароиден со потполно бела боја со плитко школкесто откршување и со рапава површина. Како таков, доломитскиот мермер добро се полира при што добива висок сјај и наоѓа голема примена во градежништвото како декоративен камен, а исто така голема примена наоѓа и во вајарството.

Но, освен овие позитивни особини, мермерот има и негативни особини. Под дејство на атмосферски влијанија ја губи сјајноста и е хидроскопен и многу чувствителен на нечистотии од органска природа.

Табела 2. Хемиска анализа на доломитски ситнозрнест мермер од “Сивец”.
 Table No. 2 Chemical analysis of slightly granular dolomite marble of "SIVEC"

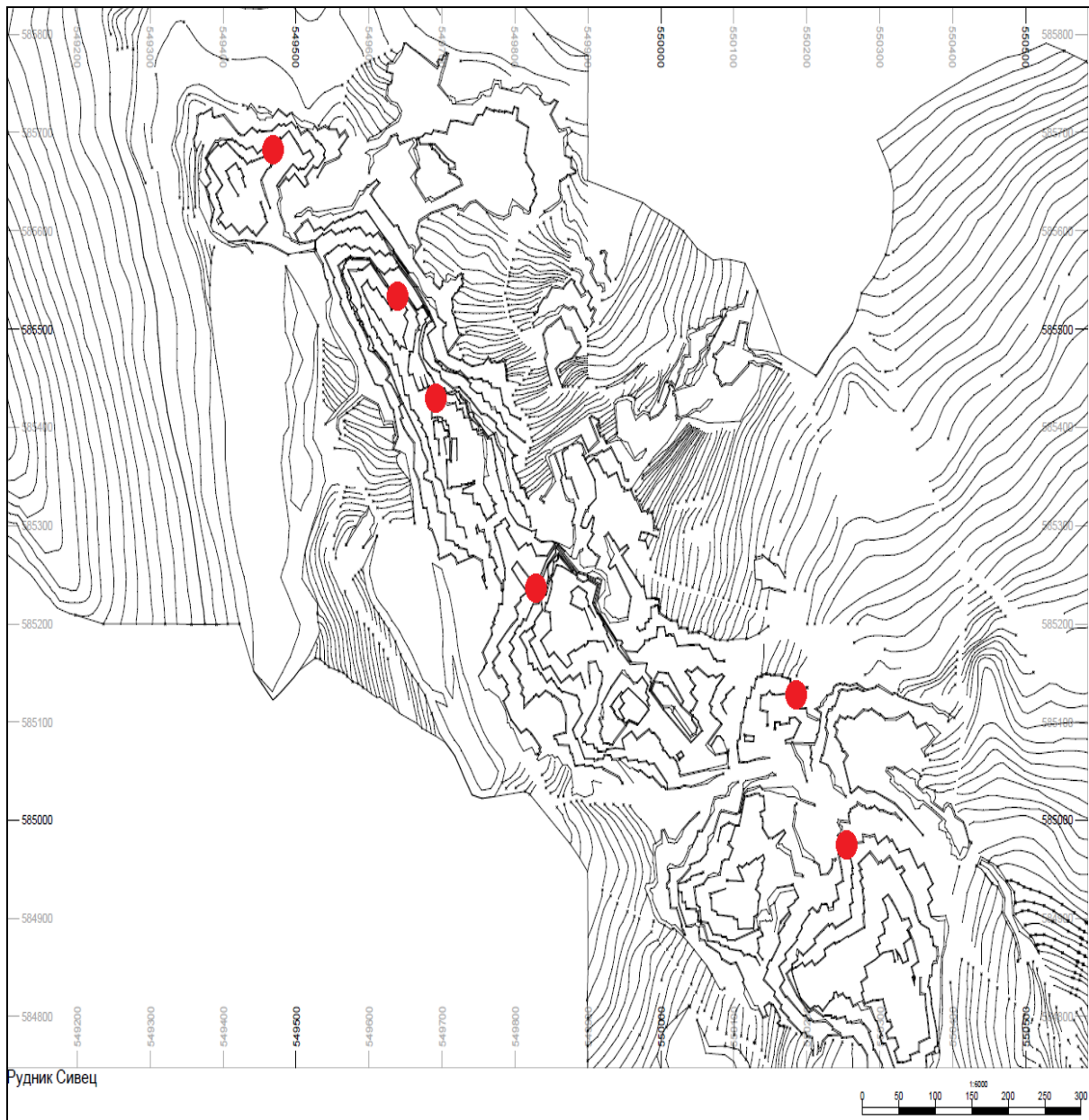
Елементи/elements	%
CaO	31.08
MgO	21.30
SiO ₂	0.40
FeO	-
Fe ₂ O ₃	0.14
Al ₂ O ₃	-
CO ₂	47.66
H ₂ O-110°	0.28
Вкупно/in all	100.86
CaCO ₃	55.47
MgCO ₃	44.50

Според испитувањата на порозноста спаѓа во групата на слабо порозни карпи при што неговата порозност изнесува 1%.

Поаѓајќи од основната дејност на рудникот, добивањето на мермерните блокови како на пазарите во светот, така и за потребите во нашата земја, може да се каже дека блокови се добиваат само од компактни масивни мермери со потполно бела боја кои се вбројуваат во прва класа, банковитите плочести мермерни маси со местимични примеси на калцит во вид на пеги или ленти се издвојуваат како мермери од втора класа. Освен овие видови на мермери се јавуваат и партии кај кои тектонските процеси се повеќе изразени и мермерите од овие зони се вбројуваат како мермери од трета класа но и како такви се користат во индустријата.

8.8.5. Геохемиски карактеристики на мермерите

За проучување на геохемиските карактеристики на мермерите од наоѓалиштето за бел мермер “Сивец” беа извршени геохемиски анализи кои дадоа резултат за дистрибуцијата на најразличните придружни елементи. За изведување на овие геохемиски анализи беше изведен теренски дел од кој се зедао примероци од различни делови и етажи од работилишта низ наоѓалиштето “Сивец” (сл.31).



Слика 31. Карта со топографска основа на наоѓалиштето “СИВЕЦ” со места од каде се земени пробите за геохемиски испитувања $R=1:7500$.

Figure 31. Map with topographic base of the mine "SIVEC" with places from where are taken facts for geochemical reassessments $R = 1:7500$.

За геохемиските анализи беа земени 6 проби од сите работилишта во рудник “Сивец” и тоа: пробата N20 е земена од работилиште број 1 на 2 етажа, пробата N21 е земена од работилиште број 2 на 1 етажа, пробата N22 е земена од работилиште број 5 на 2 етажа, пробата N23 е земена од работилиште број 8 на 6 теажа, пробата N24 е земена од работилиштр број 6-стара на 7 етажа и пробата N25 е земена од работилиште број 6-стара на 3 етажа, односно од

истите места од каде беа земени и пробите за извршената рендгено-структурна анализа.

Примероците беа испитувани со помош на ICP и ICP-MS и тоа со групите 1DX, 4A и 4B.

Од добиените резултати јасно се гледа дека станува збор за примероци со зголемени содржини на CaO и MgO со однос на Ca:Mg=3:2 и зголемена содржина на Sr, и вредности на концентрации на елементите од редот на Ni (0.4÷1,3 ppm Ni), V (0.4÷1,3 ppm V), As (0.4÷1,3 ppm As), Au (0.4÷1,3 ppm Au) и Zr (0.4÷1,3 ppm), иако се во опсег на вообичаените, односно, нормални за ваков вид карпи (Brownlow, 1996), сепак даваат геохемиски информации за одредени процеси при еволуцијата на системот во кој се наоѓаат.

Зголемените содржини на стронциум во голема мера зависат од составот на морската вода и е во врска со ослободувањето на солена вода за време на таложењето (cf. Peters and Wickham, 1995), но зголемени содржини на стронциум може да настанат и за време на метеморфизмот кога доаѓало до виткање или туркање на еден хоризонт во друг, или при многу брза седиментација, како што е случајот со мермерите на островот Андрос на појасот Кикладис во Грција.

Исто така карпите и од овој простор поради тектонските движења се наоѓаат во инверзна (превртена) положба, така што карпите од мешаната серија лежат врз доломитските мермери.

Доломитските мермери од наоѓалиштето “Сивец” се наоѓаат во подината на оваа моноклинала и се сместени на нејзиното крајно северозападно крило. Како резултат на таквата положба мермерите имаат претрпено големи тектонски нарушувања. Од својата југозападна страна т.е. подината на мермерите ја сочинуваат гнајсевите и микашистите, додека на североисток во повлатата се гнајсевите.

Стронциумот како елемент претставува и природен избелувач, што можеби допринесол до избелување на мермерот за добивање на оваа денешна бела боја, бидејќи повеќето од белите мермери во својот состав имаат зголемена содржина на стронциум (Hymettos, Paros, Paros-Lychnites, Naxos, Thasos, Pentilikon (Грција), Carrara (Италија), Aphrodisias, Marmara (Турција), Viana do Alentejo, Vilaviosa (Португалија) и Las Cabrerias, Los Covachos, Macael (Шпанија) (Zoeldfoeldi and Szekely, 2008).

Добиените резултати за секоја проба посебно се дадени во следната табела бр. 3.

Табела бр.3. Геохемиски анализи на земените проби од рудник “СИВЕЦ”

Table No. 3. Geochemical analysis of samples taken from the mine “SIVEC”

Method	Analyte	Unit	MDL	N-20	N-21	N-22	N-23	N-24	N-25
4A-4B	SiO2	%	0.01	0.09	0.05	<0.01	0.03	0.01	0.02
4A-4B	Al2O3	%	0.01	0.01	0.03	<0.01	0.01	0.01	<0.01
4A-4B	Fe2O3	%	0.01	<0.04	0.07	0.06	<0.04	<0.04	<0.04
4A-4B	MgO	%	0.01	22.33	20.26	22.13	21.92	21.56	22.55
4A-4B	CaO	%	0.01	31.95	33.70	31.74	30.65	31.43	32.10
4A-4B	Na2O	%	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.04
4A-4B	K2O	%	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
4A-4B	TiO2	%	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
4A-4B	P2O5	%	0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.03	0.01
4A-4B	MnO	%	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
4A-4B	Cr2O3	%	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
4A-4B	Ni	ppm	20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
4A-4B	Sc	ppm	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4A-4B	LOI	%	-5.1	45.2	45.5	45.7	47.0	46.5	44.9
4A-4B	Sum	%	0.01	99.62	99.62	99.59	99.64	99.62	99.60
4A-4B	Ba	ppm	1	<1	2	<1	<1	1	<1
4A-4B	Be	ppm	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4A-4B	Co	ppm	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
4A-4B	Cs	ppm	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
4A-4B	Ga	ppm	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.8	<0.5
4A-4B	Hf	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.2
4A-4B	Nb	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
4A-4B	Rb	ppm	0.1	0.6	0.3	<0.1	<0.1	0.2	0.3
4A-4B	Sn	ppm	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4A-4B	Sr	ppm	0.5	43.2	101.5	42.3	45.9	37.0	43.0
4A-4B	Ta	ppm	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
4A-4B	Th	ppm	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
4A-4B	U	ppm	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	<0.1
4A-4B	V	ppm	8	74	29	<8	<8	46	32
4A-4B	W	ppm	0.5	2.5	<0.5	<0.5	1.3	<0.5	<0.5
4A-4B	Zr	ppm	0.1	3.3	2.4	1.4	0.8	1.7	2.2
4A-4B	Y	ppm	0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1
4A-4B	La	ppm	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1	0.5	0.2
4A-4B	Ce	ppm	0.1	0.3	0.2	<0.1	0.2	0.1	0.2
4A-4B	Pr	ppm	0.02	0.06	0.03	<0.02	0.02	0.03	0.03
4A-4B	Nd	ppm	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
4A-4B	Sm	ppm	0.05	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
4A-4B	Eu	ppm	0.02	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
4A-4B	Gd	ppm	0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	0.11	<0.05
4A-4B	Tb	ppm	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01
4A-4B	Dy	ppm	0.05	0.17	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
4A-4B	Ho	ppm	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	<0.02
4A-4B	Er	ppm	0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.06	0.05
4A-4B	Tm	ppm	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
4A-4B	Yb	ppm	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
4A-4B	Lu	ppm	0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
2A Leco	TOT/C	%	0.02	12.64	12.31	12.18	12.61	12.99	12.86
2A Leco	TOT/S	%	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
1DX	Mo	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.6	0.8
1DX	Cu	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1DX	Pb	ppm	0.1	0.2	0.2	0.2	<0.1	0.1	0.3
1DX	Zn	ppm	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1DX	Ni	ppm	0.1	1.0	0.4	1.0	0.9	1.3	1.3
1DX	As	ppm	0.5	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3
1DX	Cd	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1DX	Sb	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1DX	Bi	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1DX	Ag	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1DX	Au	ppb	0.5	1.1	1.8	0.6	0.8	1.4	0.9
1DX	Hg	ppm	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
1DX	Tl	ppm	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1DX	Se	ppm	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Така на пример, беа пресметани корелационите фактори кои ги дадоа елементарните парови со корелативни меѓусебно зависности. Арсенот покажа корелативни зависности со SiO_2 (0.65), CaO (0.711), Rb (0.784), Zr (0.840), Ce (0.727), Pb (0.728), златото со Al_2O_3 (0.783), CaO (0.694), P_2O_5 (0.709), Ba (0.783), Sr (0.724), U (0.950), Sm (0.783), никелот со MgO (0.780), Na_2O (0.741), Er (0.720), Mo (0.681), ванадиумот со SiO_2 (0.685), Cs (0.807), Rb (0.902), и цирконот со SiO_2 (0.769), Cs (0.752), Rb (0.956) и V (0.854). Имено, пресметаните корелациони фактори покрај директните бројни вредности укажуваат и на фактот дека во случајот на Au , As , Zr , позитивните корелации со SiO_2 , Fe_2O и Al_2O_3 и негативни со MgO зборуваат дека супституцијата на Mg од Fe во доломитскиот мермер се одвивала по рудното одлагање и дека доломитизацијата најверојатно се одвивала пред главната фаза на рудното формирање на Au , As , и Zr (Akçay et al., 2003). Што се однесува пак до ванадиумот и никелот, тие покажуваат позитивна корелативност со MgO и негативна корелативност со SiO_2 , Fe_2O и Al_2O_3 , што од друга страна зборува дека доломитизацијата следела по одлагањето на главните концентрации на овие елементи (Akçay et al., 2003).

8.8.6. Проучување на изотопите

Примената на односите на стабилните изотопи ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, D/H , $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) во карактеризација, интерпретација и истражувањето на рудните наоѓалишта е еден од последните напредоци на полето на економската геологија. Како што истакнал Ohmoto (1986), изотопните податоци сами за себе не обезбедуваат одговор на било кој геолошки проблем, бидејќи сличните изотопни карактеристики во рудните наоѓалишта можат да бидат создадени во различни процеси, како и тоа дека ист процес во различни услови може да продуцира различни изотопни својства. Сепак, како и да е, изотопните податоци во спрега со релевантни геолошки, минеролошки и геохемиски податоци, можат да обезбедат информации за неколку аспекти на рудната генеза: температура на формирање на рудните и јаловинските минерали (геотермометрија на стабилни изотопи); потекло и еволуција на рудоносните флуиди; карактеристики на рудоносните флуиди, како што се $f\text{O}_2$, pH , односот

сулфат/сулфиде, односот $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ и др.; извори на рудните конституенти, особено на сулфурот и јаглеродот, како и механизмот на преципитација на рудите.

Некои изотопи се посоодветни од други за интерпретација на еден или повеќе аспекти на рудната генеза набројани погоре. Така на пример, изотопите на кислородот и водородот се посебно соодветни за обезбедување информации за изворот на хидротермалните флуиди и нивната интеракција во карпите, додека изотопите на јаглеродот ги одредуваат карактеристиките на рудоносните флуиди и механизмите на рудна преципитација. Имајќи предвид дека варијациите на односите на стабилните изотопи во природните материјали се предизвикани од различното однесување на изотопите на еден ист елемент заради разликата во атомските маси (пр. ^{18}O наспроти ^{16}O), изотопните односи можат да бидат измерени многу попрецизно и многу полесно отколку нивната апсолутна застапеност, па затоа застапеноста на стабилните изотопи и нивните варијации се изразуваат во промили, релативни во однос на соодветен калибрационен стандард со релативна вредност на разликата, δ , дефинирана како:

$$\delta = \left(\frac{R_{\text{примерок}} - R_{\text{стандард}}}{R_{\text{стандард}}} \right) \times 10^3$$

каде што R е односот на тешкиот во однос на лесниот изотоп (пр. $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, D/H , $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ или $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$). Позитивна вредност на δ значи збогатување на потешкиот изотоп во примерокот во однос на стандардот, додека негативната вредност значи осиромашување на потешкиот изотоп во примерокот.

Различни работни стандарди се во употреба во различни лаборатории за мерење на δ вредностите, но заради постигнување на интерлабораториска компатибилност на резултатите, δ вредностите се изразуваат во однос на интернационално прифатени стандарди. Стандард кој се користи за $\delta^{18}\text{O}$ и δD вредностите е таканаречен SMOW (Standard Mean Ocean Water - Средна вредност за океанската вода), кој бил дефиниран од Craig (1961) во

Националното биро за стандарди (САД), во однос на референтната вода, проба PDB, како што следи:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = 1.03091 * \delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} + 30.91 \text{ ‰}$$

Универзално применуван референтен стандард за $\delta^{13}\text{C}$ вредностите е Чикаго PDB стандардот (Белемнит од Кредната Peedee Формација од Јужна Каролина), кој своевремено бил лабораториски работен стандард употребуван на Универзитетот во Чикаго во периодот кога била развиена палеотемпературната скала според кислородниот изотоп. Поделбата на изотопите на еден елемент помеѓу две супстанции кои постојат една од друга а која резултира со различни изотопни односи во двете супстанции се нарекува *изотопна фракционација*. Изотопната фракционација се јавува бидејќи одредени термодинамички и кинетички својства на молекулите зависат од масите на атомите од кои се тие составени. Од статистичка механика може да биде покажано дека помеѓу коегзистентни молекули, потешкиот изотоп главно се двои кон оној со кој може да формира посилни врски.

Изотопи на јаглеродот

Јаглеродот има два стабилни изотопи, чија застапеност во природата е дадена како што следи: $^{12}\text{C} = 98.89\%$ и $^{13}\text{C} = 1.11\%$. Примените на изотопниот состав на јаглеродот во јаглеродните минерали во проучувањето на хидротермалните наоѓалишта во принцип се исти како оние кај изотопите на сулфурот (Ohmoto 1972, Ohmoto&Rye 1979, Ohmoto 1986). Од двата најчести јаглеродни минерални конституенти, графит и карбонати, графитот е многу редок (па дури и отсуствува) во голем број наоѓалишта, но карбонатите се чести и ја претставуваат главната цел за проучување на јаглеродните изотопи.

Бидејќи фракционација на изотопите на јаглеродот во природата се јавува како последица на органските и неорганските процеси (како што е случај и кај изотопите на сулфурот), соодветна оценка на изотопниот јаглероден состав на едно рудно наоѓалиште бара земање предвид на неколку променливи (T , $m_{\Sigma\text{C}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{C}}$, pH , $f\text{O}_2$) како и геолошката градба.

Неорганската преципитација на карбонатите од хидротермалните флуиди, вклучува реакција со оксидирани карбонатни форми (CO_2 , HCO_3^- , H_2CO_3 , и CO_3^{2-}) во флуидот. Оксидираните карбонатни форми во

хидротермалниот флуид можат да потекнуваат од: (а) магматски извор, (б) оксидација на редуцираните карбонатни форми во карпите (органиски компоненти во седиментните карпи, графит во магматските и метаморфните карпи), и (в) изложување на седиментните карбонати. Аналоги на ситуацијата на изотопите на сулфурот, вредностите $\delta^{13}\text{C}$ на преципитираните карбонатни материјали зависат од : (а) температурата, (б) $\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{C}}$, кој варира во зависност од изворот на флуидот и може да има негативни вредности, (в) односот на разните карбонатни видови, поради големите изотопни фракционии помеѓу оксидираните и редуцираните форми, односно помеѓу CO_2 и CH_4 кои се доминантни оксидирани и редуцирани форми во хидротермалните флуиди, (г) други геохемиски параметри како што се температурата, рН и $f\text{O}_2$, кои го одредуваат количеството на разновидни карбонатни видови во флуидот со одреден $\delta^{13}\text{C}$. Тие покажале дека широк опсег $\delta^{13}\text{C}$ на вредности не мора да посочуваат на бактериоген јаглерод. Таквиот опсег на вредности може да биде последица на варијации во рН и $f\text{O}_2$ на хидротермалните флуиди за време на одлагањето на минерализацијата. Податоци од современите геотермални системи сугерираат дека рамнотежата на јаглеродните изотопи помеѓу CO_2 и CH_4 не се постигнуваат во хидротермалните флуиди. Така, променливоста на $\delta^{13}\text{C}$ на флуидите и минералните видови на нискотемпературните наоѓалишта ($T < 250^\circ\text{C}$?) најверојатно е последица на промените во изворот на јаглеродот (Ohmoto 1986). Овој тренд е реален, бидејќи вредностите на $\delta^{13}\text{C}$ за хидротермалните карбонати се “смрзнати” како што кристализираат и не се променети со процесите на измена со покасните хидротермални флуиди (Rye and Ohmoto 1974). Изворот на јаглеродот во пораните генерации на карбонатите во овие наоѓалишта е тежок за одредба бидејќи одредените $\delta^{13}\text{C}$ вредности (повеќето помеѓу -5 до 10‰) може да бидат создадени од флуиди од различни извори. Други фактори кои можат да го објаснат зголемувањето на $\delta^{13}\text{C}$ се: (а) зголемување на односот $\text{CH}_4 : \text{CO}_2$ во флуидот, како доказ на застапеноста на органска материја (пр., Pine Point) и (б) зголемување на $\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{C}}$ во флуидот како резултат од CO_2 принесен со растворање и декарбонификација на варовниците низ кои минувал флуидот.

Изотопи на кислородот

Постојат три стабилни изотопи на кислородот, чија застапеност во природата е дадена како што следи: $^{16}\text{O}=99.763\%$, $^{17}\text{O}=0.0375\%$ и $^{18}\text{O}=0.1995\%$. Во природата, вредностите на $\delta^{18}\text{O}$ може да варираат во широк опсег од 100 ‰, а скоро половина од тој опсег се јавува во метеорските води, додека хондритските метеорити имаат многу ограничен опсег на $\delta^{18}\text{O}$ вредности, додека мантијата има $\delta^{18}\text{O}$ вредности 5.7 ± 0.3 ‰ коишто најверојатно се константни со текот на времето (Taylor, 1980). Погolem дел од гранитите, метаморфните карпи и седиментите се збогатени со $\delta^{18}\text{O}$ во однос на вредностите присутни во мантијата, додека морската вода и метеорските води се осиромашени, на тој начин формирајќи комплементарни $\delta^{18}\text{O}$ резервоари.

Бидејќи водата е доминантна компонента во сите хидротермални флуиди, изотопната фракционација на кислородот е од непроценливо значење за многу геолошки системи од интерес. Интензитетот на промена, кој главно е кон поголеми $\delta^{18}\text{O}$ вредности како резултат на водата која се обидува да ја задржи изотопната рамнотежа на кислородот со силикатите и карбонатите богати со ^{18}O е одредена од (Sheppard 1986): (а) однос на количеството кислород во изменливите минерали во однос на оној во флуидот, (б) интензитетот на факторот на фракционација минерал- H_2O (при што во предвид е земена температурата на изотопната измена), и (в) почетен изотопен состав на минералните фази. Заради тоа односот D/H во хидротермалните флуиди е подобар индикатор за изворот на флуидот, додека односот $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ може да обезбеди информација за еволуцијата. Најдобро утврдени се изотопните состави на современите метеорски води и океанските води. Изотопниот состав на кислородот во современите океански води е прилично вооедначен ($\delta^{18}\text{O}=+0.5$ до -1.0 ‰) со средни вредности многу блиски до дефинираните вредности на SMOW стандардот ($\delta^{18}\text{O}=0$ ‰). Резултатот на изотопната фракционација за време на испарувањето на водата од океаните и субсеквентната кондензација на пареата во облаците е дека свежата вода е осиромашена со ^{18}O во споредба со морската вода. Најголем дел од вулканските и плутонските магматски карпи имаат вооедначени $\delta^{18}\text{O}$ вредности ($+5.5$ до $+10$ ‰). Анализите на водите од активните геотермални системи низ целиот свет покажале дека тие води, главно се дериват на метеорските води.

Скоро во сите случаи топлата вода или пареата покажуваат својства на промена кон повисоки $\delta^{18}\text{O}$ вредности како резултат на изотопна измена со силикатните и карбонатните минерали од околните карпи.

Комбинираните проучувања на јаглеродните и кислородните изотопи се многу корисна алатка во одредбата на потеклото на различните карбонати. Рекристализацијата на карбонатните минерали во присуство на јаглеродоносни флуиди тежнее да ги измени нивните $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ односи по пат на измена со флуидите. Ова довело до изотопни проучувања на карбонатните карпи во кои се сместени хидротермалните рудни наоѓалишта со надеж дека варијациите на $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ во тие карпи би биле корисни истражни водичи. Досегашните резултати не се охрабрувачки. Многу од таквите наоѓалишта покажуваат константно намалување на $\delta^{18}\text{O}$ за неколку промили во зоната на премин од неалтерисани карпи кон зоната на руда (Misra, 2000), но ореолот на $\delta^{18}\text{O}$ е премногу мал за одредба на рудните тела. Во идеален случај вредностите $\delta^{13}\text{C}$ би требало да покажуваат систематска врска со $\delta^{18}\text{O}$ вредностите но честопати тоа не е случај, сугерирајќи при тоа, дека факторите кои го контролираат $\delta^{13}\text{C}$ вредностите во рекристализираните карбонати се многу променливи во зависност од просторот и времето во споредба со оние кои ги контролираат $\delta^{18}\text{O}$ вредностите. Ова ја ограничува променливоста на изотопите на јаглеродот како истражен водич во проучувањето на хидротермалните наоѓалишта сместени во карбонатните карпи (Fritz 1976).

Изотопни мерења во наоѓалиштето “Сивец”

Изотопните анализи на јаглерод и кислород од примероци на калцити и мермери (доломитски) од наоѓалиштето на доломитски мермер “Сивец”, во соработка со Наравнословенотехничкиот факултет при Универзитетот во Љубљана, беа направени при познатиот Институт Јожеф Штефан во Љубљана, Република Словенија. Јаглеродниот диоксид (CO_2) беше екстрахиран од калцитот (при 25°C) и мермерот (при 50°C) со користење на 100% фосфорна киселина (McCrea 1950). Јаглеродот во графитните сепарати е трансформиран во CO_2 со загревање заедно со бакарен оксид при температура од 800°C . Јаглеродниот диоксид добиен од калцитот и мермерот е анализиран со користење на *Europa 20-20 Stable Isotope Analyser* со *ANCA TG* модул за

сепарација на гасови во траги. Изотопниот состав на јаглеродот е претставен во вид на релативна вредност δ , дефиниран како:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{simple}} - ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{standard}}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{standard}}} \right] \cdot 1000 [‰]$$

и изразен наспроти стандардот $V\text{-PDB}$ (*Vienna Pee Dee Belemnite*) како што е наведено во *Coplen (1996)*. Работниот стандард, природниот CO_2 е калибриран во односот на CO_2 добиен од *NBS19* стандардот при 258°C .

Прецизноста на $\delta^{13}\text{C}$ анализата е со прецизност поголема од $\pm 0.2‰$.

Анализите на изотопите на кислородот се направени на претходно фино сомелени примероци од калцити и мермери, каде кислородот е екстрахиран со употреба на BrF_5 , како што е опишано во *Clayton & Mayeda (1963)*, и квантитативно е претворен во CO_2 над вжештен графит (*Beyth et al. 1997*). Паралелната анализа на стандардот *NIST-28* (поранешен *NBS-28*) даде вредности од $9.52‰$, додека трите анализи на интерниот кварцен стандард дадоа просечна вредност од $11.4‰$, што е во корелација со $9.6‰$ за *NIST-28*.

Во рамките на овие проучувања изотопниот состав на кислородот е даден како атомски однос, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ означен со R , и употреба на променливата δ , дефинирана како:

$$\delta_{\text{simple}} = \left[\frac{(R_{\text{simple}} - R_{\text{standard}})}{R_{\text{standard}}} \right] \cdot 1000$$

каде што $R_{\text{standard}} = R_{\text{PDB}} = 0.0020672 \pm 0.00000045$, како што се дефинирани од Националниот Институт за Стандарди и Технологии (*NIST*).

Од претходната равенка пресметан е:

$$R_{\text{simple}} = R_{\text{standard}} \left[1 + \frac{\delta_{\text{simple}}}{1000} \right]$$

кој може да биде употребен за пресметка на R од δ . Под претпоставка дека се работи за нискотемпературни минерали, изотопниот состав е сведен на

стандардот *PDB*, но сепак заради поголема прегледност и соодветност за интерпретацијата, вредностите за овој елемент се сведени и на пошироко применетиот стандард *SMOW*, односно *V-SMOW* (0.0020052 ± 0.00000045), а со примена на математичката зависност:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = 1.03091 \cdot \delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} + 30.91 \text{ ‰}$$

На сличен начин изотопниот состав на јаглеродот во калцитите и мермерите е изразен како атомски однос $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, со употреба на погорната равенка со $R_{\text{standard}} = R_{\text{PDB-1}} = 0.0112372 \pm 0.0000029$, како што е посочено од *Craig (1957)*, *Hoefs (1997)* и *NIST*.

Добиените аналитички резултати за примероците на мермерните сепарати се дадени во табела бр. 4.

Табела бр, 4. Стабилни изотопи на јаглерод и кислород во мермерите од наоѓалиштето “Сивец”, Прилеп.

Table No. 4. Stable isotopes of carbon and oxygen in the marbles of the mine "Sivec", Prilep.

Проба	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
N20	-1.67	-2.67	+27.2575
N21	-1.58	+2.06	+32.1337
N22	-0.57	+2.87	+32.9687
N23	-0.23	+2.75	+32.8450
N24	-0.87	+2.70	+32.7935
N25	-0.91	+2.65	+32.7419

Како што може да се види од табелата, изотопниот состав на јаглеродот во мермерите се движи во опсег $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ од -0.23 до -1.67‰, додека изотопниот состав на кислородот во истите се движи во опсег $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ од -2.67 до +2.87‰, односно, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ од +27.2575 до +32.9687‰.

Добиените аналитички резултати за примероците на калцитски сепарати се дадени во табела бр. 5.

Табела бр. 5. Стабилни изотопи на јаглерод и кислород во калцитите од наоѓалиштето “Сивец”, Прилеп.

Table No. 5. Stable isotopes of carbon and oxygen in calcite by mine "Sivec", Prilep.

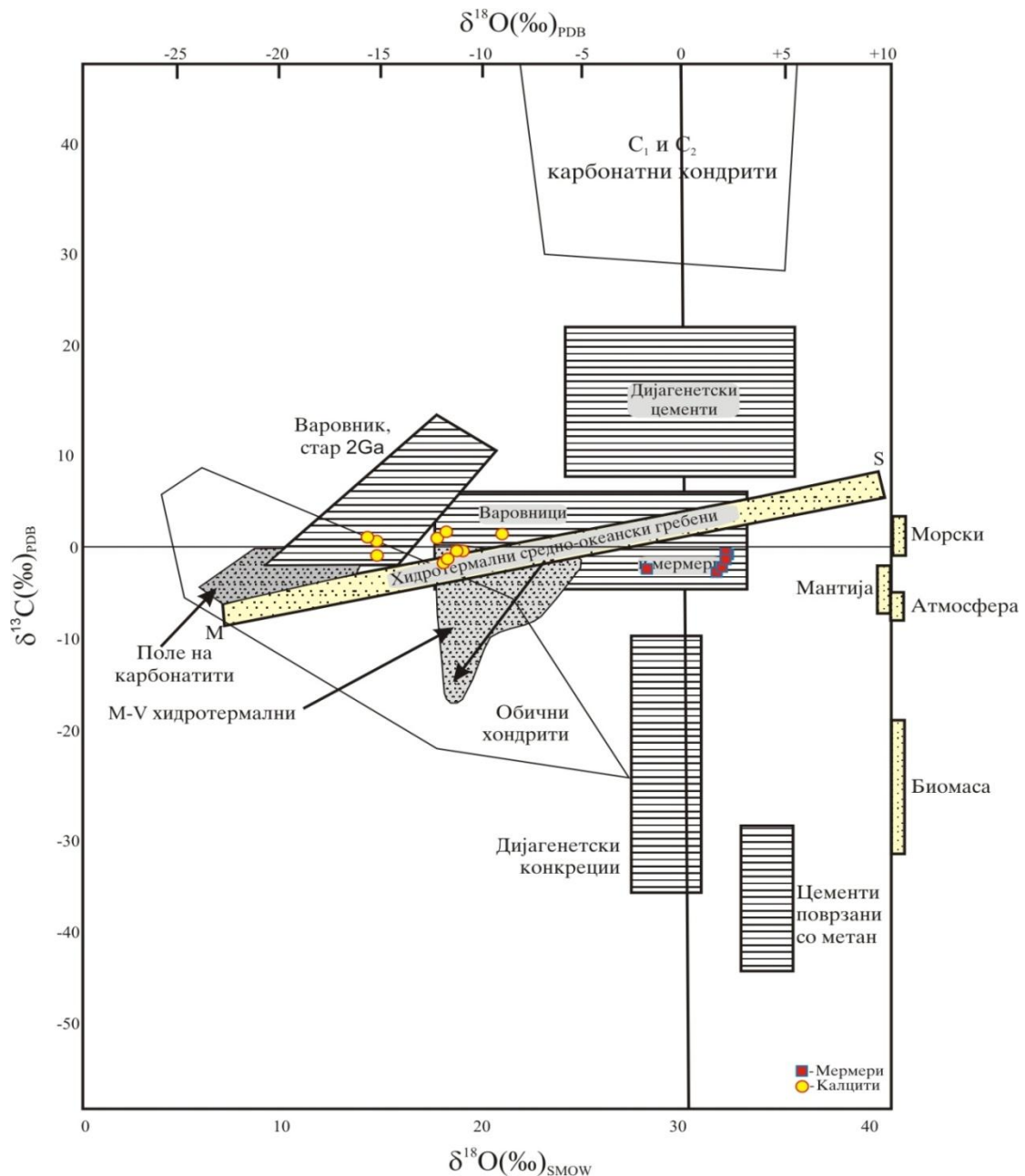
Проба	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
PRKC1	-0.43	-13.34	16.25766
PRKC2	-0.02	-10.03	19.66997
PRKC3	-1.08	-11.06	18.60814
PRKC4	1.06	-6.77	23.03074
PRKC5	0.29	-14.07	15.5051
PRKC6	1.25	-11.44	18.21639
PRKC7	0.52	-12.52	17.10301
PRKC8	-1.34	-11.61	18.04113
PRKC9	0.15	-12.98	16.62879
PRKC10	-0.36	-10.51	19.17514

Од табеларниот приказ се гледа дека, изотопниот состав на јаглеродот во калцитите се движи во опсег $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ од -1.34 до 1.25‰, додека изотопниот состав на кислородот во калцитите се движи во опсег $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ од -14.67 до -6.77‰, односно, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ од +15.51 до +23.03‰. Заради поилустративен приказ и попрактична интерпретација на добиените резултати на стабилните изотопи на јаглерод и кислород во калцитите и мермерите од наоѓалиштето “Сивец”, истите се претставени на дијаграмот даден на сл. 32.

Изотопниот состав на јаглеродот, во калцитите и мермерите (скоро чисто доломитски), овозможија и пресметка на евентуалната температура на формирање. Имено пресметките базирани врз средните вредности за $\delta^{13}\text{C}$ во калцитите и $\delta^{13}\text{C}$ во мермерите, со примена на изотопниот термометар на Sheppard and Schwartz (1970):

$$1000 \ln \alpha = 0.18 (10^6/T^2) + 0.17$$

дадоа вредности од околу 270°C.



Слика 32. Дијаграм на $\delta^{18}\text{O}$ наспроти $\delta^{13}\text{C}$ на кој е прикажан изотопниот состав на карбонати од различни средини.

Figure. 32. Diagram of $\delta^{18}\text{O}$ in contrary of $\delta^{13}\text{C}$ in which is shown isotopic juncture of carbonats from different enviroments.

Заради поголема прегледност и разбирливост $\delta^{18}\text{O}$ е даден по двата референтни стандарди, *SMOW* и *PDB*. Ознаката (*M*) се однесува на јаглеродот со потекло од мантијата во делот на средноокеанските гребени, а ознаката (*S*) се однесува на јаглерод со морско потекло, додека пак (*M-V* хидротермални) е во директна поврзаност со хидротермалните калцити од Мисисипи Вали типот на наоѓалиштата (*Brownlow, 1996*).

Важни фактори кои влијаат на изотопната варијабилност на мермерите се под влијание на геолошките процеси кои се јавувале за време на формирањето врз варовничкиот протолит. Имено, варовниците имаат широк опсег на изотопни вредности, а како последица на нивните различни примарни

и секундарни геолошки истории. Таа разновидност се јавува како последица на голем број комплексни и меѓусебно поврзани фактори како што се температурата, изотопниот состав на водата од кои се формирале разновидните карбонатни компоненти, карактерот и достапноста на различните извори на јаглерод и слично.

Калцитот во мермерите може да го одржи изотопниот состав на кислородот, но ретко можат да го одржат во рамнотежа изотопниот состав на јаглеродот, како што е потенцирано за зоната Ивреа во Италија (*Baker, 1990*). Осиромашувањето (или евентуално збогатувањето) со ^{18}O и ^{13}C , главно, може да се појасни со интеракцијата на протолитот со флуидите за време на проградниот метаморфизам.

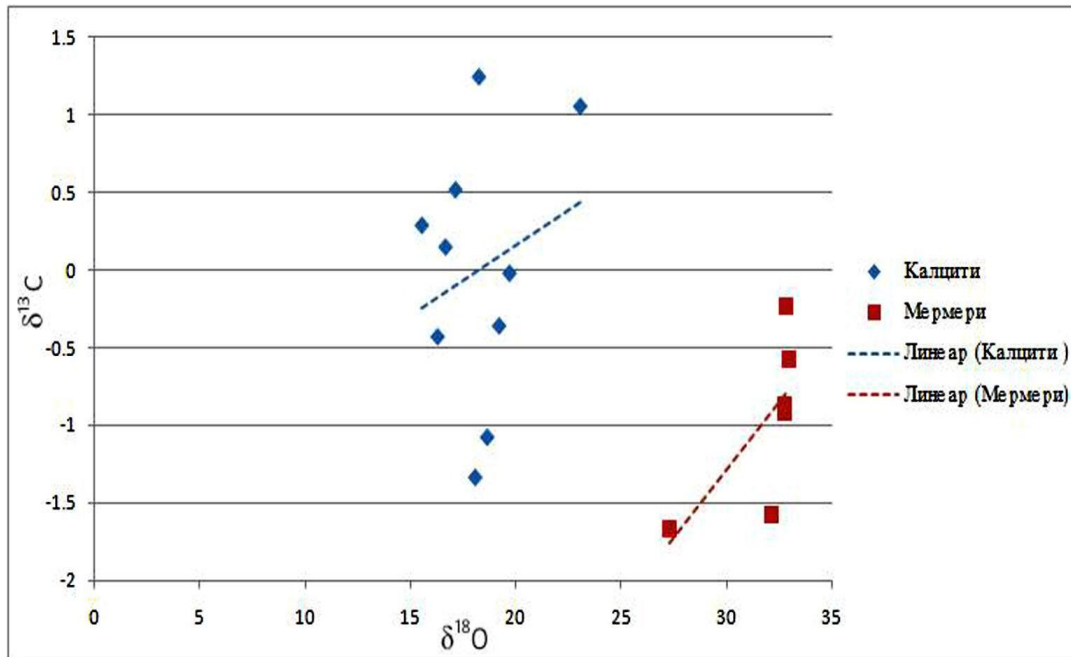
Добиените високи податоци за изотопниот состав на кислородот, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ во опсег од 27.25 до 32.97‰ (онаа од 27.25 е исклучок, инаку опсегот е 32.137 до 32.968) и $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ во опсег од -0.23 до -1.67‰, зборува за униформен состав кој пак од своја страна укажува на метаморфизам во затворен систем, а нешто слично како начинот на формирање на доломитските мермери во Сима Уза во Италија (*Gerdes et al., 1999*).

Постигнувањето на рамнотежна изотопна размена најверојатно било контролирано од страна на динамичката рекристализација, која се јавила за време на максималниот метаморфизам (*Kretz, 2001*).

За разлика од доломитските мермери, кај калцитите вредностите се релативно ниски $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ (15.51 ÷ 23.03‰) и $\delta^{13}\text{C}$ (1.25 ÷ -1.34‰) и ја отсликуваат најверојатната подоцнежна инфилтрација на флуиди по тектонски ослабените средини.

Во прилог на ова оди и слабата позитивна корелација помеѓу $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ во примероците од калцитите која сугерира дека јаглеродот е секундарен, а не примарен како оној во доломитскиот мермер (Сл. 33).

Тие најверојатно се јавиле како последица на реакциите декарбонификација што довело до намалување на вредностите на изотопниот состав на јаглеродот.



Слика. 33. Дијаграм на вредностите $\delta^{13}\text{C}$ наспроти $\delta^{18}\text{O}$ во доломитските мермери и калцитите, со приказ на линиите-трендови на дистрибуција (линеарна)
 Figure. 33. Diagram of the value of $\delta^{13}\text{C}$ in contarray of $\delta^{18}\text{O}$ in dolomite marble and calcite, with a review of lines-trends in the linear distribution.

Како што се гледа и од самиот дијаграм на сл. 33, изотопните разлики помеѓу калцитите и доломитските мермери укажува на изотопна нерамнотежа меѓу нив, кое пак е само логична потврда на претходните констатации.

8. 9. Генеза на наоѓалиштето

Првите податоци за мермерот од овој појас се среќаваат кај Космат во 1924 година, кој стратиграфски оваа серија ја определува како предпалеозојска, при што гнајсевите ги смета за најдолна серија од стратиграфски истата формација со мермерите преку кои лежи мермерната серија со циполини со правец на протегање ЗСЗ - ИЈИ со пад према СИ под агол $40-45^{\circ}$. Се смета дека на долната мермерна маса навлечена е една партија на гнајс инјектиран со гранитски микашисти, преку кои конкордантно се јавува неколку стотина метри долга серија на мермери. Според Мариќ серијата на кристалестите шкрилци започнува со гнејсеви, гранит гнајсеви, преку кои лежат микашисти и завршува со мермерната серија, така што мермерите се сметаат за највисоки членови на серијата, која на теренот непрекинато се

јавува преку Плетвар, на северозапад према Чаве, Црвеница вовлекувајќи се под неогенот кај Небрегово и Присад.

Според најновите претпоставки од страна на Геолошкиот завод од Скопје целата серија се смета за предкамбријска и на терен се издвојуваат два вида карпи од кои долниот го сочинуваат серијата на гнајсеви и микашисти, а горниот комплекс мешаната серија составена од бобичави гнасеви, гнајсифицирани шкрилци-хлоритошисти, циполини и мермери кои неизменично се сменуваат како во хоризонтален така и во вертикален правец, често преминувајќи едни во други.

Подрачјето на кое се наоѓа наоѓалиштето за бел мермер “Сивец” припаѓа на јужните падини на планината Бабуна. Сите копови се отворени во подножјето на врвот Црвеница (1244 м) на надморска висина од 816-950 м (најнискиот коп е на надморска висина од 816 м, а највисокиот коп е на 950 м). Мермерите од наоѓалиштето “Сивец” набљудувани на еден поширок план, пред сè структурно-тектонски, припаѓаат на една голема моноклинала составена од мермерно-гнајсно-микашистни карпи. Како и во целиот масив и на овој простор можат да се издвојат два дела и тоа:

1. долен метаморфен комплекс и
2. горен метаморфен комплекс.

Секој од овие два комплекса се состои од по две серии. Долниот метаморфен комплекс се состои од серија на гнајсеви и микашисти, а во горниот метаморфен комплекс се карпи од т.н. мешана серија и серија на мермери.

Карпите од долниот метаморфен комплекс и карпите од горниот метаморфен комплекс по својот степен на метаморфизам одговараат на метаморфните карпи со висок кристалинитет. Најнискиот член на метаморфниот комплекс е серијата на крупнозрнести гнајсеви. Потоа следи серијата на гранатските микашисти која е втора серија од долниот метаморфен комплекс. Горниот метаморфен комплекс се состои од т.н. мешана серија во базата и серија на мермери која ги изградува најгорните делови од метаморфниот комплекс. На овој простор метаморфните карпи поради тектонските движења се наоѓаат во инверзна (превртена) положба, така што карпите од мешаната серија лежат врз доломитските мермери на Црвеница.

Доломитските мермери од наоѓалиштето “Сивец” се наоѓаат во подината на оваа моноклинала и се сместени на нејзиното крајно северозападно крило. Како резултат на таквата положба мермерите имаат претрпено големи тектонски нарушувања. Од својата југозападна страна т.е. подината на мермерите ја сочинуваат гнајсевите и микашистите, додека на североисток во повлатата се гнајсевите.

Посматрајќи ја тектониката и дејствувањето на силите на ваков поширок простор ни стануваат доста јасни тектонските манифестации кои се појавуваат на просторот на сивечките мермери.

Белите мермери, од кои главно е составено наоѓалиштето за мермер “Сивец”, се ситнозрнести доломитски мермери со уклопци од калцити чие појавување е во вид на друзи (порфиробласти) или во вид на ленти, а има и простори, пред сè во североисточниот дел, каде калцитот е застапен со двата вариетети. Поедини делови од ова наоѓалиште за мермер меѓусебно доста се разликуваат од аспект на компактоста, така што се среќаваат од потполно компактни и масивни па сè до здробени и тектонски пореметени мермери и од чисто доломитски мермери до мермери во одредени делови со сè поголемо присуство на калцит.

Врз основа на појавувањето, слоевитоста, системот на пукнатини и прслини, степенот на компактоста, раздробеноста како и чистотата на мермерот т.е. присуството на калцитот, може да се изврши класификација на мермерите од наоѓалиштето “Сивец” и тоа:

-на првата категорија мермери припаѓаат мермерите кои се многу малку или воопшто не се распаднати, евентуално површинските делови од надворешните атмосферски влијанија да бидат површински карстифицирани, кои се масивно банковити и пред сè без штетни уклопци (се мисли на калцит).

-на втората категорија мермери припаѓаат просторите каде мермерите се појавуваат како банковито плочести со локални уклопци од калцит, а присуството на пукнатинските системи да не е многу застапено и да не бидат на растојание помало од еден метар.

-на третата категорија мермери би припаѓале плочесто шкрилестите мермери во кои пукнатинските системи се појавуваат многу почесто и поблиску на растојание од 10-30 цм и оваа категорија на мермери е неинтересна за експлоатација.

-во четвртата категорија мермери спаѓаат мермерните маси кај кои не се разликуваат слоеви и правци на протегање. Тоа се зони каде се пресекуваат попречни лонгитудинални раседи. Оваа категорија на мермери според досегашните сознанија е карактеристична, бидејќи ги оивичува мермерите од првата и втората категорија, а на некои делови е заедно со третата категорија мермери. Оваа категорија мермери, доколку е застапена во границите на експлоатационите полиња може да се искористи како простор за отворање на припремно-експлоатационите полиња, а инаку воопшто не е интересна за експлоатација.

Мермерите кои се издвоени како прва и втора категорија од кои практично и се добиваат квалитетните комерцијални блокови, се сместени во југозападниот и западниот дел на наоѓалиштето, на просторите каде се врши и сегашната експлоатација. Првата и втората категорија мермери кои се испресечени со мермери од третата и четвртата категорија се протегаат во правец северозапад - југоисток.

Во источниот и североисточниот дел од наоѓалиштето се застапени бели мермери со сè поголемо присуство на калцити чие појавување е во вид на друзи (порфиробласти) и ленти, а во некои простори калцитот е застапен во двата вариетети.

Источниот дел од ова наоѓалиште е покриен со дебел хумусен покривач.

Масивно-банковитите мермери воглавно се бели, сахароидни, ситнозрнести и без видливи примеси на штетни состојки, пред сè на калцит и без изразена слоевитост.

Банковито-плочестите мермери зафаќаат скоро половина од површината на наоѓалиштето "Сивец" и главно се јавуваат како појаси кои наизменично се сменуваат со зоните на масивните мермери. Овие мермери често ги следат и раседни зони чие дејство е силно изразено така што на некои места се создаваат и лимонитски зони. На површина овие мермери се карстифицирани и на прв поглед даваат впечаток дека се работи за мермери со лош квалитет, т.е. мермери неинтересни за експлоатација, но во длабина компактоста на овие мермери се зголемува и претставуваат интересни простори за истражување и експлоатација. Во овие мермери има уклопци од калцит во вид на порфиробласти. Слоевите имаат правец на протегање како целото наоѓалиште, северозапад - југоисток со пад кон североисток под агол од 35-45°.

Што се однесува до компактоста и раздробеноста на мермерите како и тектонските процеси кои се одвивале на овој простор и силите на дејствување како резултат на тектонските процеси, може да се каже следното:

Силите на притисок коишто дејствувале од правец југозапад кон североисток се настанати како резултат на издигањето на гранодиоритскиот масив. Во тие случаи силата на компресија дејствувала насекаде во мермерите од ова наоѓалиште и предизвикала создавање низа системи на пукнатини од кои на овие простори најважни т.е. најизразени се три системи и тоа:

- еден од правците на пукнатинските системи е 50° - 230° кој е паралелен со дејствувањето на силите при издигањето на гранодиоритскиот масив;

- вториот правец на пукнатинските системи е 90° - 270° кој со правецот на првите сили (50° - 230°) затвора агол од околу 40° ;

- третиот правец на пукнатинскиот систем е 150° - 330° кој е попречен на првиот правец т.е. на силите на притисок кои се настанати со процесот на компресија кога дошло до “одморање” на материјалот. Тие пукнатини се познати како “релаксациони пукнатини”.

Разгледувајќи го секој од утврдените правци може да се заклучи дека првиот систем на пукнатини е паралелен со правецот на дејствување на силите при издигањето и, всушност припаѓа на дијагоналните раседи долж кои во ситуација на зголемено присуство на компресијата доаѓало до поместување (лизгање) на мермерите т.е. до спуштање на едни блокови или издигање на едни со други долж раседите.

Пукнатинските системи со правец 90° - 270° се настанати како резултат на дејствувањето на силите на притисок.

Третиот правец на пукнатински системи 150° - 330° се пукнатини кои се настанати по процесот на компресија кога е дојдено до мирување на материјалот и тие пукнатини се релаксациони пукнатини.

Отворените пукнатини ги среќаваме развиени обично во два правци 90° - 270° и 50° - 230° . Првите припаѓаат на правците настанати од дејствувањето на силите на компресија и се познати како “перастии пукнатини” и тие претставуваат постојани придружни појави на раседите. Разликата помеѓу “релаксационите пукнатини” и другите отворени пукнатини на пр. “перастите”, може да се забележат само во длабоките профили на отворените работни чела на поедини наоѓалишта.

Анализирајќи ги структурно-тектонските елементи може да се заклучи дека протегањето на главните тектонски зони се совпаѓа со протегањето на главните раседни системи кои одат во правец Гладно Поле - Небрегово.

Што се однесува до степенот на искористување при експлоатацијата на мермерните маси може да се каже следното:

Истражувањата и експлоатационите работи главно се застапени во југозападниот и западниот дел на масивот. Набљудувајќи ја сегашната состојба на коповите може да се заклучи дека компактните мермерни маси како да пливаат во раздробените зони. Најточни показатели за степенот на искористување се добиваат со анализа на производството на комерцијалните мермерни блокови во однос на вкупните ископани мермерни маси (било за подготвително-истражни работи, било за експлоатација) за секој коп посебно, така што крајните вкупни резултати би го дале коефициентот на искористување за целиот рудник. Искористувањето кај најкомпактните мермерни маси изнесува околу 30 % кое се однесува на првата категорија мермери, а во втората категорија мермери искористувањето е околу 10 %. Во двата случаи не се земени предвид мермерните маси кои ќе треба да се отстранат како капа од површинското распаѓање и здробените тектонски зони кои обично ги оивичуваат компактните мермерни маси. Кога би се земала вкупната маса која се откопува при припремите и експлоатацијата во однос со добиените комерцијални блокови, ќе се добие коефициентот на искористување за целото наоѓалиште, кое во последните години изнесува 7-8 % до 10%.

Од пресекот на добиените резултати од рендгентските анализи може да се сумира во фактот дека во анализираните примероци доминира доломитот со опсег на вредности од 94 до 99.7%, а токму ваквите добиени вредности покажуваат на постоење на интензивна доломитизација (некаде и преку 99% од карбонатната компонента).

Присуството на халкопиритот се должи на зголемените концентрации на сулфур во растворите одговорни за процесите на доломитизација. Важно е да се спомне и дека таквите примеси се непожелни во поглед на квалитетот на доломитот како пазарна суровина.

Токму тука сакам да потенцирам дека утврдениот минеролошки состав не посочува на варовник, односно доломит кој бил рекристализиран под влијание на надворешните влијанија како што се топлина, притисок или

присуство на течни раствори. Фактот дека мермерите се всушност мозаик на разни минерални односи се потврдува и во овој случај, кога главно доломитски и помалку калцитски зрна, честопати се прослоени со други минерали како што се кварц, гранат, халкопирит и др., кои всушност ги претставуваат “нечистотиите” во иницијалниот варовник кои стапиле во реакција за време на метаморфизмот и формирале нови компоненти.

Од добиените геохемиски резултати јасно се гледа дека станува збор за мермер со содржини на CaO и MgO со однос на Ca:Mg=3:2 и зголемена содржина на Sr, како и содржини на V, Zr, As, Ni кои иако се во опсег на вообичаените за ваков вид на карпи сепак даваат геохемиски информации за случувањето на одредени процеси.

Зголемените содржини на стронциум во голема мера зависи од составот на морската вода и е во врска со ослободувањето на солена вода за време на таложењето, но зголемени содржини на стронциум може да настанат и за време на метаморфизмот кога доаѓало до виткање или туркање на еден хоризонт во друг, или при многу брза седиментација како што е случајот со мермерите на островот Андрос на појасот Кикладис во Грција.

Исто така карпите и од овој простор поради тектонските движења се наоѓаат во инверзна (превртена) положба, така што карпите од мешаната серија лежат врз доломитските мермери.

Доломитските мермери од наоѓалиштето “Сивец” се наоѓаат во подината на оваа моноклинала и се сместени на нејзиното крајно северозападно крило. Како резултат на таквата положба мермерите имаат претрпено големи тектонски пореметувања. Од својата југозападна страна т.е. подината на мермерите ја сочинуваат гнајсевите и микашистите, додека на североисток во повлатата се гнајсевите.

Изотопниот состав на јаглеродот, во калцитите и мермерите (скоро чисто доломитски), овозможува и пресметка на евентуалната температура на формирање. Имено пресметките базирани врз средните вредности за $\delta^{13}\text{C}$ во калцитите и $\delta^{13}\text{C}$ во мермерите, со примена на изотопниот термометар на Sheppard and Schwartz (1970):

$$1000 \ln \alpha = 0.18 (10^6/T^2) + 0.17$$

дадоа вредности од околу 270°C.

Важни фактори кои влијаат на изотопната варијабилност на мермерите се под влијание на геолошките процеси кои се јавувале за време на формирањето врз варовничкиот протолит. Имено, варовниците имаат широк опсег на изотопни вредности, а како последица на нивните различни примарни и секундарни геолошки истории. Таа разновидност се јавува како последица на голем број комплексни и меѓусебно поврзани фактори како што се температурата, изотопниот состав на водата од кои се формирале разновидните карбонатни компоненти, карактерот и достапноста на различните извори на јаглерод и слично.

Калцитот во мермерите може да го одржи изотопниот состав на кислородот, но ретко можат да го одржат во рамнотежа изотопниот состав на јаглеродот, како што е потенцирано за зоната Ивреа во Италија (*Baker, 1990*). Осиромашувањето (или евентуално збогатувањето) со ^{18}O и ^{13}C , главно, може да се појасни со интеракцијата на протолитот со флуидите за време на проградниот метаморфизам.

Добиените високи податоци за изотопниот состав на кислородот $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ во опсег од 27.25 до 32.97‰ (онаа од 27.25 е исклучок, инаку опсегот е 32.137 до 32.968) и $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ во опсег од -0.23 до -1.67‰, зборува за униформен состав кој пак од своја страна укажува на метаморфизам во затворен систем, а нешто слично како начинот на формирање на доломитските мермери во Сима Уза во Италија (*Gerdes et al., 1999*).

Постигнувањето на рамнотежна изотопна размена најверојатно било контролирано од страна на динамичката рекристализација, која се јавила за време на максималниот метаморфизам (*Kretz, 2001*).

За разлика од доломитските мермери, кај калцитите вредностите се релативно ниски $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ (15.51 ÷ 23.03‰) и $\delta^{13}\text{C}$ (1.25 ÷ -1.34‰) ја отсликуваат најверојатната подоцнежна инфилтрација на флуиди по тектонски ослабените средини. Во прилог на ова оди и слабата позитивна корелација помеѓу $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ во примероците од калцитите која сугерира дека јаглеродот е секундарен, а не примарен како оној во доломитскиот мермер.

Тие најверојатно се јавиле како последица на реакциите декарбонификација што довело до намалување на вредностите на изотопниот состав на јаглеродот.

Како што кажав и понапред изотопните разлики помеѓу калцитите и доломитските мермери укажува на изотопна нерамнотежа меѓу нив, кое пак е само логична потврда на претходните констатации.

8.10. Компјутерско моделирање и 3D-модели

Во овој труд направено е и компјутерско моделирање при што се користени методи на компјутерска обработка на дел од податоците со почетни основи на табеларна база на податоци. Методата на формирање на дигитална база со 3D-модели, применета на наоѓалиштето “Сивец” е за ограничен број параметри и треба да ги отвори можностите за масовна употреба на компјутерската техника во геологијата и рударството.

Моделирањето на поедини делови од наоѓалиштето и сепаратното набљудување на поедините геолошки профили во трите димензии неспорно доведуваа до насочување и моделирање на перспективните резерви во услови на активна експлоатација со комерцијална димензија. Ваквото моделирање особено има своја непобитна страна во осознавањето на степенот на распуканоста, што е еден од основните услови за комерцијалитетот на финалниот производ.

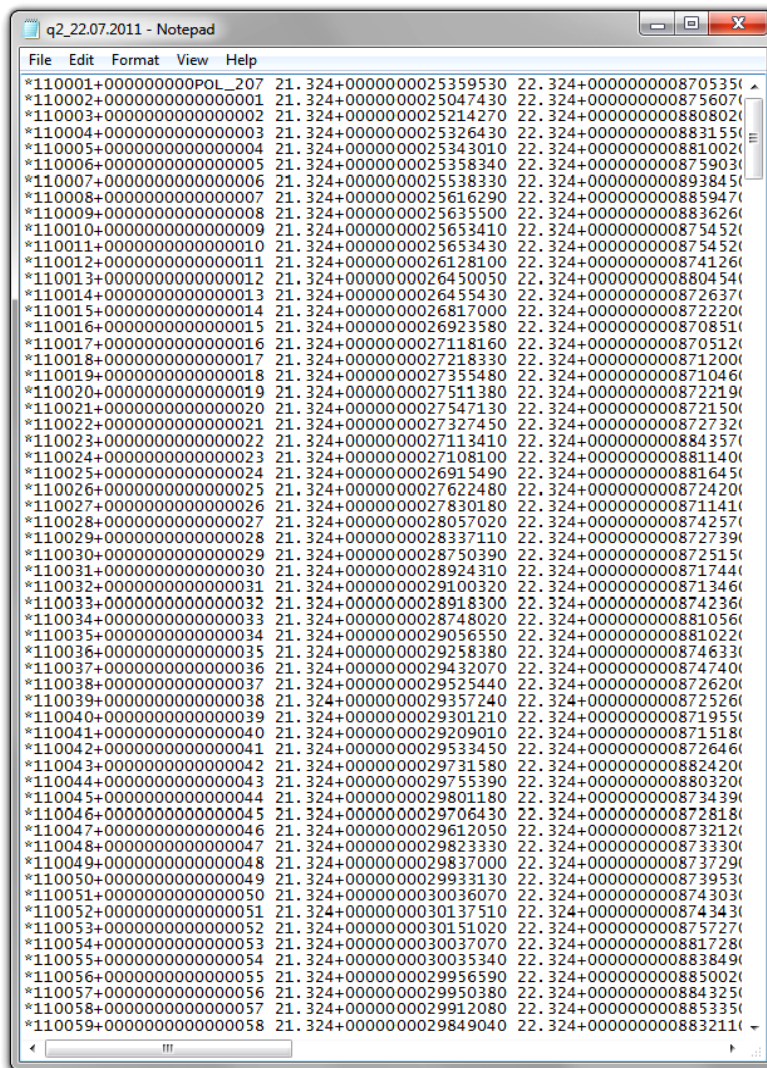
Направените компјутерски анализи, базата на податоци со 3D-модели, има за цел да ги прикаже можностите на компјутерската техника во фазата на истражување на дадениот простор, изработката на елаборати, проектирање и следење на динамиката на експлоатација, како и формирање на комплетна дигитална архивска база на податоци за даден рудник. Во овој труд, тоа со своите основни елементи е направено за целото наоѓалиштето “Сивец”.

8.10. 1. Начин на изработка на 3D-модел на рудникот “СИВЕЦ”

Најпрвин пред да се започне со 3D-моделирањето, како почетна база на податоци ги земаме измерените координати (x, y, z) на секоја точка на работна површина или било која точка која сакаме да ја снимиме и прикажеме. Во рудникот “СИВЕЦ” координатите на мерените точки се снимаат со тотална

станица LEICA TS02, на терен се снимаат точките на етажите и тоа и горна и долна граница (бидејќи мора да ја добиеме висинската разлика на етажата).

Откако се снимени координатите (x, y, z) за секоја точка добиените податоци преку Leica Flex Office се пренесуваат во Notepad (Сл. 34).



Слика 34. Пример за пренесени вредности на сниманите координати за секоја точка преку Leica Flex Office во Notepad

Figure 34. Example for the transferred shares to the recorded coordinates for each point of Leica Flex Office in Notepad

Пред да се инсертираат во Datamine најпрво истите се пренесуваат во Excel табела во која се запишуваат координатите за секоја точка, а за да можеме да ги разликуваме горните од долните граници пожелно е да се

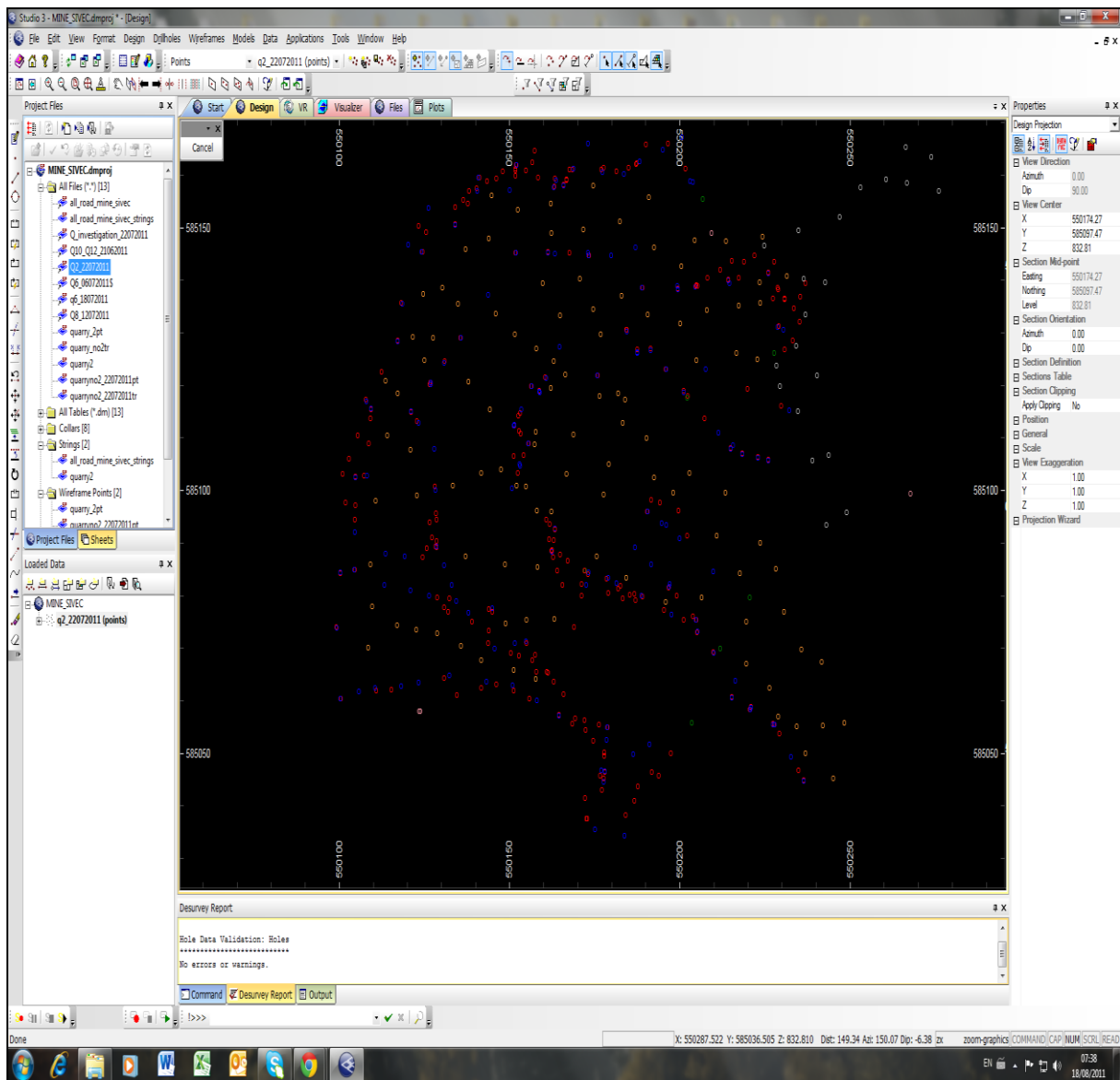
направи табела за боја (Colour табела) со цел да се издвојат односно филтрираат границите (Сл. 35).

	A	B	C	D	E
1	BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR	COLOUR
2	POL_207	550123.61	585057.85	851.47	17
3	1	550156.02	585060.25	848.119	9
4	2	550151.32	585061.89	847.836	9
5	3	550146.22	585063.06	847.101	9
6	4	550141.78	585062.39	848.052	9
7	5	550134.77	585060.99	848.723	9
8	6	550131.01	585064.19	846.871	9
9	7	550115.47	585062	848.747	9
10	8	550110.92	585061.82	849.922	9
11	9	550100.53	585060.26	852.256	9
12	10	550100.52	585060.26	844.306	11
13	11	550099.34	585073.94	852.873	9
14	12	550100.53	585084.1	853.315	9
15	13	550104.65	585084.74	853.315	9
16	14	550104.78	585094.34	853.488	9
17	15	550102.08	585097.49	854.261	9
18	16	550101.14	585103.03	854.487	9
19	17	550102.98	585105.88	854.07	9
20	18	550105.47	585110.39	854.02	9
21	19	550109.24	585113.65	853.31	9
22	20	550109.45	585115.29	853.331	9
23	21	550108.73	585108.86	853.074	9
24	22	550107.36	585102.67	849.551	9
25	23	550104.87	585102.46	851.139	9
26	24	550104.79	585097.13	850.899	9
27	25	550107.88	585117.12	853.294	9
28	26	550112.49	585122.47	853.698	9
29	27	550117.25	585128.38	852.118	9
30	28	550118.27	585135.48	852.825	9
31	29	550120.44	585146.7	852.976	9
32	30	550123.5	585150.11	853.22	9

Слика 35. Пример на внесени координати (x, y, z) за секоја сминана точка и COLOUR графа со која се разделуваат горни од долни ивици
Figure 35. An example of entried coorinates(x, y, z) for each recorded point and Colour graph which separate upper and lower edge.

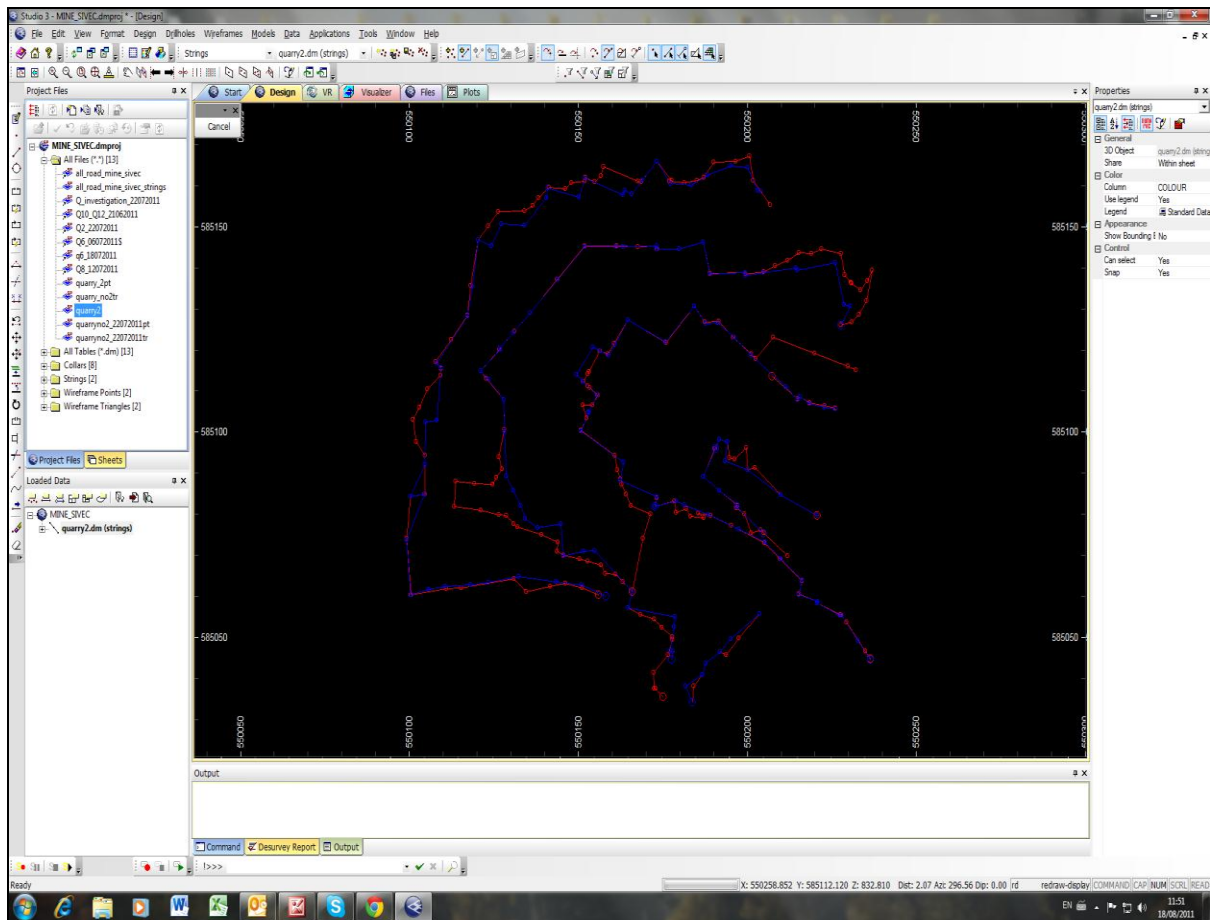
Во Datamine преку средениот Excel file ги импортираме координатите на кои им имаме зададено различни бои и преку Project files—import external

data—into project—ODBC—tables ги пренесуваме мерените точки во Datamine со што ги исцртуваме снимените точки со добиените вредности (Сл. 36).



Слика 36. Пример за внесени точки од двете граници во *Datamine*
Figure 36. Example of entried points from both borders in Datamine.

За поефикасно исцртување на линиите со кои ќе се поврзат точките преку *object-filter-all object-points* ги филтрираме односно ги делиме само точките од горна и само точките од долна граница. Со опција *New Strings* ги поврзуваме точките и од горната и од долната ивица (Сл. 37).

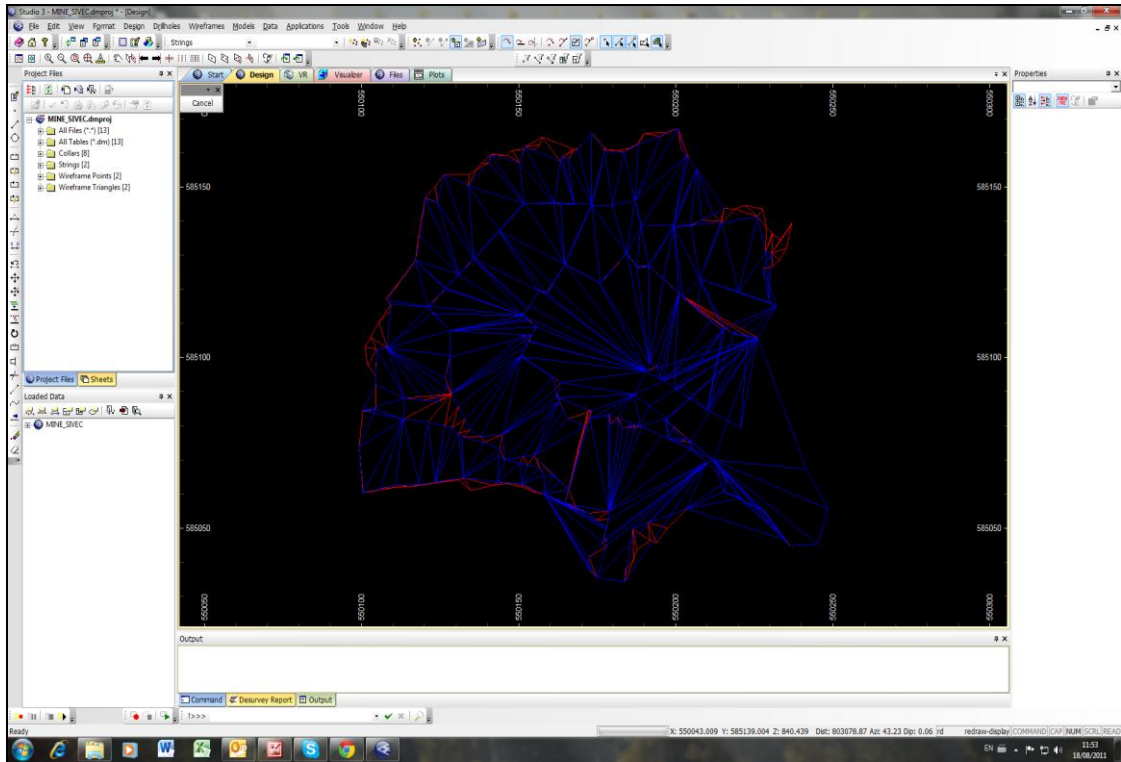


Слика 37. Пример за исцртани линии од двете граници во *Datamine*
Figure 37. Example of drawn lines from both borders in Datamine.

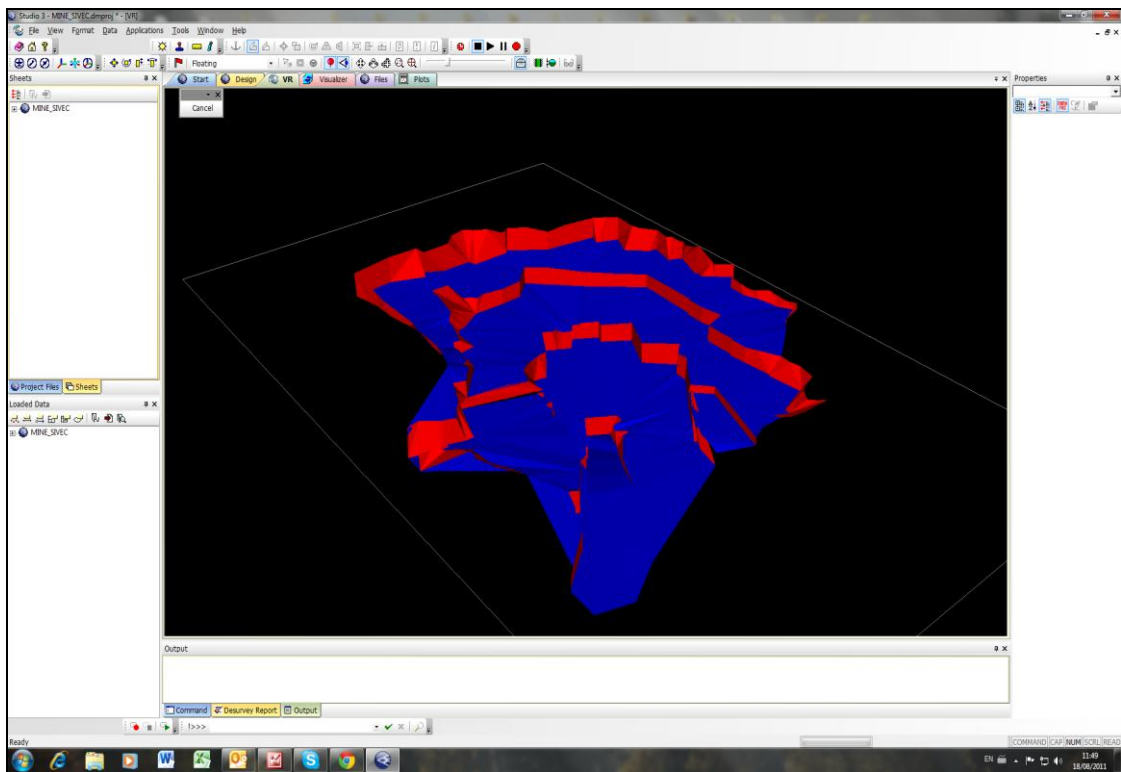
Откако ќе ги поврземе линиите, следно што се прави е поврзување на линиите со триаголници односно да се создаде површина помеѓу нив, а тоа се прави на следниот начин: *Wireframes—interactive DTM creation—Make DTM* (Сл. 38). Откако сме ги поврзале триаголниците и откако ќе се провери дали сите функции добро се имплементирани можеме да ја видиме и тродимензионалната слика која сме ја добиле (Сл. 39).

3D-Моделирањето има посебна тежина во рудниците за украсен камен, а посебно во планирањето на експлоатацијата.

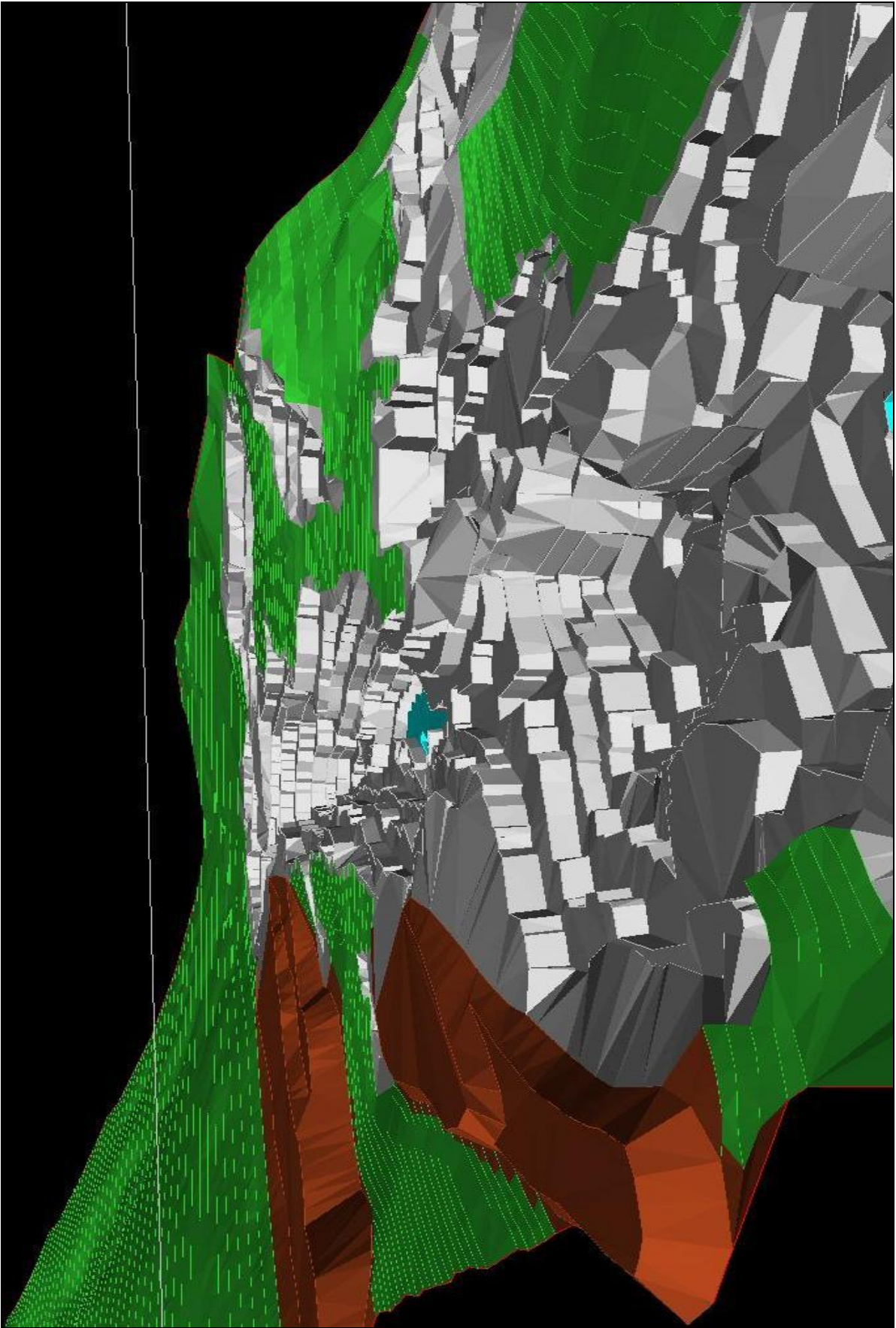
3D-Модел на дел од рудникот “Сивец” е даден на сл. 40



Слика 38. Пример за исцртани триаголници поврзување на двете граници во *Datamine*
Figure 38. Example for drawn triangles that connect two borders in Datamine.



Слика 39. Пример на 3D модел на дел од рудникот “СИВЕЦ” изработен во *Datamine*
Figure 39. Example of 3D model of part of mine “Sivec” made in Datamine.



Слика 40. 3D модел на дел од рудникот "Сивец", заедно со одлагалиштата
Figure 40. 3D model of a portion of the mine "Sivec", along with the goaf.

8.11. Рудни резерви на наоѓалиштето за бел мермер “Сивец”

Досегашата експлоатација, досегашните истражни работи кои се извршени на овој терен во реонот на рудникот “Сивец”, овозможуваат да се изврши категоризација на рудните резерви. Наоѓалиштето “Сивец”, каде што ќе се врши експлоатацијата на мермер, а со тоа и истражувањата кои се изведуваат на овој терен според постоечките прописи за класификација и категоризација на резервите спаѓа во I група.

Според прописите за класификација и категоризација на рудните резерви во А-категија се вброени оние резерви кај кои врз основа на изведените истражни рударски работи се врши експлоатација и се напoлно запознати и утврдени:

- наоѓалишните услови, залегнувањето и простирањето, големината, обликот и градбата на наоѓалиштето;

- напoлно се утврдени квалитетот и технолошките својства за експлоатација и преработка на минералната суровина.

Во Б-категија резерви се распоредуваат минерални суровини кај кои:

- врз основа на непосредни забележувања, извршени се истражни дупчења и се запознати и утврдени:

- наоѓалишните услови, залегнувањето и простирањето, големината и градбата на наоѓалиштето;

- квалитативните карактеристики и основните технолошки својства за понатамошни истражувања;

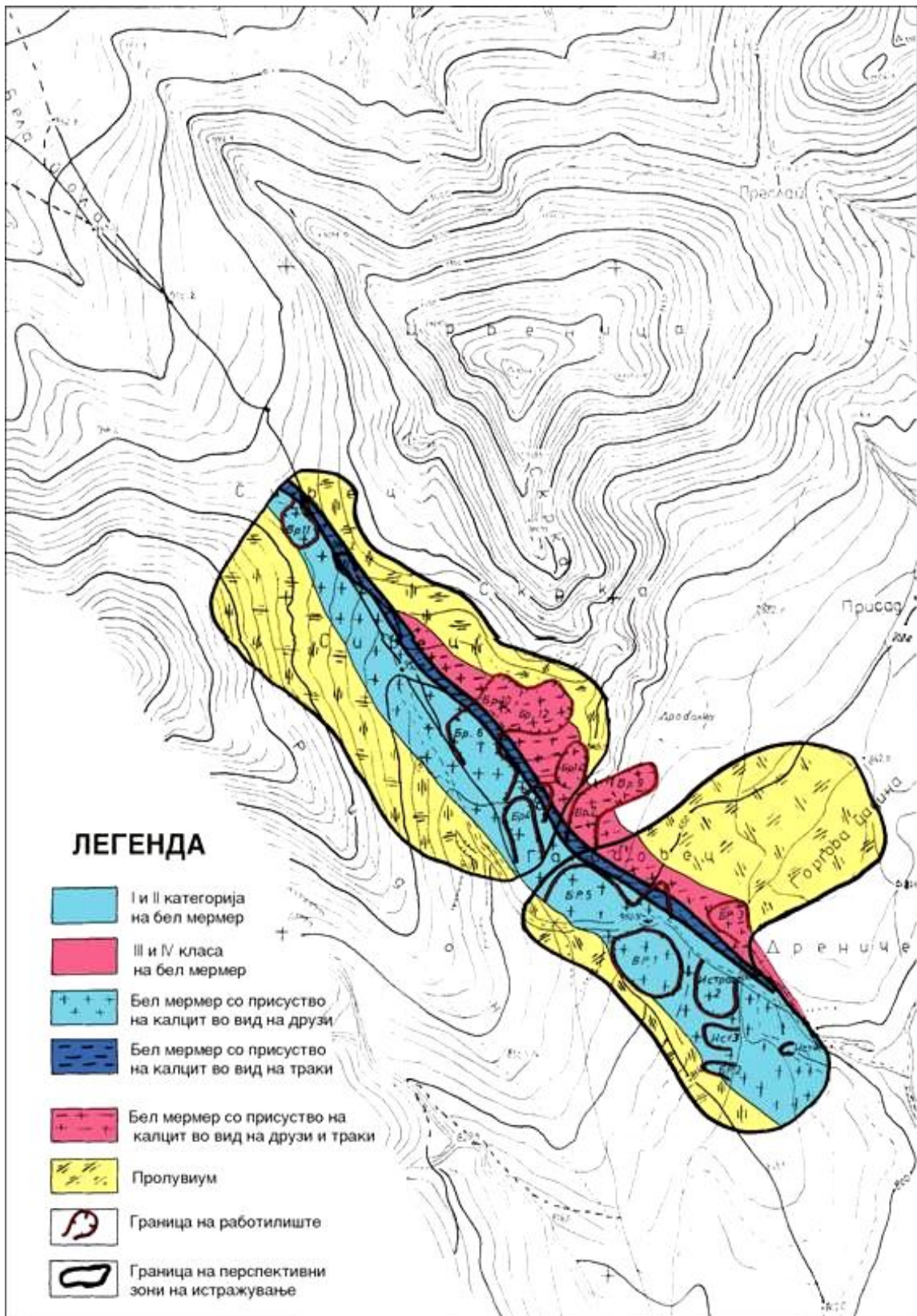
- утврден е видот на минералната суровина.

Во Ц1-категија резерви се распоредени минералните маси кај кои делумно:

- се запознати наоѓалишните услови, залегањето и простирањето на наоѓалиштето, корисната минерална маса и нејзиното просторно разместување, односно е утврден типот на минералната суровина;

- утврдени се тектонските, хидрогеолошките, инженерско-геолошките и други природни услови за експлоатација на минералната суровина.

Во Ц2-категија резерви се распоредуваат потенцијалните резерви на минералната суровина кај кои условите на залегање, големината и обликот се определени врз основа на геолошки, геофизички податоци врз база на природните делови на наоѓалиштето.



Слика 41. Класификација на мермерите од рудник "СИВЕЦ" со издвоени перспективни зони $R=1:17000$

Figure 41. Classification of the marbles from the mine "SIVEC" with allocated perspective zones $R = 1:17000$

Во Д1-категорија на потенцијални резерви се распоредуваат масите на минералните суровини што се претпоставени врз основа на анализа на општите геолошки услови и по споредување на податоците од истражните и експлоатационите работи во определеното подрачје.

Овие резерви се наоѓаат во неистражени делови од просторот односно во делови што претставуваат продолжение на добро изучени (подготвени за експлоатација) простори.

Класификација на мермерите со издвоени перспективни зони е дадена на картата на (сл. 41).

Пресметката на рудните резерви е извршена по “Методот на паралелни профили” така што површините земени за пресметка се сведени на правилни геометриски слики. За пресметка е земена висина од 30 метри од најниската кота на просторите каде се врши експлоатација.

Пресметаните рудни резерви на мермер во наоѓалиштето “Сивец”, со состојба од 01. 01. 1999 година, а според податоците од Елаборатот за рудни резерви за мермер од наоѓалиштето “Сивец” се дадени во табела бр. 6.

Табела бр.6. Пресметани рудни резерви во наоѓалиштето “Сивец”

Table No. 6. Calculated ore reserves in the deposit Sivec

Категорија		ВКУПНИ РЕЗЕРВИ (m ³)		
		Билансни	Вонбилансни	Вкупни
1		2	3	4
А	Бел	2.963.140	4.444.710	7.407.850
	Калцитен	1.853.980	2.780.970	4.634.950
Б	Бел	748.852	1.123.278	1.872.130
	Калцитен	721.980	1.082.970	1.804.950
Ц1	Бел	1.786.840	2.680.260	4.467.100
	Калцитен	1.530.840	2.296.260	3.827.100
Ц2	Бел	-	-	-
	Калцитен	896.600	1.344.900	2.241.500
Д1	Бел	-	17.248.550	17.248.550
	Калцитен	-	23.453.000	23.543.000
Вкупно		10.502.232	56.544.898	67.047.130

Од дадената табела се гледа дека вкупните рудни резерви во наоѓалиштето “Сивец” изнесуваат 67.047.130 m³.

Врз основа на конструираните попречни рударско-технолошки профили на копот ажурирани според состојбата на рудникот од 02. 12. 2008 година извршена е пресметка на мермерната маса во границите на површинскиот коп. Пресметката на вкупната мермерна маса во ограниченото експлоатационо поле е извршена по методот на паралелни профили.

Поради обемноста и многубројноста на профилите и табеларните пренесувања во оваа магистерска работа како за пример дадени се само еден дел пресметани преостанати количини на мермерна маса за секоја етажа посебно.

Пресметката е дадена во табелите што следуваат, за на крајот да следи и рекапитулацијата на вкупните мермерни маси, а потоа е даден еден пример на рударско-технолошки профил.

Табела бр. 7. Пресметка на рудни резерви на етажа 810 (813)

Table No. 7. Calculated of ore reserves level 810 (813)

Профил	Површина (m ²)	Средна површина (m ²)	Растојание (m)	Зафатнина (m ³)
5 – 5'	1 380	1 380	45	62 100
6 – 6'	1 400	1 390	50	69 500
7 – 7'	1 530	1 465	50	73 250
8 – 8'	1 300	1 415	50	70 750
9 – 9'	1 019,7	1 159,85	50	57 993
10 – 10'	1 517,9	1 268,8	50	63 440
11 – 11'	1 263,1	1 390,5	50	69 525
12 – 12'	1 255,8	1 259,45	50	62 973
13 – 13'	1 577,4	1 415,6	50	70 830
14 – 14'	3 002,2	2 289,8	50	114 490
15 – 15'	3 730	3 366,1	50	168 305
16 – 16'	3 000	3 365	50	168 250
17 – 17'	2 140	2 570	50	128 500
18 – 18'	2 210	2 175	50	108 750
		2 210	45	99 450
Вкупно:				1 388 106

Табела бр. 8. Пресметка на рудни резерви на етажа 792 (795)

Table No. 8. Calculated of ore reserves level 792 (795)

Профил	Површина	Средна површина	Растојание	Зафатнина
	(m ²)	(m ²)	(m)	(m ³)
5 – 5'	1 910	1 910	38	72 580
6 – 6'	1 850	1 880	50	94 000
7 – 7'	1 850	1 850	50	92 500
8 – 8'	1 850	1 850	50	92 500
9 – 9'	1 850	1 850	50	92 500
10 – 10'	2 210	2 030	50	101 500
11 – 11'	2 640	2 425	50	121 250
12 – 12'	3 060	2 850	50	142 500
13 – 13'	3 560	3 310	50	165 500
14 – 14'	3 720	3 640	50	182 000
15 – 15'	3 720	3 720	50	186 000
16 – 16'	2 970	3 345	50	167 250
17 – 17'	2 560	2 765	50	138 250
		2 560	41	104 960
Вкупно:				1 753 290

Табела бр. 9. Пресметка на рудни резерви на етажа 802 (804)

Table No. 9. Calculated of ore reserves level 802 (804)

Профил	Површина	Средна површина	Растојание	Зафатнина
	(m ²)	(m ²)	(m)	(m ³)
5 – 5'	1 700	1 700	41	69 700
6 – 6'	1 700	1 700	50	85 000
7 – 7'	1 700	1 700	50	85 000
8 – 8'	1 950	1 825	50	91 250
9 – 9'	2 290	2 120	50	106 000
10 – 10'	2 310	2 300	50	115 000
11 – 11'	1 733,9	2 021,95	50	101 098
12 – 12'	2 202,2	1 968,05	50	98 403
13 – 13'	3 110	2 656,10	50	132 805
14 – 14'	3 120	3 115	50	155 750
15 – 15'	2 870	2 995	50	149 750
16 – 16'	2 300	2 585	50	129 250
17 – 17'	2 070	2 185	50	109 250
		2 070	42	86 940
Вкупно:				1 515 196

Табела бр. 10. Пресметка на рудни резерви на етажа 815 (822)
 Table No. 10. Calculated of ore reserves level 815 (822)

Профил	Површина	Средна површина	Растојание	Зафатнина
	(m ²)	(m ²)	(m)	(m ³)
5 – 5'	1 220	1 220	47	57 340
6 – 6'	1 320	1 270	50	63 500
7 – 7'	1 350	1 335	50	66 750
8 – 8'	1 140	1 245	50	62 250
9 – 9'	730	935	50	46 750
10 – 10'	445,5	587,75	50	29 388
11 – 11'	1 112	778,75	50	38 938
12 – 12'	1 238,4	1 175,2	50	58 760
13 – 13'	1 964,6	1 601,5	50	80 075
14 – 14'	3 240	2 602,3	50	130 115
15 – 15'	2 175,3	2 707,65	50	135 383
16 – 16'	2 291,5	2 233,4	50	111 670
17 – 17'	2 389,1	2 340,3	50	117 015
18 – 18'	2 540	2 464,55	50	123 228
19 – 19'	2 880	2 710	50	135 500
20 – 20'	2 670	2 775	50	138 750
21 – 21'	2 660	2 665	50	133 250
22 – 22'	2 480	2 570	50	128 500
23 – 23'	3 600	3 040	50	152 000
24 – 24'	3 060	3 330	50	166 500
		3 060	27	82 620
Вкупно:				2 058 282

Табела бр. 11. Пресметка на рудни резерви на етажа 823 (833)

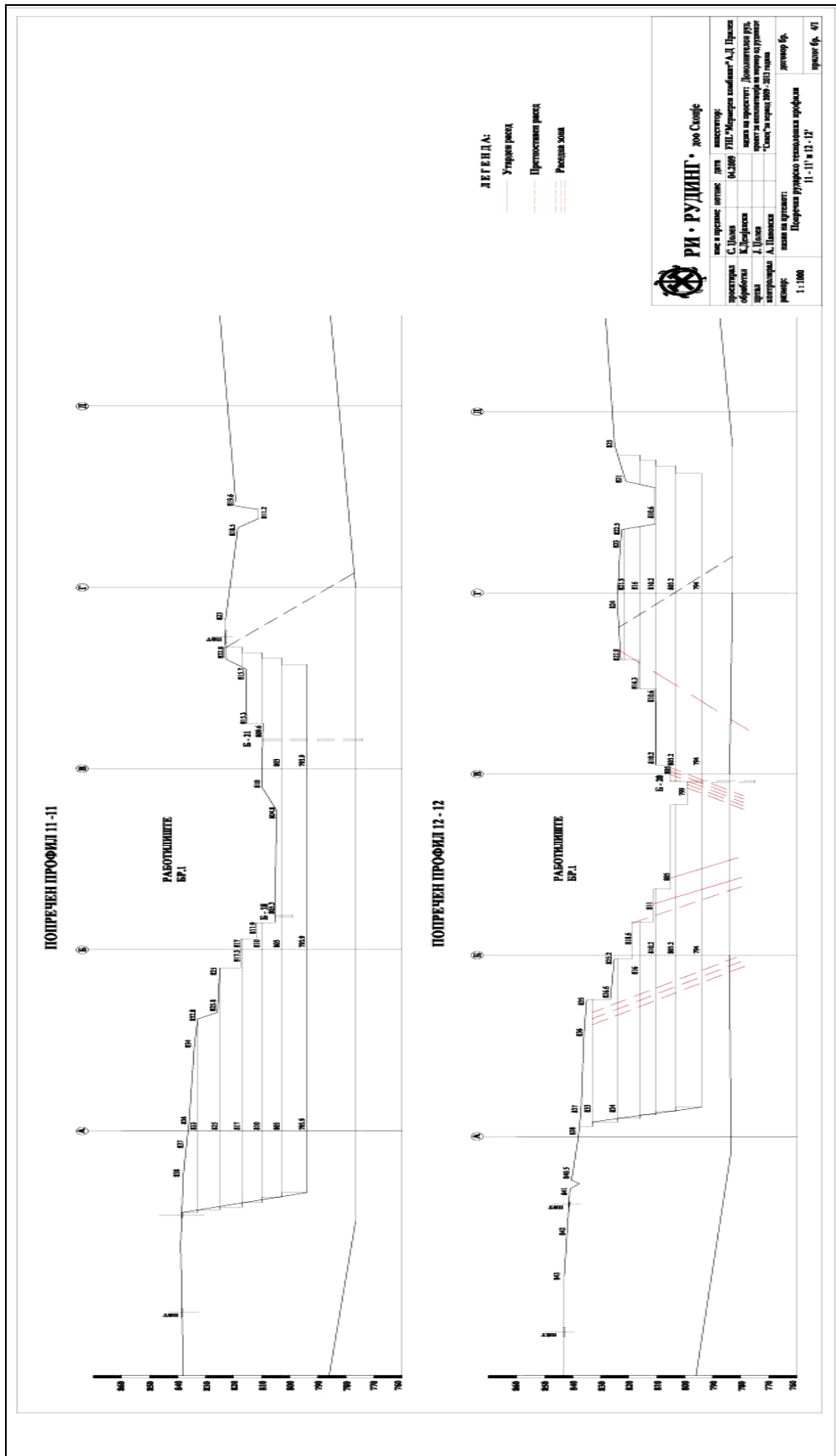
Table No. 11. Calculated of ore reserves level 823 (833)

Профил	Површина (m ²)	Средна површина (m ²)	Растојание (m)	Зафатнина (m ³)
6 – 6'	280	140	50	7 000
7 – 7'	200	240	50	12 000
8 – 8'	150	175	50	8 750
9 – 9'	276,8	213,4	50	10 670
10 – 10'	365,2	316,5	50	15 825
11 – 11'	1 185,2	770,7	50	38 535
12 – 12'	1 020,8	1 103	50	55 150
13 – 13'	1 725,6	1 373,2	50	68 660
14 – 14'	2 433,2	2 079,4	50	103 970
15 – 15'	1 820,8	2 127	50	106 350
16 – 16'	1 125,8	1 473,3	50	73 665
17 – 17'	2 291,6	1 708,7	50	85 435
18 – 18'	2 460	2 375,8	50	118 790
19 – 19'	2 480	2 470	50	123 500
20 – 20'	2 300	2 390	50	119 500
21 – 21'	2 025	2 162,5	50	108 125
22 – 22'	3 310	2 667,5	50	133 375
23 – 23'	4 192,7	3 751,35	50	187 568
24 – 24'	3 540	3 866,35	50	193 318
		3 540	27	95 580
Вкупно:				1 665 766

Табела бр. 12 Рекапитулација на мермерна маса
Table No. 12 Recapitulation of the marble surface

РЕКАПИТУЛАЦИЈА НА ВКУПНИТЕ МЕРМЕРНИ МАСИ ВО РУДНИК "СИВЕЦ" ПРЕСМЕТАНИ ПО ЕТАЖИ																									
од профил до профил	792 (795)	802 (804)	810 (816)	815 (822)	823 (833)	834 (839)	845 (850)	856 (859)	860 (862)	869 (870)	876 (880)	884 (887)	890 (895)	899 (917)	908 (917)	918 (921)	928 (929)	934 (935)	940 (942)	948 (950)	955(956.4)	962(963.8)	970 (969)	978	Вкупно
04-05	72580	69700	62100	57340																					261720
05-06	94000	85000	69500	63500	7000																				319000
06-07	92500	85000	73250	66750	12000																				329500
07-08	92500	91250	70750	62250	8750																				325500
08-09	92500	106000	57993	46750	10670																				313913
09-10	101500	115000	63440	29888	15825																				325153
10-11	121250	101088	69525	38938	38535																				369346
11-12	142500	98403	62973	58760	55150																				417786
12-13	165500	132805	70830	80075	68660																				517870
13-14	182000	155750	114490	130115	103970	24960																			711285
14-15	186000	149750	168305	135383	106350	59735																			805523
15-16	167250	129250	168250	111670	73665	61045	5325																		716455
16-17	139250	109250	128500	117015	85435	42083	4815	1290																	626638
17-18	104960	86940	108750	123228	118790	89090	53113	18645																	703516
18-19			99450	135500	123500	116615	96790	40538	12800																624993
19-20				138750	119500	105718	103738	50425	23250																541381
20-21					133250	108125	85298	102495	49388	34250	3848														516634
21-22				128500	133375	110898	134365	113008	89773	66708															776827
22-23				152000	187568	155088	167705	162195	148310	138823	19876	14336													1145901
23-24				166500	193318	163838	156178	152423	174720	155388	90260	46135	70925	352085											1404970
24-25				82620	95580	94360	87640	166505	181183	165610	157265	121413	75760	63285	11895										1303116
25-26								96600	137760	146000	161365	148163	107135	71628	43648	3656	12420	6323	3552						998240
26-27									96250	110500	121213	120290	134950	107700	72298	56253	26780	26345	17360	2656					863615
27-28										28650	104000	108098	102863	122105	118323	95405	73998	37210	45805	25535	12558				874410
28-29										82250	91635	84778	100605	111763	110013	90825	62025	68565	49860	11265					863624
29-30										65500	79750	77325	78030	95763	115010	92848	81800	75650	50738	8053					820467
30-31										27200	75860	76045	70058	77805	100738	77995	80025	72513	36118	8553					702900
31-32											67350	74950	65968	84428	100285	80465	70438	61088	35825	12120					652917
32-33											29920	83750	68768	92373	117725	54180	62590	68850	45413	6250					626819
33-34												23000	33000	85000	104250	73770	36983	64148	55178	10330					485659
34-35														74500	68318	72288	9398	30098	30928	10330					295840
35-36														37000	64510	33405	38968	19975	10303	0					204161
36-37														82443	40041	78250	51390	33740	6500						292354
37-38														48250	77500	73880	63000	18250	1250						282130
38-39															65750	69250	67500	29750	5000						235500
39-40															23600	34440	67500	52750	29500	900					208680
40-41																	64000	60500	12500						197500
41-42																	60250	58600	70500	37500	4250				291000
42-43																	34000	54750	61750	52500	9750				212750
43-44																		40500	49500	49750	24250				164000
44-45																		36750	83000	45000	34250				201000
45-46																		39750	83000	44000	44750	3750			215750
46-47																		38500	48000	45250	48000	12750			192500
47-48																		19000	45750	42750	37500	19000			164000
48-49																		19140	20250	20160	12800				72350
Вкупно	1753290	1515196	1388106	2058282	1665766	1108728	912164	850997	928736	1065827	1002562	972648	927304	1054853	1134788	748704	763737	766370	749090	539635	557390	350400	222910	48300	23085003

Рударско-технолошки профили 11-11 и 12-12 Mining and Technology profile 11-11 and 12-12



9. ГЕОЛОШКО-ЕКОНОМСКА ОЦЕНА НА НАОЃАЛИШТЕТО

Со геолошко-економската оцена на наоѓалиштата на минерални сировини се анализираат релевантните геолошки, технички и економски фактори и од нив се изведуваат показатели со цел да се одреди економското значење на наоѓалиштата и/или пошироките минерагенетски единици. Оценката се врши на крајот од секој стадиум од проспекциско-истражниот процес: (претходна проспекција, детална проспекција), (проспекциско-истражен стадиум), претходно истражување, детално истражување, и во текот на експлоатационото истражување. Врз основа на извршената оцена се донесува одлука за изведувањето на наредниот стадиум од проспекцискиот истражен процес за некое наоѓалиште или пак за понатамошните проспекциски или истражни работи. Во случаите кога ќе се донесе одлука за продолжување на проспекциско-истражниот процес на некое наоѓалиште тогаш геолошко-економската оцена има големо влијание на планирањето и програмирањето на проспекциско-истражните работи (во вид и обем).

Проблематиката за оцена на наоѓалиштата е дадена од страна на Јанковиќ и Миловановиќ (1985). Посебен придонес во проблематиката на геолошко-економската оцена на наоѓалиштата на неметаличните минерални сировини даваат: Миловановиќ, Вакањац (1971), и Миловановиќ (1976).

Во овој труд е извршена комплексна методологија на геолошко-економска оцена на наоѓалиштето за бел мермер “Сивец” која се состои од пет развојни фази кои се надоврзуваат една на друга. Тоа овозможува оваа оцена да се користи за сите видови минерални сировини и за сите стадиуми за истражување и експлоатација.

9.1. Фактори на геолошко-економска оцена

При геолошко-економската оцена на наоѓалиштето на минерални сировини се зема предвид и се анализираат следниве фактори: геолошки, рударско-технички (техничко-експлоатациони), технолошки, регионални (природно-географски), пазарни и социјално-економско-стратиграфски.

Од геолошките фактори најважни се: минерогенетските (металогенетски) фактори, економскиот тип на рудата, економскиот тип на наоѓалиштето, димензиите, обликот (морфолошките карактеристики) и залегнувањето на

наоѓалиштето односно на рудните тела, квалитетот на минералната суровина, резервите на минералната суровина и степенот на нивната концентрација, хидрогеолошките и инженерскогеолошките карактеристики на наоѓалиштето.

Од **рударско–техничките** (техничко-експлоатационите) **фактори** најзначајни се: начинот (површински, подземен, подводен или комбиниран) и методот на експлоатација на наоѓалиштето, трошоците за експлоатација, степенот на искористеност на рудата (губитоци и осиромашување при експлоатација), инвестициони вложувања (вкупните и специфични инвестициони вложувања за изработка на нови производни капацитети на рудникот односно за негово одржување, реконструкција или проширување на постоечките капацитети), можноста за истовремена (комплексна) експлоатација на рудната супстанца и различните минерални суровини кои се јавуваат во повлатата, подината и блоковите на наоѓалиштето како и на “јаловите” делови во самото наоѓалиште.

Од **технолошките фактори** најважни се: технолошките типови (видови) на рудата на наоѓалиштето, методите (постапките) на примена и преработка (или обработка) на минералните суровини и нивно однесување во процесот на примена и преработка како и степенот на искористување кој во нив се постигнува, можноста за комплексни искористување на минералната суровина, можноста за замена (супституција) на минералната суровина: скапи со евтини, меки со цврсти, странски со домашни и др.

Од **регионалните** (природно-геолошки) **фактори** најважни се: комуникацијата (транспортните услови), орографијата, хидрографијата, условите за водоснабдување, климатските услови, вегетацијата, енергетските извори, населението и работната снага.

Од **пазарните фактори** најважни се: пазарните прилики (можноста за пласман на минералната суровина или производите од рударско-индустриските претпријатија за домашниот и светскиот пазар), сегашните и идните цени на минералната суровина (и на неа базираните производи), на домашниот и светскиот пазар, сегашната состојба и идните трендови на понуда и побарувачка на минерални суровини (и на неа базираните производи), на домашниот и светскиот пазар.

Од **социјално -економско-стратегиските фактори** најважни се: социјално економското значење на произведените минерални суровини за одредено

подрачје (особено за неразвиените подрачја), стратегиското значење на одредени минерални суровини, влијанието на производствената активност на рудникот и со него поврзаните индустриски постројки во човековата околина (вклучувајќи ја и заштитата на човековата средина), политиката на конзервација на наоѓалиштата на одредени минерални суровини, долгорочното економско прогнозирање за суровините на одредени минерални суровини.

9.2. Показатели на геолошко-економска оцена

По својата природа показателите на геолошко-економската оцена можат да се поделат на *натурални* (во потесна и поширока смисла), *вредносни* и *синтетички*.

Во **натуралните показатели во потесна смисла** спаѓаат: геолошките резерви (руда или корисна компонента) и квалитетот на минералната суровина (најчесто изразен преку средната содржина на штетните компоненти), а потоа и по средната моќност (дебелина) на рудното тело, и средната моќност на јаловите прослојки во рудното тело.

Во **натуралните показатели во поширока смисла** спаѓаат: минималните геолошки резерви на наоѓалиштето (односно рудните тела), минималната економска содржина на корисна компонента во наоѓалиштето, максималната дозволена содржина на штетни компоненти, минималната содржина на откопување (граничната содржина на корисна компонента), минималната продуктивна дебелина на наоѓалиштето (рудното тело), минималната дебелина на јаловите карпи и вонбилансните минерални суровини во наоѓалиштето, коефициентот на откривката (среден и граничен), максималната длабочина на експлоатација на наоѓалиштето, разблажувањата и губитоците на минерална суровина (корисна компонента) при експлоатација, подготовката и преработката (обработката), експлоатационите резерви на минерална суровина (корисна компонента), капацитетот (дневен и годишен) на рудникот, постројките за подготовка и преработка, содржината на корисните и штетните компоненти во концентратот и во примарниот и финалниот производ, степенот на искористување кај подготовката и преработката на минералната суровина, векот на експлоатација на рудникот, рокот на повраќање (реакумулација) на

вложената инвестиција, стапката на рентабилност за рудникот и постројките за подготовка и преработка на минералната суровина и други показатели.

Натуралните показатели во потесна смисла се поедноставни и полесно се мерат и пресметуваат, додека натуралните показатели во поширока смисла се посложени и често се формираат со комбинирање на натуралните показатели во потесна смисла и вредносните показатели. И едните и другите се пресметуваат во физички (натурални) единици (во метри, тони, проценти, години и др.).

Со комбинирање на натуралните показатели и вредносните показатели може да се добие израз за економската оценка сведен на тон резерви.

Во **вредносните показатели** спаѓаат: трошоците за истражување на минералните суровини (според категориите на резерви) и вкупните трошоци за истражување на наоѓалиштето, вкупната инвестиција вложена во истражувањето на наоѓалиштето, изградбата на рудникот и изградбата на постројките за примена и преработка на минералната суровина, специфичните инвестиции по тон руда, полупроизводите и готовите производи, цената на чинење на тон руда, полупроизвод и готов производ и нивната пазарна цена, вишокот на работа (акумулацијата) остварена по тон руда, полупроизвод и готов производ, транспортните трошоци, рентабилноста и други показатели. Вредносните показатели се изразуваат во парични единици (денари, евра, долари).

Во **синтетички показатели** спаѓаат: вредност на наоѓалиштето и резервите одредени врз база на методот кој не го зема предвид временскиот фактор и вредноста на наоѓалиштето и резервите одредени врз база на методите кои го земаат предвид временскиот фактор.

Синтетичките показатели се сложени показатели на геолошко-економската оценка на наоѓалиштето кои се формираат со одредување на натуралните и вредносните показатели. Ова обединување се врши поради економската (вредносната) оценка на наоѓалиштето, односно неговата условна вредност изразена во парични единици.

Во зависност од показателите врз кои се заснова, геолошко-економската оценка на наоѓалиштето може да биде: натурална (која се базира само на натуралните показатели) или вредносна (која се базира на вредносните и синтетичките показатели, но предвд ги зема и натуралните показатели).

9.3. Елементи на геолошко-економска оцена

Базниот износ-доходот, бруто-личен доход и амортизација

При примената на методологијата на геолошко-економската оцена се тргнува од условниот доход на рудникот или наоѓалиштето на минерални суровини, односно од претпоставките за идното активирање, со техничко-економските ефекти кои ќе се остварат кога ќе почне експлоатацијата на наоѓалиштето.

Доходот се усвојува како појдовен вредносен индикатор на економската оцена, бидејќи тој претставува најпогодно и најнепосредно искажување на ефективностата на производството и инвестицијата. Меѓутоа, ако доходот ја содржи вредноста за потребната работа, која во принцип спаѓа во лична потрошувачка, за економската оцена не се зема целиот доход, туку оној дел кој се добива кога од вкупниот доход ќе се одземе вредноста на доходот за потребната работа (бруто-личниот доход) и тој дел од доходот го изразува потенцијалот или богатството на резервите на минерални суровини во вредносен израз. Покрај вака намалениот дел од доходот, за основниот износ се користи и годишниот износ на амортизацијата (A), под претпоставка дека таа е доволна за репродукција на вложените средства во рудникот. Со помош на амортизацијата се изразува временскиот аспект кој зависи од резервите на минералната суровина кои се откопуваат во одреден временски период.

Вредносните индикатори (доходот, бруто-личниот доход и амортизацијата) за активните рудници се земаат од завршните пресметки, а кај рудниците во изградба од самиот проект.

Нормална каматна стапка

Со примена на нормалната каматна стапка се добиваат средства кои одговараат на износот под претпоставка дека парите ги вложуваме во банка по таа каматна стапка. Нормалната каматна стапка се однесува на вложениот капитал, а не на специфичноста на наоѓалиштето.

Каматната стапка (r), која се применува во методологијата на геолошко-економската оцена, служи за од основниот износ да се издвои делот кој е потребен за повраќање на вложените средства. Тоа враќање треба да се изврши за време на експлоатацијата на рудникот (наоѓалиштето).

Изградбата на рудниците се темели на различни извори на финансирање. Во деловите кои припаѓаат во неразвиените подрачја при изградбата на објектите се користат средства од Фондот за неразвиени области, како и финансиски средства од банките кои го финансираат развитокот на претпријатието.

Финансиската конструкција за секој нов објект како и за проширување на постоечките објекти е доста сложена задача. Во сегашни услови, а веројатно и во иднина треба да се смета на следниве извори: сопствени средства, средства на работните организации кои имаат потреба од оваа руда, странски кредити, среднорочни кредити од домашните производители на опрема, среднорочни и долгорочни кредити од странските производители на опрема како и банкарските кредити.

Условите за кредитирање се доста различни со различни каматни стапки. Врз база на процентуалниот метод за пресметка на каматната стапка (r), за бројот на годините на експлоатација (n), базниот износ ($D-BLD+A$) утврден за период од една година, се намалува за сумата која е потребна да се издвои како годишна рата за враќање на вложените средства.

Време на експлоатација на наоѓалиштето

Во постапката за геолошко-економска оцена на наоѓалиштето времето за експлоатација (n) се одредува со споредување на резервите на минерална суровина со тековните, односно предвидените капацитети на рудникот. Со пресметката се опфаќаат билансните резерви од А, Б и Ц₁ категорија намалени за сите губитоци кои настануваат при експлоатацијата, припремата и примарната преработка на минералната суровина.

Времето на експлоатација (n) се пресметува по формулата:

$$n = \frac{R}{K}$$

каде:

R-вкупните резерви на минерална суровина во наоѓалиштето (А+Б+Ц₁ категорија);

K-годишниот капацитет на експлоатацијата (тековен или планиран).

Корективен фактор

Во условите коишто постојат во индустријата и економијата, ризикот во рударското производство во најголем дел е поврзан со природните услови на истражување (геолошки ризици) и експлоатацијата на наоѓалиштето (рударски ризици) односно со пазарниот фактор (економски ризици).

Најважни елементи кои го одредуваат корективниот фактор се: степен на истраженост на наоѓалиштето, постоење на вонбилансни резерви, нивниот обем и структура по категории, како и сите останати фактори кои влијаат на истражувањето, експлоатацијата, подготовката и примарната преработка на минералната сировина, можноста од комплексно искористувања на корисните компоненти, влијанието на минималната содржина на корисни компоненти, условите за пласман на домашните и странските пазари, степенот на суфицит или дефицит на сировина, можноста за супституција, стратегиското значење на сировините, општата ситуација во поглед на долгорочните перспективи и трендови на домашниот и странскиот пазар во однос на понудата и побарувачката и др.

Поимот корекциона каматна стапка се јавува во методологијата на Милутиновиќ. Според некои други автори се употребува и шпекулативна стапка како посебен облик на дисконтирање бидејќи инвестициите во рударството подлежат на ризик кој однапред не може да се предвиди. Покрај овие практични вредности еден од причините за воведување на шпекулативната стапка бил за намалување на почетната цена на рудникот при пренесување на сопственост.

Во некои земји се зема само нормалната каматна стапка поради начинот на работење каде ризикот е минимален. Во методологијата на Милутиновиќ корекционата стапка е во тесна врска со нестабилноста на производството поради променливоста на квалитетот на корисната супстанца. Оваа промена е разлика која методологијата настојува да ја опфати. Во принцип разликата кај повисоките категории е помала и обратно.

Кај ваквите претпријатија одреден ризик е и пазарот. Освен општите производствени текови, на пласманот на одреден вид и квалитетот на руда може да влијае и појавата на друг вид и квалитет, чишто својства ќе бидат поинтересни за потрошувачите.

Со корекционата стапка треба да се предвидат сите фактори кои не се опфатени со трошоците ниту промената на базните износи преку продуктивноста на наоѓалиштето, средствата и работата. Овие фактори можат да бидат: општи, кои се однесуваат на сите наоѓалишта на минерални сировини и посебни, кои се однесуваат само на одредени наоѓалишта. Со утврдување и синтеза на вредноста на овие влијанија се добива висината на корекционата стапка.

Корективната каматна стапка се утврдува посебно за секое наоѓалиште (рудник) за кое се пресметува економската оцена. Во сложени случаи, во постапката за одредување на корективниот фактор мораат да учествуваат стручни лица од различни профили и специјалности (геолози, технолози, економисти, стручњаци од различни области во рударството и др.). Исто така, треба да се напомене дека кај секој вид на минерална сировина постојат одредени специфичности кои мора да се земат предвид при одредувањето на корективната каматна стапка.

За време на утврдување на корективната каматна стапка, треба да се смета и на тоа дека во одредени случаи на економска оцена можно е само еден од елементите да добие одлучувачко значење и од него да зависи нивото на корективната каматна стапка.

Стапка на промена на продуктивноста

Во геолошко-економската оцена се внесуваат и други делови како промена на продуктивноста на наоѓалиштето, средствата и работата. Во тој случај се создаваат услови да дојде до промена (наламување или зголемување) и на базните износи, со што методолошки се решава проблемот со нееднаквите базни износи.

Најважни фактори за пораст на продуктивноста се: факторите поврзани со обемот и квалитетот на резервите, ефикасноста на методите за експлоатација, техничките достигнувања во врска со ефикасноста на опремата, работата на ефектот на вреботените во истражувањето, експлоатацијата, подготовката (концентрацијата) и примарното производство на минералната сировина што е исто така важен фактор во организација на работата.

Стапката на продуктивноста на работата во конкретните пресметки се изразува на два начини, во зависност од карактерот на промената на овие

категории. Во првиот случај, предвидениот пораст на продуктивноста е прикажан така што процесот на пораст во следните години е поврзан со една основна година, па тогаш стапката на пораст се пресметува по аритметичка прогресија-симбол (d).

Во вториот случај, порастот на продуктивноста се прикажува така што процесот на пораст во една година се поврзува со веќе утврдениот пораст во претходната, поради што вишокот на работа расте по геометриска прогресија-симбол (q).

9.4. Методи на геолошко-економска оцена

Методологијата на геолошко-економската оцена (вредноста) на наоѓалиштето е разградена за сите фази и стадиуми по развојот на наоѓалиштето. Таа овозможува оцена не само на рудниците кои се во експлоатација, туку и на секое наоѓалиште без разлика во која фаза од развојот се наоѓа. На тој начин оваа методологија се применува за економска оцена на:

- активни рудници,
- рудници во изградба,
- наоѓалишта и рудници чија експлоатација доаѓа предвид по неколку години (одлежена експлоатација),
- билансни резерви кои од некоја причина не се ставени во изградени или развиани капацитети.

Геолошко-економската оцена на наоѓалиштата на минерални суровини, како што е споменато, се врши на крајот на секој стадиум од проспекциско-истражниот процес. Одејќи од почетокот кон крајот на стадиумот расте степенот на истраженост на наоѓалиштето, вклучувајќи ги и деталноста во познавањето на факторите и показателите на геолошко-економската оцена на наоѓалиштата.

Комплексната методологија на геолошко-економската оцена се состои од пет фази кои се надоврзуваат една со друга. Тоа овозможува оваа оцена да се користи за сите видови минерални суровини и за сите стадиуми на истражување и експлоатација.

Во првата развојна фаза се дисконтира базниот износ D-BLD+A со помош на нормалната каматна стапка. Добиениот износ повторно се дисконтира, но

сега со корективна каматна стапка. На тој начин економската (вредносната) оцена се пресметува преку две равенки кои се изразуваат со симболите EO_1 и EO_2 :

$$EO_1 = \frac{D - BLD + A}{\left(r + \frac{r}{100}\right)^n}$$

каде:

EO_1 -сегашна економската оцена на рудникот (наоѓалиштето) за првиот комплетен тек, во парична единица;

D-доходот во парична единица;

BLD-брuto личен доход, во парична единица;

A-амортизација, во парична единица;

r-нормална каматна стапка, во %;

n-број на години на експлоатација.

Оваа равенка се однесува на економската оцена по една година работа. Доколку рудникот работи повеќе години, поаѓајќи од постојаните годишни износи на доходот односно вишокот на работа и амортизација и со користење на таблицата на интерес се добива следната равенка за практична употреба:

$$EO_1 = (D - BLD + A) \cdot IV_r^n$$

каде:

IV_r^n -табеларна вредност на четвртата таблица на интерес за "n" години и "r" нормална каматна стапка.

Во пресметката исто така треба да се вклучи и корективната каматна стапка па тогаш се добива следниот израз:

$$EO_2 = \frac{EO_1}{\left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot IV_r^n\right)}$$

каде:

EO_2 -сегашната економска оцена на рудникот (наоѓалиштето) за другиот комплексен тек, во парична единица;

r_1 -корективна каматна стапка, %.

Во **втората развојна фаза** од геолошко-економската оцена се вклучува и стапката која треба да ја изрази промената во продуктивноста на

наоѓалиштето, средствата и работата. На тој начин се решаваат проблемите со променливоста (нееднаквоста) на базните износи и утврдувањето на нивните промени кои се условени од измената на природните, техничките и работните услови.

Равенката EO_3 ја изразува економската (вредносната) оцена на рудникот (наоѓалиштето), кога примената во продуктивност се изразува по аритметичка прогресија и го има следниот израз:

$$EO_3 = \frac{(D - BLD + A) \cdot \left[N_r^n + \frac{100d}{r} \cdot (N_r^n - n \cdot I_r^n) \right]}{\left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot N_r^n \right)}$$

каде:

EO_3 -сегашна економската оцена на рудникот (наоѓалиштето) за другиот комплетен тек, во парична единица;

d -стапката на промена на продуктивност искажана по аритметичка прогресија во %;

I_r^n -табеларна вредност на втората таблица на интерес за “ n ” години на експлоатација и “ r ” нормална каматна стапка.

Равенката EO_4 претставува израз за економската вредносната оцена во кој промената на продуктивност на работата на наоѓалиштето и средствата е изразена по геометриска прогресија:

$$EO_4 = \frac{(D - BLD + A) \cdot (R^n - Q^n)}{R^n \cdot \left(\frac{r - q}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot N_r^n \right)}$$

каде:

EO_4 -сегашната економска оцена на рудникот (наоѓалиштето) за другиот комплексен тек, во парична единица;

q -стапката на промена на продуктивноста искажана по геометриска прогресија, во %.

$$Q = \left(1 + \frac{q}{100} \right)$$

$$R = \left(1 + \frac{r}{100} \right)$$

Кога во пракса ќе се појави случај каде $q=r$, се користи Лопиталовото правило, па економската оцена се пресметува по следната равенка:

$$EO_4 = (D - BLD + A) \cdot \frac{n}{R} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot IV_r^n\right)}$$

Во праксата најчесто се користи равенката EO_4 поради суштината на динамичкиот поим на продуктивноста. Освен тоа потребно е да се нагласи дека равенките EO_3 и EO_4 се користат исклучиво за пресметка на економстака оцена на активни рудници.

Во третата развојна фаза од економската (вредносната) оцена на наоѓалиштата овозможува на соодветен начин да се изврши проценка и на рудниците кои се наоѓаат во изградба, односно на наоѓалиштата кои во времето кога се врши проценка не произведуваат минерални сировини.

За овој случај како и кај оценката на активните рудници, постојат парна (EO_5) и непарна (EO_6) формула, во зависност од тоа дали стапката на продуктивноста е прикажана по аритметичка или геометриска прогресија.

Равенките во двата сличаи го имаат следниот облик:

$$EO_5 = \frac{(D - BLD) \cdot \left[IV_r^n + \frac{100d}{r} \cdot (IV_r^n - n \cdot II_r^n) \right]}{\left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot IV_r^n\right)}$$

односно

$$EO_6 = \frac{(D - BLD) \cdot (R^n - Q^n)}{R^n \cdot \left(\frac{r - q}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot IV_r^n\right)}$$

каде EO_5 и EO_6 се сегашните економски оцени на рудникот (наоѓалиштето) за третиот комплексен ток.

Како што се гледа од равенките EO_5 и EO_6 за разлика од EO_3 и EO_4 , во базниот износ нема амортизација (A), туку само годишен доход намален за износот на годишниот бруто личен доход.

Четвртата развојна фаза во методологијата на економската (вредносната) оцена се пресметува во следните два случаи:

1. за оцена на наоѓалиштата за кои се предвидува дека ќе бидат експлоатирани за одредено време по терминот на оценката;

2. за оценка на наоѓалиштата со низок степен на истраженост, со одложена експлоатација од 5 години од денот на економската оцена.

Во ситуација кога во практиката ќе се појават вакви случаи, потребно е да се одредат два нови елементи: број на години кои ќе поминат од денот на вршење на економската оцена до денот на идната експлоатација “m” и корективна каматна стапка “r₂”, за период на одложена експлоатација на оценуваното наоѓалиште.

Во случаи кога се работи за одложена експлоатација на наоѓалиште кое е истражено, се земаат основните податоци за резервите со кои тоа располага, како и останатите елементи кои се потребни за економска оцена пресметката ќе се врши по следните формули:

$$EO_7 = \frac{EO_5}{\left(1 + \frac{r_2}{100}\right)^m}$$

односно

$$EO_7 = EO_5 \cdot \text{II}_{r_2}^m$$

и

$$EO_8 = \frac{EO_6}{\left(1 + \frac{r_2}{100}\right)^m}$$

односно

$$EO_8 = EO_6 \cdot \text{II}_{r_2}^m$$

каде:

EO₇ и EO₈ ја претставуваат сегашната економска вредност на рудникот (наоѓалиштето) за четвртиот комплексен тек, во парични единици;

r₂ е корективна стапка за периодот на одложена економска експлоатација на оценуваното наоѓалиште, во %;

m е број на години за кој е одложена експлоатацијата од моментот на оценката.

Потребно е да се напомене дека кај пресметките за EO₇ и EO₈ како наоѓалишта кои не се во експлоатација, не располагаме со точни вредносни показатели, па тие мора да се добијат од проектот за отворање на рудникот или од инвестиционата програма, односно од дадената студија.

Петата развојна фаза ги опфаќа оние наоѓалишта и билансни резерви од А+Б+Ц₁ категорија, кои не биле опфатени во доменот на некој од досега наведените случаи. Тоа се билансните резерви на кои можат да се планираат и градат нови производни капацитети кога за таков потфат ќе се обезбедат одговарачките услови. Економската оценка за овој начин ќе се пресмета преку равенката:

$$EO_9 = BPR \cdot m_a$$

каде:

EO₉-економска оцена на перспективните билансни резерви од А+Б+Ц₁ категорија, во парични единици;

BPR-количински израз за перспективните билансни резерви од А+Б+Ц₁ категорија, кои од некоја причина не можат да припаднат во изградените капацитети, или капацитетите во изградба и со одложена експлоатација, во тони;

m_a-долна граница на акумулативноста (минимална акумулативност) која се однесува на дадената суровина, во парична единица.

Равенката EO₉ одговара на економската (вредносната) оцена на минералните суровини во регионот, покраината, републиката или земјата во целина. Тоа е поради елементот "m_a"-долна граница на акумулативност за дадена минерална суровина, која се утврдува со аритметички метод врз основа на резултатите добиени од комплетната постапка за утврдување на економската оцена на EO₃ и EO₄ (во изградени капацитети), на EO₅ и EO₆ (за капацитети во изградба) и за EO₇ и EO₈ (за капацитети во одложена експлоатација).

Во целокупната методологија на геолошко-економската (вредносната) оцена до крај се зема предвид временскиот аспект, што може најдобро да се согледа од следната низа:

» равенките EO₁, EO₂, EO₃ и EO₄ покажуваат дека наоѓалиштата денес во моментот на оцената се во експлоатација;

» равенките EO₅ и EO₆ покажуваат дека по точно дефинираното време на инвестиционата изградба наоѓалиштето ќе биде спремно за експлоатација;

» равенките EO_7 и EO_8 покажуваат дека наоѓалиштето ќе почне со експлоатација кога за тоа ќе се обезбедат потребните услови и

» равенката EO_9 се однесува за перспективните билансни резерви кои во блиска или подалечна иднина ќе бидат вклучени во изградбата или развојот на капацитетите.

Оцената на поединечните рудници и наоѓалишта е основа за да се изврши сумирање (рекапитулација) на вредноста на минералниот потенцијал за дадениот регион. Таа рекапитулација може да се синтетизира според следните критериуми:

- ♦ според одговарачките видови минерални сировини, односно технолошки принципи;

- ♦ според индустриските гранки, врз основа на планско-статистичките принципи;

- ♦ според карактерот на капацитетите (временскиот аспект): изградени, во изградба, односно дали се во прашање перспективни капацитети;

Во доменот на расположливите можности, добиените податоци за економската оцена овозможуваат подетално анализирање на:

- ♦ коефициентот на индустриското искористување на резервите на минералната сировина;

- ♦ економска оцена фиксирана за единица резерви;

- ♦ степен на обезбеденост на минералната сировина со помош на оцената на акумулативноста;

- ♦ аналитички метод за утврдување на маргиналните трошоци за истражување врз основа на резултатите добиени од економската оцена;

- ♦ утврдување на приоритетните минерални сировини од гледиште на перспективно планирање на истражувањето.

Показателот за просечната вредност по единица резерви на одредена минерална сировина има повеќекратно значење за различни квалитативни и квантитативни анализи. Изразот колку парични единици на вредносната оцена отпаѓа на тон резерви, директно покажува во која мера експлоатацијата е економична и рентабилна, а исто така и во колкава мера таа ќе биде економична и рентабилна кога ќе дојде до зголемување на капацитетите. Врз основа на податоците од геолошко-економската оцена и другите индикатори

поврзани со неа, можат да се утврдат приоритетите во истражувањето и развојот на суровинските бази.

Методологијата на геолошко-економската (вредносна) оцена, денес е еден од најкомплетните и најсигурните начини за утврдување на условната вредност на наоѓалиштата на минерални суровини.

Оваа методологија на геолошко-економска оцена може успешно да се користи и во земјите во развој.

Постојат многу методи за геолошко-економска оцена на наоѓалиштата, но тие, со оглед на временскиот фактор, можат да се поделат на две основни групи:

- а) методи кај кои не се зема предвид временскиот фактор;
- б) методи кај кои се зема предвид и временскиот фактор.

Со оглед на големата важност на временскиот фактор во геолошко-економската оцена на наоѓалиштата, втората група методи има поголемо научно и практично значење. Првата група на методи поради својата едноставност главно се користи за брза, приближна и само привремена геолошко-економска оцена на наоѓалиштата.

9.5. Примена на геолошко-економската оцена

За да се објасни геолошко-економската оцена на наоѓалиштето “Сивец” сите пресметки ќе бидат извршени според претходно прикажаните постапки. Во пресметката за геолошко-економската оцена на наоѓалиштето најпрво треба да се знаат резервите на даденото наоѓалиште. Резервите се добиваат со геолошки истражувања и резервите се дадени во претходната табела при што за наоѓалиштето “Сивец” тие вкупно билансни и вонбилансни изнесуваат **67047130 м³**.

Потоа продолжуваме со коефициент на искористување на резервите кој зависи од категоријата на резерви (колку е поголем бројот на резерви од А-категорија толку е поголем коефициентот на искористување), од самата минерална суровина дали е таа хомогена или е во прослојки, потоа зависи од самата технологија на ископување и од истраженоста на наоѓалиштето. Во досегашната практика на работење и од податоците кои се добиваат коефициентот на искористување во наоѓалиштето “Сивец” изнесува од 6% до 14% при што се зема средна вредност од приближно **10%**.

Следни во пресметката се рудните резерви по репродукцијата. Таа се добива кога коефициентот на искористување на резервите ќе се подели со сто, а потоа ќе се помножи со пресметаните геолошки рудни резерви. Тоа се изразува преку равенката:

$$\frac{10}{100} \cdot 67047130 = 0.1 \cdot 67047130 = 6704713m^3$$

$$6704713m^3 \cdot 2.858 \frac{t}{m^3} = 19162070t$$

Потоа следува годишното производство кое секогаш го одредува инвеститорот во проект според потребите кои се наметнуваат. Во случајот за наоѓалиштето “Сивец”, годишно откопаната маса е околу $250000m^3$, а годишното производство изнесува околу $25000m^3$ или:

$$250000m^3 \cdot 2.858 \frac{t}{m^3} = 714500t$$

$$25000m^3 \cdot 2.858 \frac{t}{m^3} = 71450t$$

каде:

$$2.858 \frac{t}{m^3} - \text{специфична маса на мермерот од наоѓалиштето “Сивец”}$$

Тоа покажува дека годишното производство изнесува приближно околу **71450 t**.

Векот на експлоатација на наоѓалиштето (n) се добива кога резервите по репродукција ќе се поделат со годишното производство односно годишно откопаната мермерна маса. Векот на експлоатација на наоѓалиштето го добиваме преку следната равенка:

$$n = \frac{6704713}{250000} = 26.8 \approx 27 \text{ години}$$

Единечна цена или цена на чинење се добива кога вкупните трошоци ќе се поделат со годишното производство. Во вкупни трошоци припаѓаат: бруто-личен доход на вработените, материјални трошоци и трошоците за потребната амортизација. Оваа вредност може да се пресмета преку следната равенка:

$$\text{Единечна цена} = \frac{BLD+MT+A}{71450} = \frac{1920000+3500000+700000}{71450} = \frac{6120000}{71450} = 85.6 \text{ EUR/t}$$

Единечната цена е пресметана во евра.

Бруто-личниот доход на вработените го одредува претпријатието врз основа на систематизацијата која е извршена во самото претпријатие, а врз основа на квалификациите на вработените. Во наоѓалиштето директно се вработени 220 работници, а предвид се земени и 40 работници од заедничките служби, така што бруто-личниот доход за сите нив изнесува **1920000 EUR** годишно.

Материјалните трошоци се однесуваат на основниот потрошен материјал којшто е потребен за нормално изведување на работата во наоѓалиштето. Материјалните трошоци за наоѓалиштето “Сивец” изнесуваат **3500000 EUR** годишно.

Нормалната каматна стапка (r) односно нејзината вредност се одредува од страна на банките, или другите финансиски институции кои позајмуваат средства. Моментално вредноста на нормалната каматна стапка изнесува **10%**.

Корекционата каматна стапка (r_1), односно нејзината вредност исто така е одредена од страна на банките или другите институции. Вредноста на корекционата каматна стапка за ваквите проекти се движи од 4-8%, а во случајот на наоѓалиштето “Сивец” таа изнесува **4%**.

Амортизацијата се однесува на трошоците кои се потребни за набавка на механизацијата која е неопходна за непречено изведување на работата, како и на трошоците кои се потребни за таа механизација, за да се одржува во исправна состојба и истата за наоѓалиштето “Сивец” изнесува **700000 EUR** годишно.

Бројот на години на одложена експлоатација (m) ни го покажува бројот на години за кои одредено наоѓалиште ќе почне да се експлоатира од моментот на изведувањето на геолошко-економската оцена. Одложената експлоатација може да биде поради различни причини како што се: ниската цена на рудата, неповолните услови во државата, непостоењето на пристапни патишта и слично.

Во случајот со наоѓалиштето Сивец тој период се проценува на две години.

Корекционата каматна стапка за период на одложена експлоатација (r_2) изнесува **3%**.

Доходот на едно наоѓалиште се добива кога од вкупниот приход ќе се одземат материјалните трошоци. За наоѓалиштето “Сивец” таа вредност може да се пресмета преку следната равенка:

$$D = VP - MT$$

VP = вкупен приход

$$VP = 71450 \cdot 230 = 16433500 \text{ EUR}$$

$$D = 16433500 - 3500000 = 12933500 \text{ EUR}$$

При геолошко-економската оцена на наоѓалиштата постојат пет развојни фази.

Прва развојна фаза е економска оцена на наоѓалиштата по една година работење. Се користат равенките EO_1 и EO_2 . За наоѓалиштето “Сивец” се добиени следните вредности:

$$EO_1 = (D - BLD + A) \cdot IV_r^n = (12933500 - 2620000) \cdot 9.2372216 = 9526808497$$

$$EO_2 = \frac{EO_1}{\left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot IV_r^n\right)} = \frac{9526808497}{\left(1 + \frac{4}{100} \cdot 9.23722316\right)} = \frac{9526808497}{1.369368864} = 6956470218$$

Втората развојна фаза е економска оцена на изградени капацитети. Се користат равенките EO_3 и EO_4 . За наоѓалиштето “Сивец” се добиени следните вредности:

$$EO_3 = \frac{(D - BLD + A) \cdot \left[IV_r^n + \frac{100d}{r} \cdot (IV_r^n - n \cdot II_r^n)\right]}{\left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot IV_r^n\right)}$$

$$EO_3 = \frac{10313500 \cdot [9.23716530 + 100 \cdot (9.2372216 - 27 \cdot 0.07627768)]}{1.369368864} \cdot \frac{8086553936}{1.369368864} = 5905314593$$

$$EO_4 = \frac{(D - BLD + A) \cdot (R^n - Q^n)}{R^n \cdot \left(\frac{r - q}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot IV_r^n\right)}$$

$$\frac{10313500 \cdot 11.4031077}{13.1099941 \cdot 0.08 \cdot 1.369368864} = \frac{1176059512}{1.436193418} = 8188726513$$

каде:

$$Q = \left(1 + \frac{q}{100}\right) = 1.02$$

$$R = \left(1 + \frac{r}{100}\right) = 1.1$$

Трета развојна фаза се користи за оценка на наоѓалиштето кога капацитетот (рудникот) е во фаза на изградба. Во овој случај се користат равенките EO_5 и EO_6 . За наоѓалиштето “Сивец” се добиени следните вредности:

$$EO_5 = \frac{(D - BLD) \cdot \left[N_r^n + \frac{100d}{r} \cdot (N_r^n - n \cdot I_r^n) \right]}{\left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot N_r^n \right)}$$

$$EO_5 = \frac{11013500 \cdot \left[9.23722316 + \frac{100 \cdot 10}{10} \cdot (9.23722316 - 27 \cdot 0.07627768) \right]}{1.369368864} = \frac{8635406194}{1.369368864} = 6306121324$$

односно:

$$EO_6 = \frac{(D - BLD) \cdot (R^n - Q^n)}{R^n \cdot \left(\frac{r - q}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot N_r^n \right)}$$

$$EO_6 = \frac{11013500 \cdot 11.4031077}{13.1099941 \cdot 0.08 \cdot 1.369368864} = \frac{1257933825}{1.436193418} = 8758805111$$

Четвртата развојна фаза се користи за оценка на наоѓалиштата за капацитет со одложена експлоатација од моментот на оценката. Се користат равенките EO_7 , $EO_{8/1}$ и $EO_{8/2}$. За наоѓалиштето “Сивец” со оваа оценка се добиени следните вредности:

$$EO_7 = \frac{EO_5}{\left(1 + \frac{r_2}{100} \right)^m} = \frac{6306121324}{1.0609} = 5941296374$$

односно

$$EO_7 = EO_5 \cdot I_{r_2}^m = 6306121324 \cdot 0.94259591 = 5944124167$$

и

$$EO_{8/1} = \frac{EO_6}{\left(1 + \frac{r_2}{100} \right)^m} = \frac{8758805111}{1.0609} = 8256013866$$

односно

$$EO_{8/2} = EO_6 \cdot I_{r_2}^m = 8758805111 \cdot 0.94259591 = 8256013874$$

Петтата развојна фаза се користи за економска оцена на наоѓалиштата за поголем регион (државата во целина). Се пресметува со равенката EO_9 . Во случајот за наоѓалиштето “Сивец” ваква пресметка не се врши.

За пресметката на економската оцена на наоѓалиштето “Сивец” избрана е равенката на Милутинивиќ која гласи:

$$EO_4 = \frac{(D - BLD + A) \cdot (q^n - R^n)}{R^n \cdot (q - R) \cdot \left(1 + \frac{r_1}{100} \cdot N_r^n\right)}$$

$$EO_4 = \frac{10313500 \cdot (1.7068864 - 13.109994)}{-1.048799528 \cdot 1.369368864} = \frac{10313500 \cdot (-11.4031077)}{-1.4361934} = 81887763856$$

9. 6. Анализа на добиените резултати

Вредноста на економската оцена покажува на кои бруто-средства може да смета рудникот “Сивец” за време на период со кој е дефиниран векот на експлоатација на истиот, при вреднувањето на наоѓалиштето.

Добиените резултати се анализираат со цел да се покаже:

- коефициентот на индустриската искористеност на резервите и
- економската оцена сведена на единечна вредност.

Коефициентот на индустриската искористеност на резервите е дефиниран како однос на рудните резерви за изградениот (сегашниот) и перспективниот капацитет на рудникот.

Од процентуалната структура се гледа дека досегашната искористеност на минералната сировина се движи од 50-66%.

Поради овие причини, нови инвестициони вложувања за зголемување на производствениот капацитет на рудникот, потполно се оправдани.

Економската оцена сведена на единечна вредност на рудните резерви изразена во EUR/ton комерцијални блокови, укажува на рентабилна експлоатација во рудникот “Сивец”.

Според претходното излагање за економската оцена на наоѓалиштето “Сивец” може да се заклучи дека е со големи потенцијални резерви, така што неговото проширување ќе даде атрактивни економски ефекти. Резултатите од геолошко-економската оценка на наоѓалиштето “Сивец” се прикажани во табела 13.

Табела. бр. 13. Геолошко-економска оцена на наоѓалиштето за бел мермер "СИВЕЦ"
 Table. No. 13. Geologically-economical assessment of the deposit of white marble "SIVEC"

Ред.бр.	Параметри	Вредност	
1	Пресметани геолошки резерви	67047130	m^3
2	Коефициент на искористување на резервите	10	%
3	Резерви по редукција	6704713	m^3
4	Годишно откопана маса	250000	m^3
5	Годишно производство на мермерни блокови	25000	m^3
6	n (век на експлоатација)	27	God.
7	Единечна цена на чинење (EUR/t)	85.6	EUR/t
8	Средна вредност на продажна цена (EUR/t)	230	EUR/t
9	BLD (EUR/год.)	1920000,00	EUR/год
10	MT (EUR/год.)	3500000,00	EUR/год
11	q (стапка на промена на продуктивноста по геометриска прогресија)	2	%
12	r (нормална каматна стапка)	10	%
13	r_1 (корекциона каматна стапка 4-8%)	4	%
14	A (амортизација)	700000,00	EUR
15	d (стапка на промена на продуктивноста по аритметичка прогресија)	10	%
16	m (број на години на одложена експлоатација)	2	Год.
17	r_2 (корекциона каматна стапка за периодот на одложена експлоатација)	3	%
18	VP (вкупен приход)	16433500	EUR/год
19	$D = VP - MT$	12933500	EUR/год
20	$R = \left(1 + \frac{r}{100}\right)$	1.1	
21	$Q = \left(1 + \frac{q}{100}\right)$	1.02	
22	$R^n - Q^n$	11.4031077	
23	R^n	13.1099941	
24	$\frac{(r - q)}{100}$	0.08	
25	IV_r^n	9.23722316	
26	$1 + \frac{r_1}{100} \cdot IV_r^n$	1.369368864	
27	II_r^n	0.07627768	
28	$II_{r_2}^m$	0.94259591	
29	EO_1	95268084.97	EUR
30	EO_2	69564072.18	EUR
31	EO_3	5905314593	EUR
32	EO_4	81887265.13	EUR
33	EO_5	6306121324	EUR
34	EO_6	8758805.111	EUR
35	EO_7	5941296374	EUR
36	EO_{8-1}	8256013.865	EUR
37	EO_{8-2}	8256013.873	EUR

10. ЗАКЛУЧОК

Во овој труд комплексно беа презентирани минерагенетските карактеристики, односно беа презентирани сите параметри кои се добија како резултат на извршените научни испитувања, кои донекаде дадоа една јасна слика за специфичноста на појавувањето, типот и видовите мермери од наоѓалиштето за бел мермер “Сивец”.

► Најголемо производство на мермер во Република Македонија се остварува од површинскиот коп “Сивец” каде се вадат комерцијални блокови од бел доломитски мермер како и блокови со поткомерцијални големини и вредности.

► Под името “Рудник Сивец” се подразбираат повеќе површински копови каде се врши редовна експлоатација и каде подготовката на коповите, технологијата на добивање на комерцијални блокови и транспортот се делумо независни.

► Покрај комплексното прикажување на истражуваниот терен и неговата поширока околина за кој беше направена комплексна анализа на сите досегашни истражувања, беше извршен и избор на примероци на мермер и различни видови на калцит и други минерали кои се среќаваат во наоѓалиштето на кои беа изведени лабораториски испитувања кои ги дадоа следните резултати:

► Пресекот на добиените резултати од рендгено-структурните анализи може да се сумира во фактот дека во анализираните примероци доминира доломитот со опсег на вредности од 94 до 99.7%, а токму ваквите добиени вредности покажуваат на постоење на интензивна доломитизација (некаде и преку 99% од карбонатната компонента).

Потоа во минорни количества следуваат: калцит со присуство во траги па сè до максималните 5.5%, кварц кој се јавува во опсег од 0.3 до 1.2%, гранат со 0.3% и халкопирит со константните 0.6%.

Присуството на халкопиритот се должи на зголемените концентрации на сулфур во растворите одговорни за процесите на доломитизација.

► Од сето ова сакам да потенцирам дека утврдениот минеролошки состав нè посочува на варовник, односно доломит кој бил рекристализиран под влијание на надворешните влијанија како што се топлина, притисок или присуство на течни раствори. Фактот дека мермерите се всушност мозаик на

разни минерални односи се потврдува и во овој случај, кога главно доломитски и помалку калцитски зрна, честопати се прослоени со други минерали како што се кварц, гранат, халкопирит и др., кои всушност ги претставуваат “нечистотиите” во иницијалниот варовник кои стапиле во реакција за време на метаморфизмот и формирале нови компоненти.

► Од добиените резултати од геохемиските испитувања јасно се гледа дека станува збор за примероци со зголемени содржини на CaO и MgO со однос на Ca:Mg=3:2 како и зголемена содржина на Sr, и вредности на концентрации на елементите од редот на Ni, V, As, Au и Zr, иако се во опсег на вообичаените, односно нормални за ваков вид карпи (*Brownlow, 1996*). Сепак, даваат геохемиски информации за одредени процеси при еволуцијата на системот во кој се наоѓаат.

► Од испитувањата на изотопите се добија следните резултати:

Изотопниот состав на јаглеродот во мермерите се движи во опсег $\delta^{13}C_{PDB}$ од -0.23 до -1.67‰, додека изотопниот состав на кислородот во истите се движи во опсег $\delta^{18}O_{PDB}$ од -2.67 до +2.87‰ односно $\delta^{18}O_{SMOW}$ од +27.2575 до +32.9687‰.

Изотопниот состав на јаглеродот во калцитите се движи во опсег $\delta^{13}C_{PDB}$ од -1.34 до 1.25‰, додека изотопниот состав на кислородот во калцитите се движи во опсег $\delta^{18}O_{PDB}$ од -14.07 до -6.77‰ односно $\delta^{18}O_{SMOW}$ од +15.51 до +23.03‰.

Изотопниот состав на јаглеродот, во калцитите и мермерите (скоро чисто доломитски), овозможија и пресметка на евентуалната температура на формирање. Имено, пресметките базирани врз средните вредности за $\delta^{13}C$ во калцитите и $\delta^{13}C$ во мермерите, со примена на изотопниот термометар на Sheppard and Schwartz (1970) дадоа вредности од околу 270°C.

Имено, варовниците имаат широк опсег на изотопни вредности, а како последица на нивните различни примарни и секундарни геолошки истории. Таа разновидност се јавува како последица на голем број комплексни и меѓусебно поврзани фактори како што се температурата, изотопниот состав на водата од кои се формирале разновидните карбонатни компоненти, карактерот и достапноста на различните извори на јаглерод и слично.

Калцитот во мермерите може да го одржи изотопниот состав на кислородот, но ретко можат да го одржат во рамнотежа изотопниот состав на јаглеродот. Осиромашувањето (или евентуално збогатувањето) со ^{18}O и ^{13}C ,

главно, може да се појасни со интеракцијата на протолитот со флуидите за време на проградниот метаморфизам.

Добиените високи податоци за изотопниот состав на кислородот, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ во опсег од 27.25 до 32.97‰ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ во опсег од -0.23 до -1.67‰, зборува за униформен состав, кој пак, од своја страна укажува на метаморфизам во затворен систем.

Постигнувањето на рамнотежна изотопна размена најверојатно било контролирано од страна на динамичката рекристализација, која се јавила за време на максималниот метаморфизам.

За разлика од доломитските мермери, кај калцитите вредностите се релативно ниски $\delta^{18}\text{O}$ (15.51÷23.03‰) и $\delta^{13}\text{C}$ (1.06 ÷ -1.34‰) и ја отсликуваат најверојатната подоцнежна инфилтрација на флуиди по тектонски ослабените средини. Во прилог на ова оди и слабата позитивна корелација помеѓу $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ во примероците од калцитите која сугерира дека јаглеродот е секундарен, а не примарен како оној во доломитскиот мермер.

Тие најверојатно се јавиле како последица на реакциите декарбонификација што довело до намалување на вредностите на изотопниот состав на јаглеродот.

► Во овој труд направено е и компјутерско моделирање при што се користени методи на компјутерска обработка на дел од податоците со почетни основи на табеларна база на податоци. Методот на формирање на дигитална база со 3D-модел, применета на наоѓалиштето “Сивец” е за ограничен број на параметри и треба да ги отвори можностите на масовна употреба на компјутерската техника во геологијата и рударството.

► При геолошко-економска оцена на наоѓалиштата на минерални суровини се земаат предвид и се анализираат следните геолошки фактори: геолошки, рударско-технички, технолошки, регионални пазарни, социјално-економско-стратиграфски.

Од пресметаната геолошко-економска оцена се доби следниот резултат за вредноста на рудникот Сивец во експлоатација:

EO_4 81887265.13 EUR

11. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- Арсовски М. (1960). Некои особености на тектонскиот склоп на централниот дел на Пелагонискиот хорст-антиклинориум и неговиот однос со Вардарската зона.
- Арсовски М. (1961). Општи црти на тектонскиот развој на Пелагонискиот хорст-антиклинориум и неговото место во алпската структура на Македонија.
- Арсовски М., Думурџанов Н. (1984). Нови сознанија за градбата на Пелагонискиот хорст-антиклинориум и неговата врска со Родоскиот и Српско-македонскиот масив.
- Арсовски М., Петковски Р. (1975). Неотектоника на СР Македонија (публикација бр. 49). 1975
- Анѓелковиќ М. (1988). Геологија на Југославија, второ издание.
- Акџау, М., Özkan, H. M., Spiro, B., Wilson, R. and Hoskin, P. W. O., (2003). Geochemistry of a high-*T* hydrothermal dolostone from the Emirli (Ödemiş, western Turkey) Sb-Au deposit. *Mineralogical Magazine*, August 2003, Vol. 67(4), pp. 671–688
- Baker, A. J., (1990). Stable Isotopic Evidence for Fluid-Rock Interactions in the Ivrea Zone, Italy. *Journal of Petrology* (1990) 31 (1): 243-260.doi: 10.1093 /petrology /31.1.243.
- Brownlow, H. A., (1996). *Geochemistry*. 2nd Edition. Prentice Hall, Inc., U.S.A., 580 p.
- Beyth, M., Longstaffe, F.J., Ayalon, A. and Mathews, A., 1997. Epigenetic alteration of the Precambrian igneous complex at Mount Timna, southern Israel: oxygen isotope studies. *Isr. J. Earth Sci.* 46, 1-11.
- Brownlow, H. A., (1996). *Geochemistry*. 2nd Edition. Prentice Hall, Inc., U.S.A., 580 p.
- Думурџанов Н., Петроски К., Стојанов Р. (1972). Толкувач на листот Крушево, Геолошки завод.
- Думурџанов Н. (1985). Петрогенетски карактеристики на високо-магматските и метаморфните карпи на централните и западните делови на Селечка Планина.
- Думурџанов Н., Петров Г., Стојанов Р., и др. (1990). Тектоника и нејзиното значење за експлоатација на комерцијални блокови во мермерната маса “Сивец” - Прилеп (XII конгрес на геолози на Југославија).

- Думурџанов Н., Петров Г. (1995). Студија за тектонската градба на мермерните маси на подрачјето Козјак-Плетвар-Сивец-Небрегово, РГФ-Штип.
- Duliu G. O, Grec M. N., Cristea C. (2009). EPR and X-Ray Diffraction Investigation of Some Greek Marbles and Limestones. *Romanian Reports in Physics*, Vol. 61, No. 3, P. 487–499,
- Jankovic S., Milovanovic D. (1985). *Ekonomiska geologija i osnovi ekonomike mineralnih surovina*. Rudarsko-geoloski fakultet Beograd 403 str.
- Jeršek M. and Mirtič B., (1999). Corundum from Prilep Dolomitic Marble (Macedonia) = *Korundi prilepskega dolomitnega marmorja (Makedonija)*.-*Scopolia* 41:1-22.
- Jovanovski, G., Boev, B., Makreski, P., Najdoski, M. and Mladenovski, G., (2003). MINERALS FROM MACEDONIA, XI. SILICATE VARIETIES AND THEIR LOCALITIES – IDENTIFICATION BY FT IR SPECTROSCOPY. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia*, Vol. 22, No. 2, pp. 111–141
- Kaminskas, D., Bičkauskas, G. and Brazauskas, A., (2010). Silurian dolostones of eastern Lithuania. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 2010, 59, 2, 180-186
- Кепески Б. (1988). Научно истражување за најпогоден метод на експлоатација на мермерите заради максимално искористување на блоковитост со помош на лабораториски испитувања на репрезентативни мермерни блокови како и испитување “Ин ситу”.
- Миловановиќ Д. (1980). Аспекти на геолошко-економската оценка на неметаличните минерални сировини во современи услови. Рударско - геолошки факултет - Белград.
- Rosen, R. M., Miser, E. D. and Warren, J. K., (1988). *Compositional Variations of Dolomite from a Chain of Ephemeral Lakes in Coorong Region, South Australia*. *AAPG Search and Discovery Article #91030©1988 AAPG Annual Convention, Houston, Texas, 20-23 March 1988*. 241 p.
- Стојанов Р. (1958). Претходни резултати од геолошките и петрографските истражувања на Селечка Планина.
- Стојанов Р. (1958). Претходни резултати од геолошките и петрографските истражувања на високо-метаморфните карпи во западниот дел од Пелагонискиот масив.
- Стојанов Р. (1971). Осврт на метаморфизмот на Пелагонискиот масив во склопот на метаморфните настани во Западна Македонија, Скопје 1971/72.

- Стојанов Р. (1974). Петролошки карактеристики на магматските и метаморфните карпи од пошироката околина на Прилеп.
- Профил тест на стронциум и калциум во мермери, Strontium+Calcium Profil Test (2011). <http://www.Salifert.com>
- Clayton R. N. and Mayeda, T.K., (1963). *The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. Geochim. Cosmochim. Acta 27, 43-52.*
- Coplen T.B., (1996). *Reporting of stable carbon, hydrogen, and oxygen isotopic abundances. In: Reference and intercomparison intercomparison materials for stable isotopes of light elements. IAEA TECDOC-825, International Atomic Energy Agency, Vienna.*
- Craig H. (1957): *Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. Geochim. Cosmochim. Acta 12, 133-149.*
- Црнковиќ В., Томашевиќ И. (1977). *Studija tektonskog sklopa istraznog podrucja lezista Sivec, Zagreb*
- Zoeldfoeldi, Szekely. B. (2009). Carbon, oxygen and strontium isotopic systematics of Mediterranean white marbles used in the Antiquity (Geophysical Research Abstracts Vol. 11 EGU2009-1081-1, 2009)
- JOHN RODGERS Department of Geology and Geophysics, Yale University, January (1984). *A geologic reconnaissance of the Cycladic blueschist belt, Greece: Discussion and reply*
- Fritz P. (1976). Oxygen and carbon isotopes in ore deposits in sedimentary rocks. In: *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits. K. H. Wolf (ed.), 2, pp. 191-217. Amsterdam-Elsevier.*
- Gerdes L. M. Baumgartner P. L. and Valley W. J. (1999). *Stable Isotopic Evidence for Limited Fluid Flow through Dolomitic Marble in the Adamello Contact Aureole, Cima Uzza, Italy. J. Petrology, Vol 40, No. 6, pp. 853-872.*
- Hoefs J. (1997): *Stable Isotope Geochemistry. Springer-Verlag, Berlin, Germany.*
- Kretz R. (2001). Oxygen and carbon isotopic composition of Grenville marble, and an appraisal of equilibrium in the distribution of isotopes between calcite and associated minerals, Otter Lake area, Quebec, Canada. *Canadian*

- Mineralogist*, October 2001, vol. 39 no. 5 1455-1472, doi:10.2113/gscanmin.39.5.1455
- Misra K. (2000). *Understanding Mineral Deposits*. Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, Netherland, p. 845.
- Ohmoto H. and Rye R. O. (1979). Isotopes of sulfur and carbon. In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2nd edn., H. L. Barnes (ed.), 509-567. New York:Wiley.
- Ohmoto H. (1972). Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits. *Econ. Geol.*, 67, pp. 551-578.
- Ohmoto, H., (1986). Stable Isotope Geochemistry of Ore Deposits. In *Reviews in Mineralogy 16 (Stable Isotopes)*, 491-559. Blacksburg, Virginia: Min. Soc. Am.
- Rye, R. O. and Ohmoto, H., (1974). Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: a review. *Econ. Geol.* 63: pp. 715-730.
- Sheppard S. M. F. and Schwartz H. P. (1970). Fractionation of carbon and oxygen isotopes and magnesium between metamorphic calcite and dolomite. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 26, pp. 161-198.
- Sheppard S. M. F. (1986). Characterization and isotopic variations in natural waters. *Reviews in Mineralogy*, 16, 163-183. Blacksburg, Virginia: Am. Minn. Soc.
- Taylor H. P. Jr. (1980). Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. In *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd edn., H. L. Barnes (ed.), pp. 236-277.
- Џолев. С, Демјански. К, Шумковски. К, Џолев. Ј, Пановски. А, Мај (2009) ДОПЛНИТЕЛЕН РУДАРСКИ ПРОЕКТ за експлоатација на мермер од рудникот “Сивец” за период 2009-2013 година; РИ РУДИНГ доо Скопје, Новелиран елаборат за рудните резерви на наоѓалиштето на мермери “Сивец”- Прилеп, (1988).
- Дополнителен проект за длабинско откопување на мермерите во работилиште бр. 5 и бр. 6 во рудникот “Сивец”.
- Елаборат за рудни резерви на наоѓалиштето за бел мермер Локалитет “Сивец”- Прилеп, (2000).
- Извештај за длабинското-истражно бушење во локалитетот “Сивец”, (1998).

Илијевски Коле
Минерагенетски карактеристики на наоѓалиштето на
бел мермер “Сивец”
Универзитет “Гоце Делчев”–Штип