Посебноизданиена
Geologica Macedonica,
No.5

МАКЕДОНСКО ГЕОЛОШКО ДРУШТВО - Скопје, 1952

ЧЕТВРТИ КОНГРЕС
на
Геолозите на Република Северна Македонија

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ

Главни и одговорни уредници:
Проф. д-р Блажо Боев
Проф.д-р Тодор Серафимовски

Охрид, 2021

Посебно издание на
Geologica Macedonica,
No 5

МАКЕДОНСКО ГЕОЛОШКО ДРУШТВО – Скопје, 1952

ЧЕТВРТИ КОНГРЕС
на
ГЕОЛОЗИТЕ НА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ

`

Охрид, 2021

Главни и одговорни уредници

Проф. д-р Блажо Боев

Проф. д-р Тодор Серафимовски

Организационен одбор:

Проф. д-р Горан Тасев

д-р Баара Науаф

д-р Костадин Јованов

Доц. д-р Игор Пешевски

м-р Флорент Чиче

Кирил Филев

м-р Златко Пелтековски

Љупчо Петрески

Доц. д-р Иван Боев

м-р Даниела Бомбол

Ванчо Ангелов

Мице Тркалески

Секретар:

д-р. Златко Илијовски

Извршен секретар:

Филип Јованоски

Технички уредник:

Благоја Богатиноски

Издавач:

Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип

Факултет за природни и технички науки, Штип, Северна Македонија

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

55(062)

ЧЕТВРТИ конгрес на геолозите (2021 ; Охрид)
Зборник на трудови [Електронски извор] / Четврти конгрес на геолозите на Република Северна Македонија, Охрид 2021 ; [главни и одговорни уредници Блажо Боев, Тодор Серафимовски]. - Штип : Универзитет 'Гоце Делчев"-Штип, Факултет за природни и технички науки, 2021

Начин на пристапување (URL): https://e-lib.ugd.edu.mk/kongresi.html. - Текст на мак. и англ. јазик. - Текст во PDF формат, содржи 285 стр., илустр. - Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот на ден 29.10.2021. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-608-244-829-9

а) Геологија -- Собири

COBISS.MK-ID 55370245

Организатор на Конгресот
Македонско геолошко друштво Скопје 1952

Носители на Конгресни активности

Претседатели:
Проф. д-р Блажо Боев
Проф. д-р Тодор Серафимовски

Научен одбор
Проф. д-р Ванчо Чифлиганец
Проф. д-р Крсто Блажев
Проф. д-р Орце Спасовски
Проф. д-р Гоше Петров
Проф. д-р Тена Шијакова-Иванова
Проф. д-р Милорад Јовановски
Проф. д-р Владимир Берманец
Проф. д-р Соња Лепиткова
Проф. д-р Дејвид Алдертон
Проф. д-р Војо Мирчовски
Проф. д-р Владица Цветковиќ
Проф. д-р Дејан Прелевиќ
Проф. д-р Виолета Стефанова
д-р. Александар Волков
Проф. д-р Виолета Стојанова
Проф. д-р Евгенија Тарасова
Проф. д-р Сабина Стрмиќ-Палинкаш
Проф. д-р Андреј Шмуц
Прив. Доц. д-р Уве Колич

Почесен одбор
Проф. д-р Никола Думурџанов
Проф. д-р Иван Загорчев
Проф. д-р Марин Александров
Проф. д-р Тодор Делипетров
Проф. д-р Панде Лазаров
Проф. д-р Борче Андреевски
Проф. д-р Симеон Јанчев
Проф. д-р Тадеј Доленец
Проф. д-р Ладислав Палинкаш

Конгресот финансиски го подржаа:

ДПТУ „Бучим“, дооел – Радовиш

Кожувчанка, доо –Кавадарци

Македонска Авторска Агенција, доо – Скопје

Авто-Искра, дооел – Скопје

Хидроинженеринг, дооел – Битола

Градежен Институт Македонија – Скопје

Градежен факлтет – Скопје

Рудници за олово и цинк „Саса“ – Македонска Каменица

Геоинженеринг – Скопје

Геоинженеринг-консалтинг, доо – Скопје

Геинг – Скопје

СОДРЖИНА – TABLE OF CONTENTS

ПРЕДГОВОР – PREFACE 1–2

ПЛЕРНАРНИ

MGK-2021-0-PL-01- **Блажо Боев**,
ПЕРМАФРОСТ – ГЕОЛОШКИ ПОТЕНЦИЈАЛ И ХАЗАРД
Permafrost – Geological potential and hazard ..... 3 – 8

1. ОСНОВЕН И ФУНДАМЕНТАЛЕН ДЕЛ

Геохронологија и изотопна геохемија, Магматизам и вулканологија, Минералогија и петрологија, Палеонтологија и палеоантропологија, Структурна геологија и геотектоника, Планетарни науки, геофизика, геохемија

MGK-2021-1-OF-01- **Elena Angelova, Vlatko Šešov, Silvana Dimitrijević, Vojka Gardić,**
CHEMICAL CHARACTERIZATION OF FLY ASH SAMPLES FOR FURTHER USE IN SEISMIC GEOTECHNICAL ENGINEERING
Хемиска карактеризација на примероци од летечка пепел за понатамошна употреба во сеизмичкото геотехничко инженерство 11–17

MGK-2021-1-OF-02- **Blažo Boev, Ivan Boev**
NEW INFORMATION ABOUT THE AGE OF THE PELAGONIAN METAMORPHIC COMPLEX (??)
Нови информации за староста на Пелагонискиот метаморфен комплекс (??) ..... 19 –24

MGK-2021-1-OF-03- **Ivan Boev**
PETROGRAPHY OF THE DREN-BOHULA MASSIF AS A PART OF THE OPHIOLITIC COMPLEX DEMIR KAPIJA–GEVGELIJA
Петрографија на масивот Дрен–Бохула како дел од офиолитскиот комплекс Демир Капија–Гевгелија 25–34

MGK-2021-1-OF-04- **Saše Mitrev, Mitko Popov**
PETROLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE TERTIARY VOLCANIC ROCKS FROM THE LOCALITY GOLEMA ČUKA, BOGDANCI DISTRICT, REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA
Петролошки и геохемиски карактеристики на терциерните вулкански карпи од локалитетот Голема Чука, општина Богданци, Република Северна Македонија 34–42

MGK-2021-1-OF-05- **Kujtim Onuzi, Agim Ymeri**
CORRELATION OF THE GEOLOGICAL MAPS 1:50 000 SCALE OF THE ALBANIAN – NEIGHBOURING COUNTRIES BORDER AREA

Корелација на геолошките карти со размер 1:50 000 на албанската гранична области со соседните земји.....43–49

MGK-2021-1-OF-06- **Kujtim Onuzi, Friedrich Koller**
SOUTH-EASTERN ALBANIAN OPHIOLITES
Југоисточни албански офиолити.....51–55

MGK-2021-1-OF-07- **Irakli Prifti, Gjergji Stoja, Agim Ymeri**
OPINIONS ON GEOLOGICAL SETTING OF ALBANIAN–THESSALIAN BASIN IN KORÇA–POGRADECI REGION
Мислења за геолошката градба на Албанско-Тесалискиот басен во Корча-Подградец регионот.....57–64

MGK-2021-1-OF-08- **Катерина Дрогрешка, Јасмина Најдовска, Драгана Черних, Моника Андрееска, Љубчо Јованов**
СЕИЗМИЧНОСТ НА МАКЕДОНИЈА ВО ПЕРИОДОТ 2010-2020 ГОДИНА
Seismicity in the Republic of North Macedonia during the period 2010–2020.....65–71

MGK-2021-1-OF-09- **Barbara Radulović, Draženko Nenadić, Katarina Bogićević, Slobodan Knežević**
PALEO-ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MOLLUSCS OF THE PLEISTOCENE CORBICULA BEDS IN THE SAVA RIPARIAN AREA IN BELGRADE (SERBIA)
Палеоеколошки карактеристики на мекотели од плеистоценските Corbicula наслаги во крајбрежната област на реката Сава во Белград (Србија).....73–76

MGK-2021-1-OF-10- **Виолета Стојанова, Гоше Петров, Виолета Стефанова**
МИКРО И НАНОФОСИЛНА АСОЦИЈАЦИЈА ОД ПАЛЕОГЕНИТЕ СЕДИМЕНТИ ВО КОЧАНСКАТА КОТЛИНА, РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА
Micro and nanophosylic association of paleogenic sediments in the Kočani valley, Republic of North Macedonia.....77–82

2. ИНЖЕНЕРСКИ ДЕЛ

Инженерска геологија и геотехника, Применета геофизика, Урбана геологија, Хидрогеологија и геотермија

MGK-2021-2-ID-01- **Орце Петковски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски, Елена Ангелова, Наташа Неделковска**
ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА НА ЛОКАЛИТЕТОТ БАЛТАШНИЦА – САСА, МАКЕДОНСКА КАМЕНИЦА
Engineering-geological investigations and tests at locality Baltašnica – Sasa, Makedonska Kamenica.....85–94

MGK-2021-2-ID-02- **Игор Пешевски, Јован Папиќ, Бојана Неделковска, Тамара Јовановска, Марија Манева, Сеад Абази**
ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ И ГЕОТЕХНИЧКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА ВО ФУНКЦИЈА НА РУДАРСТВОТО ВО МАКЕДОНИЈА
Engineering-geological and geotechnical investigations in function of mining in Macedonia.....95–104

MGK-2021-2-ID-03- **Булент Сулооџа, Сеад Абази**
ПОДГРАДУВАЊЕ И ОСИГУРУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ РУДАРСКИ ПРОСТОРИИ СО ТЕХНИКА НА ПРСКАН БЕТОН
Upgrading and securing the underground mining premises with shotcrete technique 105–109

MGK-2021-2-ID-04- **Игор Пешевски, Милорад Јовановски, Зоран Панов, Јован Папиќ, Сеад Абази, Александра Николовска Атанасовска**
ТРЕТМАН НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА И ГЕОТЕХНИКАТА ПРИ ИСТРАЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ
Treatment of engineering geology and geotechnics in investigation and exploitation of mineral resources.....111–122

MGK-2021-2-ID-05- **Стојан Михаиловски, Златко Илијовски, Ивица Андов, Војо Мирчовски**
ИЗВЕДБА НА ПИЕЗОМЕТРИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА МОЖНИ ПАТИШТА НА ДВИЖЕЊЕ НА ШЕСТОВАЛЕТЕН ХРОМ СО ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ НИЗ ЖЕДЕНСКИОТ МАСИВ КОН ИЗВОРОТ РАШЧЕ
Construction of piezometers to define possible routes of movement of hexavalent chromium with groundwater through the zheden massif towards the spring Rashche 123–134

MGK-2021-2-ID-06- **Моме Милановски, Мила Крулановиќ, Сергеј Полекшиќ**
ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА НА ПРИСТАНИШТЕТО БАР, ЦРНА ГОРА
Engineering geological research and testing to the port of Bar, Montenegro.....135–143

MGK-2021-2-ID-06- **Војо Мирчовски, Дарко Пижов, Ѓорѓи Димов**
ПРОЦЕНА НА РАНЛИВОСТА ОД ЗАГАДУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ ВО ВОДОНОСНИКОТ ГРДОВСКИ ОРМАН СО ПРИМЕНА НА МЕТОДИТЕ ‘’GOD’’ И ‘’AVI’’
Assessment of the groundwater vulnerability of pollution in the aquifer Grdovski Orman with the application "GOD" AND "AVI" method 145–154

3. ЕКОНОМСКА ГЕОЛОГИЈА

Металоѓенија, Минерални ресурси, Енергетски ресурси,Техноѓени наоѓалишта

MGK-2021-3-EG-01- **Todor Serafimovski, Ivica Ristović, Blažo Boev, Goran Tasev, Ivan Boev, Dalibor Serafimovski Matej Dolenec**
SOME GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL FEATURES OF SAMPLES FROM OLD BOR’S TAILING DAM
Некои геохемиски и минералошки карактеристики на примероци од старото борско хидројаловиште 157–164

MGK-2021-3-EG-02- **Виолета Стефанова, Ѓорѓи Димов, Виолета Стојанова**
МОРФОЛОШКО-ХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗЛАТНИ АГРЕГАТИ ОД ЛИПОВДОЛСКА РЕКА, ИСТОЧНА МАКЕДОНИЈА
Morphological-chemical characteristics of golden aggregates from Lipovdolska river, Eastern Macedonia.....165–172

MGK-2021-3-EG-03- **Goran Tasev, Kiril Filev, Dalibor Serafimovski, Todor Serafimovski**
TECHNO-ECONOMIC PARAMETERS OF THE NORTHEASTERN PART OF CENTRAL PART ORE BODY, BUČIM COPPER MINE, REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA
Техно-економски параметри на североисточниот дел од централното рудно тело, рудник за бакар Бучим, Република Северна Македонија.....173–178

MGK-2021-3-EG-04- **Aleksandar Gadzhalov, Irina Marinova**
STYLES OF EPITHERMAL MINERALIZATION IN THE SURNAK DEPOSIT, KROUMOVGRAD GOLDFIELD, SE BULGARIA. DATA FROM SURFACE OUTCROPS
Типови на епитермална минерализација во SURNAK наоѓалиштето, Крумовград Златоносно поле. Податоци од површински изданоци 179–189

MGK-2021-3-EG-05- **Mihail Tarassov, Eugenia Tarassova, Alexey Benderev, Milen Stavrev, Elena Tacheva, Alexandar Nikolov, Mila Trayanova**
TUNGSTEN IN SOILS, SEDIMENTS AND WATERS IN THE AREA OF THE GRANTCHARITSA TUNGTEN DEPOSIT, WESTERN RHODOPES, BULGARIA
Волфрам во почви, седименти и вода во поширокиот регион на наоѓалиштето за волфрам Грнчарица, Западни Родопи, Бугарија.....191–195

MGK-2021-3-EG-06- **Hazim Hrvatović, Ladislav Palinkaš, Tola Merza, Petar Katanić,' Enve Kamberović**
LISTWANITES OF DINARIDE AND CENTRAL VARDAR ZONE OPHIOLITES
A Review
Листванитите на офиолитите од Динаридите и Вардарската централна зона. Преглед 197–202

MGK-2021-3-EG-07- **Lazar Gorgjiev, Todor Serafimovski, Marin Aleksandrov**, **Goran Tasev**
OVERVIEW OF THE NATURAL PARAMETERS FROM THE GEOLOGICAL-ECONOMIC ASSESSMENT OF THE ORE DEPOSIT BALTAŠNICA, ORE FIELD SASA
Преглед на натуралните параметри од геолошко-економската оцена на рудното наоѓалиште Балташница, Рудно Поле Саса 203–210

4. ПРОГРЕСИВНА ГЕОЛОГИЈА

Примена на ГИС, Геоинформатика, Математичка геокогија, Наногеологија, Медицинска Геологија

MGK-2021-4-PG-01- **Dalibor Serafimovski, Goran Tasev, Todor Chekerovski**
THE ACCESS DATABASE FOR THE NORTHEASTERN PART OF THE CENTRAL PART ORE BODY AT THE BUČIM MINE, REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA
Акцес база на податоци за североисточниот дел од централното рудното тело во рудникот бучим, Северна Македонија.....213–219

MGK-2021-4-PG-02- **Александар Буов, Анета Ристовска**
РЕЗУЛТАТИ ОД РЕГИОНАЛНИТЕ ПРОСПЕКЦИСКИ ИСТРАЖУВАЊА НА ДЕЛ ОД ТЕРИТОРИЈАТА НА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА
Results from the regional prospective research part of the territory of the Republic of North Macedonia 221–230

MGK-2021-4-PG-03- **Марија Манева, Игор Пешевски, Љупчо Петрески**
ГЕОЛОШКО МОДЕЛИРАЊЕ НА НАОЃАЛИШТЕТО ЗА ЈАГЛЕН БРОД-ГНЕОТИНО СО ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНИ КОМПЈУТЕРСКИ ТЕХНИКИ
Geological modeling of the coal depost Brod-Gneotino with application of contemporary computer techniques 231–240

MGK-2021-4-PG-04- **Александар Буов, Анета Ристовска**
ОКОНТУРУВАЊЕ НА РУДНО ТЕЛО ВО ПОРФИРСКИ ИСТЕМ, НА ПРИМЕР НА НАОЃАЛИШТЕ ЗА Cu, Au И Ag "БОРОВ ДОЛ"
Contouring ore body in a porfy system an example mineral deposits for Cu, Au and Ag „Borov Dol" 241–249

5. ГЕОЛОШКИ ХАЗАРДИ И ЗАШТИТА,
Кли,аШски Pромени, Геохазард, ГеоеколоГија и заШШиШа на живоШнаШа средина

MGK-2021-5-GH-01- **Ivan Boev, Sonja Lepitkova**
BARIUM IN AIRCONDITIONER FILTERS IN THE CITY OF SKOPJE (REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA)
Бариум во филтрите на климатизерите во градот Скопје (Северна Македонија) 253–266

MGK-2021-5-GH-02- **Toni Nikolić, Samir Huseinbasić, Suad Spago**
NATURAL DISASTER IN BOSNIA AND HERZEGOVINA OVER 2014. WHAT WE LEARN – PREVENTION, DISASTER MANAGEMENT AND INTERVENTION
Natural disaster in Bosnia and Herzegovina over 2014. what we learn – prevention, disaster management and intervention 267–272

6. ГЕОЛОКО КУЛТУРНО НСЛЕДСТВОИ,
Културно историски споменици, Геопаркови и туризам, Гаонаследство и национални музеи

MGK-2021-6-GK-01- **Ivan Boev**
CHEMICAL COMPOSITION OF ROMAN COINS FROM PELAGONIA (NORTH MACEDONIA) DETERMINED BY THE SEM-EDS METHOD
Хемиски состав на римските монети од Пелагонија (Северна Македонија) одреден со методата СЕМ-ЕДС.....275–279

MGK-2021-6-GK-02- **Ivan Boev, Blažo Boev**
SHOCKED QUARTZ IN THE SAMPLES FROM ARCHEOLOGICAL LOCALITY STOBI
Шок кварц во примероците од археолошкиот локалитет Стоби 281–295

ИНДЕКС НА АВТОРИ – AUTHORS INDEX

Абази, Сеад, 2-ID-02, 2-ID-03, 2-ID-04,
Aleksandrov, Marin, 3-EG-07,
Ангелов, Ванчо, 2-ID-01,
Angelova, Elena, **1-OF-01,** , 2-ID-01,
Андов, Ивица, 2-ID-05,

Benderev, Alexey, 3-EG-05,
Boev, Blažo, **0-PL-01, 1-OF-02,** 3-EG-01, 6-GK-02,
Boev, Ivan, 1-OF-02, **1-OF-03, 5-GH-01**, **6-GK-01**, **6-GK-02**,
Bogićević, Katarina, 1-OF-0,
Буов, Александар, **4-PG-02**, 4-PG-04,

Gadzhalov, Aleksandar, **3-EG-040**,
Gardić, Vojka, 1-OF-01,
Gorgjiev, Lazar, **3-EG-07**,

Dimitrijević, Silvana, 1-OF-01,
Димов, Ѓорѓи, 2-ID-07, 3-EG-02,
Дрогрешка, Катерина, **1-OF-08,**

Eugenia Tarassova, 3-EG-05,

Ивановски, Ласте, 2-ID-01,
Илијовски, Златко, 2-ID-05,

Filev, Kiril, 3-EG-03,

Јовановска, Тамара, 2-ID-02,
Јовановски, Милорад, 2-ID-04,

Kamberović, Enve, 3-EG-06,
Katanić, Petar, 3-EG-06,
Крулановиќ, Мила, 2-ID-06,
Knežević, Slobodan, 1-OF-09,
Koller, Friedrich, 1-OF-06,

Lepitkova, Sonja, 5-GH-01,

Манева, Марија, 2-ID-02, **4-PG-03**,
Marinova, Irina, 3-EG-04,
Merza, Tola, 3-EG-06,
Милановски, Моме, **2-ID-06**,
Мирчовски, Војо, 2-ID-05**, 2-ID-07**,
Mitrev, Saše, **1-OF-04,**
Михаиловски, Стојан, **2-ID-05**,

Најдовска, Јасмина, 1-OF-08,
Неделковска, Бојана, 2-ID-02
Неделковска, Наташа, 2-ID-01,
Nenadić, Draženko, 1-OF-09,
Николовска Атанасовска, Александра, 2-ID-04,
Nikolić, Toni, **5-GH-02**,
Nikolov, Alexandar, 3-EG-05,

Onuzi, Kujtim, **1-OF-05, 1-OF-06**,

Hrvatović, Hazim, **3-EG-06**,
Huseinbasić, Samir, 5-GH-02,

Панов, Зоран, 2-ID-04,
Папиќ, Јован, 2-ID-02, 2-ID-04,
Петковски, Орце, **2-ID-01**,
Петрески, Љупчо, 4-PG-03,
Петров, Гоше, 1-OF-10,
Пешевски, Игор, **2-ID-02**, **2-ID-04**, 4-PG-03,
Пижов, Дарко, 2-ID-07,
Полекшиќ, Сергеј, 2-ID-06,
Palinkaš, Ladislav, 3-EG-06,
Popov, Mitko, 1-OF-04,
Prifti, Irakli, **1-OF-07,**

Radulović, **1-OF-09**,
Ristović, Ivica, 3-EG-01,
Ристовска, Анета, 4-PG-02, 4-PG-04,

Serafimovsk, Todor i, **3-EG-01**, 3-EG-03, 3-EG-07,
Serafimovski, Dalibor, 3-EG-03, **4-PG-01**,
Spago, Suad, 5-GH-02,
Stavrev, Milen, 3-EG-05,
Stoja, Gjergji, 1-OF-07,
Стефанова, Виолета, 1-OF-10, **3-EG-02,**
Стојанова Виолета, **1-OF-10**, 3-EG-02,
Сулооца, Булент, **2-ID-03**,

Šešov, Vlatko, 1-OF-01

Tacheva, Elena, 3-EG-05,
Tarassov, Mihail, **3-EG-05**,

Tasev, Goran, 3-EG-01, **3-EG-03**, 3-EG-07, 4-PG-01,
Trayanova, Mila, 3-EG-05,

Черних, Драгана, 1-OF-08,
Chekerovski, Todor, 4-PG-01,

Ymeri, Agim, 1-OF-05, 1-OF-07,

ПРЕДГОВОР

Четвртиот Конгрес на Геолозите на Македонија требаше да се одржи минатата, 2020 година, но поради пандемијата на КОВИД-19, Конгресот беше одложен за ова 2021 година, со надеж дека пандемијата ќе помине и дека ќе можеме во нормални околности да го одржиме Конгресот. Меѓутоа пандемијата на КОВИД-19 продолжи и во текот на 2021 година а со тоа и одржувањето на Конгресот на геолозите на Македонија стана неизвесен и во тековната 2021 година, затоа организациониот одбор на конгресот одлучи собраните конгресни материјали да бидат објавени во посебно издание на ГЕОЛОГИКА МАКЕДОНИКА (2021) и со тоа да бидат затворени активностите околу 4-от Конгрес на Геолозите на Македонија.

4-от Конгрес на Геолозите на Македонија претставува континуитет во конгресните активности на Македонското Геолошко Друштво и основа прави пресек на достигнувањата на геологијата во Македонија помеѓу двата конгреса.

Македонското геолошко друштво како асоцијација на сите геолози и истражувачи од сферата не гео-науките во Македонија уште од своето формирање во 1952 година па се до денес во својот фокус на интерес ги има гео науките како интегрален дел во развојот на општеството и во развојот на планетата Земја во целина.

Гео-науките во иднината ќе се занимаваат со изучувањето на динамиката на самата планета Земја, односно клучните двигатели и процеси кои управуваат со еволуцијата и однесувањето на планетата, како клучни елементи за стратешките планирања за развојот на Планетата и зачувувањето на нејзините посебности како што се: динамиката на движењето на луѓето, динамиката на промените во диверзитетот на флората и фауната (екологија), а посебно внимание ќе се посвети на оние еко-системи кои ги населуваат неколкуте најоддалечени места на оваа планета, чиј радиус е 6370 km, ќе заземаат централно место во иднината на Земјата, начинот на кој реагираат на (глобалните) животни и климатски промена.

Како резултат на Првиот Закон на термодинамика кој се однесува на зачувување на енергијата во системот, сите модификации на балансот на енергијата (и масата) во внатрешноста на планетата мора да имаат ефект на површината на планетата и нејзината биосфера, вклучувајќи го и општеството. Поседувањето на соодветно

PREFACE

The fourth Congress of the Macedonian geologists was supposed to take place last year, 2020, but due to the COVID-19 pandemic, the Congress was postponed for this year, 2021, hoping that the pandemic will pass so that we could hold the Congress under normal conditions. However, the COVID-19 pandemic continued to spread in the course of 2021 and as a result of it, the holding of the Congress of the Macedonian geologists proved to be uncertain in the current 2021. So, the Organizing Committee of the Congress decided to publish the collected Congress materials in a separate publication GEOLOGICA MACEDONICA (2021) and with that, to close the activities around the fourth Congress of the Macedonian geologists.

The fourth Congress of the Macedonian geologists presents a continuity in the Congress activities of the Macedonian Geological Society and basically shows the achievements of geology in Macedonia between the two Congresses.

The Macedonian Geological Society, as an Association of all the geologists and researchers in the field of the geological sciences in Macedonia, has had the geological sciences in their focus of interest since its establishment in 1952 until today, as an integral part in the development of the society as well as within the development of our planet in general.

In the future, the geological sciences will be focused on studying the dynamics of the very planet Earth, i.e. the key moving forces and processes that govern the evolution and the behavior of the planet, as crucial elements for the strategic planning of the development of the Planet and preserving its particularity, such as the movement of the people, the dynamics of the changes in the diversity of the flora and fauna (ecology). A special attention will be paid to those eco-systems that have been populated at the most distant places on this Planet, whose radius is 6370 km. They will take the central place in the future of the Earth, the way in which they react to the (global) living and climatic changes.

As a result of the First Law of the thermodynamics, which refers to preserving the energy within the system, all the modifications of the energy balance (and the mass) in the interior of the planet must affect the surface of the planet and its biosphere, including the society as well. Possessing the appropriate knowledge and better understanding of such processses at a higher level is a precondition for comprehending the processes of the occurrence

знаење и подобро разбирање на таквите процеси на подлабоко ниво е предуслов за разбирањето на процесите за појавата на човечки и други форми на живот на површината. Од сите сфери во Земјиниот систем, една (гео сферата) е особено премалку застапена во програмите за истражување на планетата Земја во иднината. Секоја амбиција подобро да се разберат механизмите кои ги покренуваат промените во животната средина, што е очигледно важно, е нецелосно и најверојатно погрешно ако не се вклучат најрелевантните дисциплини од сферата на геонауките бидејќи промените во гео сферата ги покренуваат промените во животната средина на оваа планета.

Многу аспекти поврзани со Земјата често се главен фокус за широк спектар на гео научници кои секојдневно се занимаваат со науките за Земјата. За време на минатите декади, гео научниците проучувале широк спектар на теоретски и применети аспекти на Земјата и изградиле огромна база на знаење, која може да обезбеди многу одговори на прашањата за истражување кои се релевантни за гео науките во иднината. Дел од оваа база на знаење се геолошките записи кои се откриени при истражувањата на Антарктикот во неколкуте претходни декади, и кој може да се користат како соодветна природна референца за идни климатски промени во однос на отпорноста на екосистемите и човештвото под голема разновидност на атмосферски и климатски услови.

Гео научниците направиле значаен напредок во развојот на особено релевантните модели за предвидување на случувањата во литосферата и атмосферата и преку тие огромни достигнувања во истражувањето сега ги разбираат најголемиот дел од механизмите и времето на случувањата на поголемите, помалите до оние на нано-ниво процеси на Земјата. Кога дискутираме за иднината на Земјата, нејзината геосфера, атмосфера, хидросфера и биосфера, не можат да се игнорираат резултатите на таквите значајни истражувања.

Гео-научниците може значајно да допринесат да се даде осврт на сите приоритети под темата: Динамична планета. Всушност, не може да се даде осврт на најголемиот дел од овие приоритети (>65%) под темата Динамична планета, без виталните знаење на заедница на научните од областа на гео науките.

Затоа и IV-от Конгрес на геолозите на Македонија треба да биде посветен на теми кои се исклучително важни за еволуцијата и развојот на самата планета Земја.

Организационен одбор

of human and other forms of life at the surface. Considering all the spheres within the Earth system, one of them (the geo-sphere) has been particularly little represented in the programs for the exploration of the Earth system in the future. Each ambition and effort to better understand the mechanisms that are moving forces for the changes in the environment, which is obviously very significant, is incomplete and most probably wrong if the most relevant disciplines in the sphere of the geological sciences are not included, because the changes within the geo-sphere are moving the changes within the environment of this planet.

Many aspects related to the Earth have been a major interest for a wide spectrum of geo scientists who are continually working on the sciences about the Earth. In the course of the past decades the geo scientists were studying a wide scope of theoretical and applied aspects of the Earth and they have established an enormous knowledge base which can provide many answers to the questions considering the exploration, answers that are relevant for the geo sciences in the future. A part of this knowledge base presents the geological records that were found out in exploring the Antarctic during the last decades. They can be used as an adequate natural reference for the future climatic changes in relation to the resistivity of the eco-systems and the humanity under a great diversity of the atmospheric and climatic conditions.

The geo scientists have achieved a significant advancement in the development of the particular relevant modules for predicting the occurrences within the lithosphere and the atmosphere. Owing to that vast achievement in exploring, they can now understand the greatest part of the mechanisms and the time of the occurrences of the greater, the smaller to those at the nano level processes of the Earth. When we discuss about the future of the earth, its geosphere, atmosphere, hydrosphere and biosphere, we cannot ignore the results of such significant exploration.

The geological sciences can significantly contribute for providing a review to all the pri-orities of the Subject: Dynamic planet. In fact, a review cannot be provided to the greatest part of these priorities (>65%) under the subject the Dynamic planet, without taking into consideration the essential knowledge of the association of the scientists from the field of the geo sciences.

Accordingly, the fourth Congress of the Macedonian geologists should be dedicated to subjects that are exceptionally important for the evolution and the development of the very planet Earth.

Organizing board

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

МАКЕДОНСКО ГЕОЛОШКО ДРУШТВО – Скопје 1952
MACEDONIAN GEOLOGICAL SOCIETY – Skopje 1952

ПЕРМАФРОСТ - ГЕОЛОШКИ ПОТЕНЦИЈАЛ И ХАЗАРД

Пленарно предавање

Проф. д-р Блажо Боев

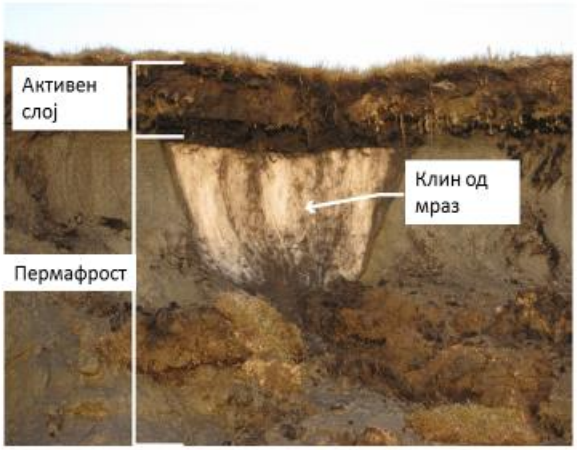
30.IX.2016 – Струга

2

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Што претставува Пермафрост?

- **Пермафрост** се дефинира како материјал кој останува замрзнат (<0°C) во текот на две или повеќе години. Активниот слој (почвата во близина на површината која се топи секоја година) и дебелината на пермафростот зависат од локалните климатски услови, вегетативната покривка, типот на почвата и содржината на влага, и било кои ефекти од тополината која доаѓа од центарот на Земјата.



IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Што претставува Пермафрост?

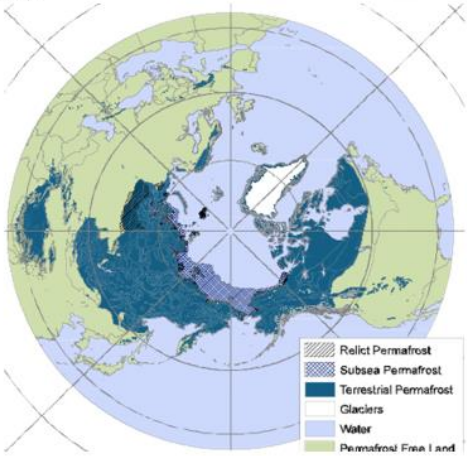
- 58% од северната хемисфера замрзнува сезонски ~55M км2
- 24% е под пермафрост, т.е. ~23M км2
- Најголемите пространства се во Сибир, Тибетското плато, Аљаска, Канадскиот Арктик и други повисоки планински региони.
- Во однос на јужната хемисфера, застапеноста е далеку помала, со доминантно распространување во Патагонија-Јужна Америка и Јужните Алпи на на Нов Зеланд.

4

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Што претставува Пермафрост?

- Подводен пермафрост се наоѓа под површината на океаните.
- Формиран е при последното ледено доба пред 11.000 години.
- Денес, дел од морското дно е покриено со пермафрост со дебелина и до 100м.
- На јужната хемисфера не постои подводен пермафрост.



5

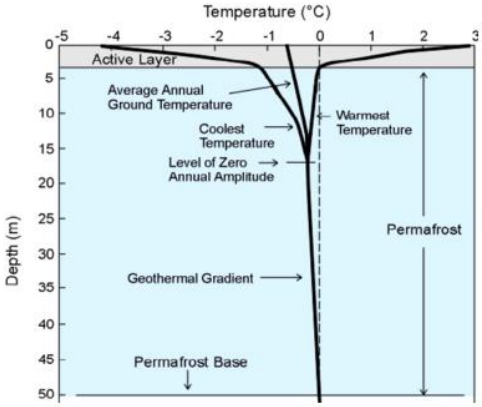
IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Што претставува Пермафрост?

- Длабината на пермафростот е функција од температурата на воздухот и геотермалниот градиент.
- Класи на пермафрост според температурата:
  - -ладен (-12 до -1°C)
  - -топол (минимално под 0°C)
  - -богат со мраз (20-50% видлив мраз)

Класи на пермафрост според услови на стабилност на теренот:

- -стабилен при топење
- -нестабилен при топење



6

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Што претставува Пермафрост?

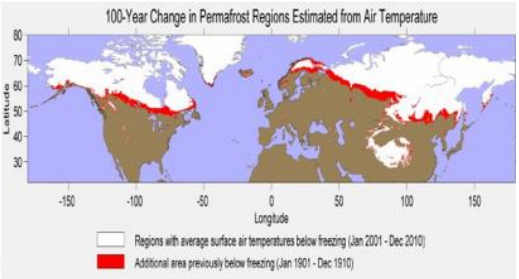
- Термокарст – терен кој се создава со топење на пермафростот

7

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Што претставува Пермафрост?

- Пермафростот се менува просторно и длабински во тек на геолошкото време, а во зависност од климатските промени во размер на децении до векови и милениуми. Пермафростот се зголемува при поладна клима, додека топлата резултира во здебелување на активниот слој и истенчување или дури губење на пермафростот.
- За времето на среден Холоцен, пред 6,000 до 9,000 години, јужната граница на пермафростот била на север од неговата денешна позиција и активните слоеви биле подебели. Следел поладен период пред 3,700 до 5,000 години, кој резултирал со зголемување на пространствата на пермафрост.



8

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Што претставува Пермафрост?

- За време на малото ледено доба помегу 1550 AD и 1850 AD, температурите на воздухот биле поладни за околу 1°C и пермафрост се уавил и уште појужно од денешните граници.
- Во поново време, т.е. Последните 2 до 3 децении, во сите пермафрост региони се забележува тренд на негово затоплување.

Country	Region	Permafrost Temp. Trend	Reference
USA	Trans-Alaska pipeline route (20 m), 1983-2003	+0.6 to +1.5° C	Romanovsky and Osterkamp, 2001; Osterkamp 2003
USA	Barrow Permafrost Observatory (15 m), 1950-2003	+1° C	Brewer 1958; Romanovsky et al., 2002
Russia	Northwest Siberia (10 m), 1980-1990	+0.3 to +0.7° C	Pavlov, 1994
Russia	European North of Russia (6 m), 1973-1992	+1.6 to +2.8° C	Pavlov, 1994
Canada	Alert (15 m), 1995-2000	+0.15° C yr^{-1}	Smith et al., 2003
Canada	Northern Quebec (10 m), late 1980s - mid 1990s	–0.1°C yr^{-1}	Allard et al., 1995
Norway	Janssonhaugen, Svalbard	+1° to +2° C	Isaksen et al., 2001
Kazakhstan	Northern Tien Shan (1973-2003)	+0.2° to +0.6° C	Marchenko, 1999 and 2002
Tibet	Qinghai-Tibet Plateau (1970s-90s)	+0.1 to +0.3° C	Huijin et al., 2000

9

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Геолошки потенцијал на пермафростот

Минерални резерви

- 5.9% од вкупните светски резерви на нафта
- 24.3% од светските резерви на природен гас (99% Русија)
- 1.5-2 трилиони US долари – проценета вредност на Руски резерви на минерали
- Аљаска 67M тони цинк, 67M тони олово
- Канада: дијаманти, злато, гипс, железо, олово, ураниум, сол, цинк
- Шведска: 2.413 M тони железо
- Норвешка 1.000 M тони железо
- Гренланд: злато, молибден, никел, платина, REE

Потешкотии при експлоатација

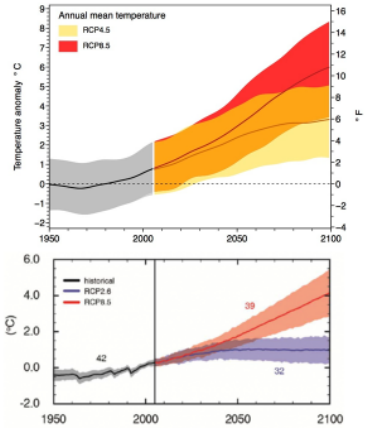
- Смрзнатини по телото, поларни мечки, механички дефекти, блокирање на каналите за бродски транспорт
- Изградената инфраструктура пропаѓа при топењето на пермафростот
- Санти мраз го попречуваат транспортот
- Отпочнувањето на процесот на рударење чини огромни средства

10

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Пермафрост и климатски промени

- Според UNEP, емисиите на стакленички гасови се со тренд да ја зголемат глобалната температура за 3 до 5 степени до 2100
- Ова е многу повеќе од поставената граница од околу 200 нации за ограничување на зголемувањето на под 2степени, а со цел да се одбегнат повеќе поплави, суши, топлотни бранови и покаќување на нивото на морето.
- Меѓународниот панел за климатски промени (IPCC) во 5тиот извештај ги дава сценаријата за иднината, според кои температурата на Арктикот ќе се зголеми за 1.5 и 2.5°C до 2040 и од 2 до 7.5°C до 2100.



11

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Хазарди од топењето на пермафростот

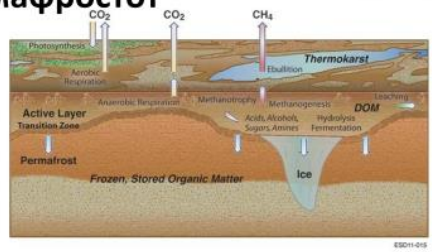
- Некои од ефектите од топење на пермафростот се:
- Многу села на Северната хемисфера се изградени врз пермафрост. Со топењето се уништуваат куќи, патишта и друга инфраструктура.
- Последиците можат да бидат девастирачки за околината. Како пример е ломот на цевковод во 1994 во нафтното поле Возеи во Русија, кога се излејаа 160,000 тони нафта, најголемата хаварија со нафта на копно.
- Дел од пистата на најголемиот интернационален аеродром на Гренланд, Kangerlussuaq во 2018 беше оштетен поради топење на пермафрост, а проценетата штета е повеке од 170M долари.

12

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Хазарди од топењето на пермафростот

- Пермафростот содржи скоро 1700В тони органски материјал, т.е. ½ од вкупниот органски материјал на сите почви на Земјата.
- Органскиот јаглерод кој се состои во материјалот од растенијата почнува да се деконпонира од микробите. Така, се ослободуват и CO_2 и CH_4 во атмосферата
- Количината на јаглерод 2 пати поголема од онаа која се содржи во атмосферата.
- Со топењето на пермафростот се ослободуваат древни бактерии и вируси кои ги има во мразот и почвата. Овие одмрзнати микроби може да допирнесат за појава на болести кај луѓето и животните (т.н. **„зомби“ патогени**). Некои микроби стари и до 400К год. се откриени во одмрзнат пермафрост.

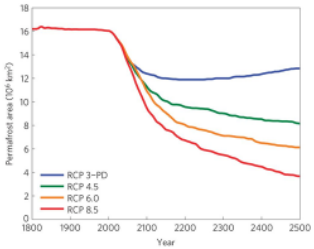


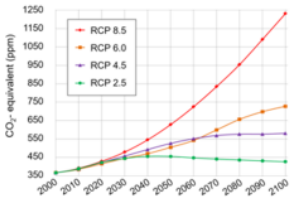
13

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Хазарди од топењето на пермафростот

- Најновите проценки покажуваат дека 110-231 В тони на CO_2 еквиваленти (пола од CO_2 пола од трансформација на CH_4) ке бидат испуштени до 2040, и 850-1400 В тони до 2100. Ова одговара на просечна годишна емисија од 4-8 В тони CO_2 еквиваленти за периодот 2011-2040 и годишно 10-16 В тони за периодот 2011-2100 како резултат на топење на пермафростот.
- За споредба, антропогената емисија на сите стакленички гасови во 2010 е околу 48 В тони на CO_2 еквивалент. Испштањето на стакленички гасови од пермафростот ќе допринесе за глобалното затоплување.
- **Ако се земе во предвид и очекуваното ветреење на сулфидните минерали кои ги содржи, количините на CO_2 може да бидат далеку поголеми**



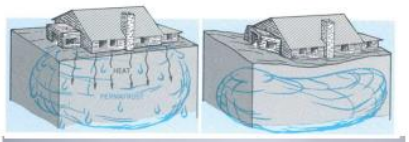


14

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Хазарди од топењето на пермафростот

- Според неодамнешно истражување спроведено на Арктикот во 2018 година, откриено е дека во пермафростот се содржат огромни количини на жива во замрзната состојба. Повеќе од 57000М литри жива само во северната хемисфера, што е околу 10 пати повеќе од вкупно ослободената жива во последните 30 години.
- Во летото 2015, летен антракс геше кобен за 12 годишно момче во далечните краеви на Сибир. Најмалку 20 други лица од полуостровот Јамал беа дијагнозирани со потенцијално смртоносната болест. Повеќе од 2300 елени уггинаа поради болеста предизвикана од отопување на пермафростот и ослободување на спорите *Bacillus anthracis*i во водата и почвата.



15

IV Конгрес на Геолозите на Република Македонија

Заклучоци

- Арктичкиот регион се загрева двапати подбрзо од остатокот на планетата
- Зголемувањето на емисиите на CO_2 и метан ослободени од пермафростот во комбинација со абсорпција на топлина од сонцето порад помала количина на мраз кој ја рефлектира од површината на земјата, ќе доведе до зголемени трошоци од глобалното затоплување за **$70 трилиони долари. Тоа е 10 пати повеќе од бенефитот кој може да се добие со полесен пристап до минералните суровини во Арктикот и пониските трошоци за транспорт низ Светот**.
- Искористувањето на минералните суровини од пермафростот, без притоа да се има влијание врз зголемувањето на ефектите на климатските промени ќе биде еден од најголемите предизвици за човештвото во иднина.

16

1. ОСНОВЕН И ФУНДАМЕНТАЛЕН ДЕЛ

Геохронологија и изотопна геохемија
Магматизам и вулканологија
Минералогија и петрологија
Палеонтологија и палеоантропологија
Структурна геологија и геотектоника
Планетарни науки, геофизика, геохемија

1-OF-01
UDC: 621.311.22-664:620.182-026.771]:624.13

CHEMICAL CHARACTERIZATION OF FLY ASH SAMPLES FOR FURTHER USE IN SEISMIC GEOTECHNICAL ENGINEERING

Elena Angelova[1,2*], Vlatko Šešov[1], Silvana Dimitrijević[3], Vojka Gardić[3]

[1]*Institute of Earthquake Engineering & Engineering Seismology, Todor Aleksandrov 165; 1000 Skopje, N. Macedonia*
[2]*Geohydroconsulting, Skopje, N. Macedonia*
[3]*Mining and Metallurgy Institute Bor, Serbia*
angelova.v.elena@gmail.com

A b s t r a c t: Fly ash is a product resulting from coal burning. Usually, it is deposited in landfills and some portion is used in cement industry. Worldwide there is tendency for greater use of these materials for various purposes to reduce such landfills. It has been greatly examined for use in civil engineering, especially for soil improvement in road construction. While the physico-mechanical properties are widely researched, there are less studies for the aspect of soil dynamics. The chemical properties of fly ash depend on the composition of coal, as well as the technology of burning. Therefore, the chemical composition of fly ash must be examined for its suitability for further use. This paper represents the first experimental stage consisting of chemical characterization of fly ash samples, before their further use in the second experimental stage dedicated to dynamic properties of soils improved with fly ash.

Key words: fly ash, chemical characterization, suitability, soil improvement

ХЕМИСКА КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НА ПРИМЕРОЦИ ОД ЛЕТЕЧКА ПЕПЕЛ ЗА ПОНАТАМОШНА УПОТРЕБА ВО СЕИЗМИЧКОТО ГЕОТЕХНИЧКО ИНЖЕНЕРСТВО

А п с т р а к т: Летечка пепел е продукт од согорувањето јаглен. Вообичено се депонира, а дел се користи во цементната индустрија. Во светски рамки има тенденција за поголема употреба на вакви материјали за различни цели за да се намалат депониите со ваков материјал. Овој материјал е многу истражуван за употреба во градежништвото, особено за подобрување на почви во нискоградба. Додека физичко-механичките својства се опширно истражувани, од аспект на динамички својства на почвите има помалку студии. Хемиските својства на летечка пепел зависат од составот на јагленот, како и од технологијата на согорување. Затоа хемискиот состав на летечката пепел мора да се испита дали е соодветен за понатамошна употреба. Овој труд ја претставува првата експериментална фаза која се состои од хемиска карактеризација на примероци од летечка пепел, пред нивна понатамошна употреба во втората експериментална фаза посветена на динамичките својства на почви подобрени со летечка пепел.

Key words: летечка пепел; хемиска карактеризација; подобрување на почви

INTRODUCTION

In North Macedonia, the greatest parof the produced electricity is from the Coal Power Plants (CPP) in Bitola and Oslomej. Furthermore, the geological investigations show that in the country there are new potential coal detabtabposits. It means that more fly ash will result from the electricity production before turning to massive energy production from renewable resources such as solar energy. It can be concluded that for protection of the environment, a solution has to be found for the use of coal ash, which is produced in the country, instead of its deposition. It would mean reduction of costs for the Public Enterprise for Power Plants in North Macedonia (ESM), which otherwise must do expropriation for landfills, transportation and deposition of the coal ash.

The regions of the cities Skopje and Ohrid are the most interesting from aspect of investigation of the seismic properties of the materials and their improvement, due to dense population, composition of the natural soil and the degree of saturation.

Considering that it is of high importance to detect the problems before large catastrophes occur and to find solutions for them, it is recommended to convey investigation of the potential of the fly ash as improvement material to natural soils. The Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS) has performed numerous studies for these regions and owns significant data for the properties of the natural ground.

The results in this paper are part of PhD study which involves laboratory tests for chemical characterization of the materials in the first stage, as well as seismic tests at a later stage which will help to estimate the dynamic properties of fly ash soil improvement for seismically vulnerable structures in critical tectonic zones.

FLY ASH FROM CPP BITOLA

At the moment the fly ash in CPP Bitola originates from coal deposits “Suvodol” and “Brod Gneotino”, which belong to the Pelagonian Tertiary basin. According to Andreevski (1995), based on the comparison of the qualitative parameters of the coal from the deposits “Suvodol” and “Brod Gneotino”, it is almost identical. The coal from “Suvodol” is classified as lignite with variable content of resinite with vitronite, xylite, clayey component and pyrite in its petrographic composition (Rudproekt, 2009; Geohydroconsulting (2018) prepared a geological elaborate based on thorough investigations for the deposit “Brod Gneotino”. The elaborate classifies the coal in the deposit as soft brown coal – lignite, with organic and inorganic origin and low heat content. It is very important to note that Andreevski (1995) mentioned the high variation of the content of fly ash from coals especially lignite and the big amount of fly ash resulting from this type of coal. The fly ash in CPP Bitola is mixed and it is not known exactly in which order it has been deposited, so it can be expected to have different properties at different locations of the landfill. The power plant Bitola burns 5-6 million tons coal per year, resulting in 1–2 million tons per year of fly ash, boiler ash and bottom ash, from which the bottom ash is being burnt twice for better use of the coal potential (Murtanovski et al., 2019). At present, only 10-15% fly ash is regularly used only by the cement industry (Vladicevska and Momirov, 2019).

Different authors (Angjusheva et al., 2019; Vladicevska and Momirov, 2019) mention the factors influencing the valorization of fly ash: physicochemical properties, technical performances and ecological compatibility. Therefore, it is needed to characterize the fly ash from geometric, structural and chemical point of view. The fly ash is a heterogeneous material, and it must be characterized before each use (Angjusheva et al., 2019).

The sampling for the current study was done in August 2019. Two types of fly ash were sampled, old fly ash from a deposit more than 5 years old and new fly ash at the place of current deposition of the fly ash from the power plant. The sampling was done with representatives from ESM.

In order to have a detailed description of the material, chemical and mineralogical characterization of the fly ash was done at the Mining and Metallurgy Institute (IRM) in Bor, Serbia, at the end of October and the beginning of November in 2019. The testing program included the most important features for which knowledge is necessary. The main reason for these tests is to determine the following: class of the fly ash and thus its cementing ability, consisting minerals in order to know the stability of the material from aspect of further chemical weathering which affects the physicomechanical properties of the materials, presence and quantity of any hazardous elements which might cause contamination to the environment.

CHARACTERIZATION OF FLY ASH

For detailed physical characterization of the samples, the particle size distribution is determined. The new fly ash is sandy silt with a little clay. For comparison the old fly ash is also sandy silt, but contains higher percentage of sandy fraction, lower percentage of silt, and has no clayey component.

In order to determine the potential of the fly ash to pollute the environment, tests were conveyed in order to detect the presence of toxic elements. There are different methods to register macro elements for example Cu, As, Pb, Cd and a separate method to determine the value of trace elements present such as Hg.

For both new fly ash and old fly ash duplicate samples were prepared as well as one control sample. The prepared samples were tested with Spectro Blue ICP-OES (Inductively coupled plasma – optical emission spectrometry) and Spectro Ciros Vision ICP-OES. Using these instruments, the presence of heavy metals is determined, and the results are expresses as content of oxides, which helps define the class of the new and the old fly ash.

According to the standard for definition of the fly ash class ASTM C618 (2019), both new and old

fly ash fulfil the requirements for the amount of oxides (Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2) for Class F (Table 1). Further more, considering that quartz is the most present mineral and it is stable mineral, it refers to resistance of the fly ash to further weathering.

T a b l e 1

Amount of major and minor elements present in the tested samples

Oxide (%)	New fly ash (sample #1)	Old fly ash (sample #2)
Al_2O_3	23.85	27.28
BaO	0.073	0.066
CaO	3.49	5.30
Fe_2O_3	8.14	7.28
K_2O	3.00	2.24
MgO	1.95	2.37
MnO_2	0.31	0.18
Na_2O	0.89	0.49
P_2O_5	0.20	0.16
SO_3	0.60	0.70
SiO_2	54.61	52.18
SrO	0.035	0.035
TiO_2	0.84	0.88

Based on the amount of present trace elements (Table 2), it can be said that the trace elements present in the new fly ash are within the maximal allowed limits, however the arsenic in the old fly ash (177.7 ppm) is above the allowed value of 50 ppm.

T a b l e 2

Trace elements in the tested fly ash

Element (ppm)	New fly ash (sample #1)	Old fly ash (sample #2)
Be	7.3	6.1
V	128.8	142.0
Cr	105.9	108.7
Mn	1852.3	1044.8
Co	25.5	18.8
Ni	63.1	62.5
Cu	47.7	60.4
Zn	150.0	111.3
As	48.2	177.7
Cd	0.36	0.25
Pb	54.8	32.9
Mo	15.9	10.8
Hg	<0.1	<0.1

Trace elements were determined also for both the new and old fly ash, accompanied by a control sample. According to the obtained results, the fly ash is not toxic.

Polycyclic chlorinated biphenyls (PCBs) and Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are toxic organic compounds, which are known to be carcinogen. Therefore, they were also subject to testing. The samples are analysed with gas chromatography-mass spectrometric detector by the method of internal standard. The instrument used for analyses is gas chromatography Agilent 7890B with mass spectrometric detector Agilent 5977A and autoinjector Agilent G4513A. The same instruments are used for analyses of both samples from solid waste and from eluates. Preparation and analysis of eluate is with the aim to determine leachability of harmful elements from ash, and to predict the possibility of negative impact of ash disposal or usage in the environment. Eluate represents extraction of certain elements from the solid samples by means of washing the sample with a solvent. To define the fluid for testing, the pH of the sample has to be determined. The measured pH is 6.89 for the new fly ash and 6.82 for the old fly ash. For leachability testing the moisture content of the samples was determined. The obtained values for the moisture content are 14.35% for the new fly ash and 9.88% for the old fly ash. This can be justified by the fact that the new fly ash contains moisture in order to be transported from the power plant to the location for deposition without producing dust in the air. The registered PCBs and PAHs in the samples are very low and negligible, which means that the fly ash does not represent a pollutant.

Loss on Ignition (LOI) is “the loss in mass of the test specimen when heated under controlled conditions of temperature, time, atmosphere, specimen mass and equipment specifications” (ASTM D7348-13, 2013). It is determined with the apparatus LECO TGA 701 which is thermogravimetric analyser. The samples do not need any complicated preparation procedure and the use of this apparatus is rather simple. However, the testing conditions need to be set in advance according to the standard ASTM D7348-13 (2013). The results are presented in Table 3.

T a b l e 3

Results from TGA

Sample	Average LOI (%)

New fly ash	2.875
Old fly ash	6.820

The amount of Carbon and Sulfur is determined with HORIBA Scientific EMIA – 920V2 Carbon Sulfur Analyzer (Table 4)

T a b l e 4

Percentage of present carbon and sulfur

Sample	C (%)	S (%)
New fly ash	0.643649	0.256627
	0.701711	0.282582
Old fly ash	1.087061	0.301886
	1.190053	0.276291

From the results it can be noticed that the presence of sulfur is rather low, and it is similar in the two materials. However, considering presence of coal, even though it is low the old fly ash shows higher residue of coal than the new fly ash. This refers to insufficient burning of the coal in past and lost coal potential. The difference in color of the two samples also supports this result, more exactly the old fly ash is darker in color.

For determination of the types of minerals present in the crystal phase of the material, XRD method was used. The used apparatus was Rigaku MiniFlex 600 with D/teX Ultra 250 high speed detector and copper anode x-ray tube. According to the obtained graphs which have a lack of peaks, it can be concluded that the material has low crystalinity and is highly amorphous (ures 1 and 2). Both samples have shown presence of SiO_2 – Quartz (red), Fe_2O_3 – Hematite (magenta), $NaAlSi_3O_8$ – Albite (dark blue) and $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ Gypsum (light blue). Quartz is the only mineral that survives the coal burning. The rest of the minerals convert into other minerals depending on the burning temperature. Due to the high presence of amorphous particles, significant amount of the present minerals could not be determined with the XRD methodology.

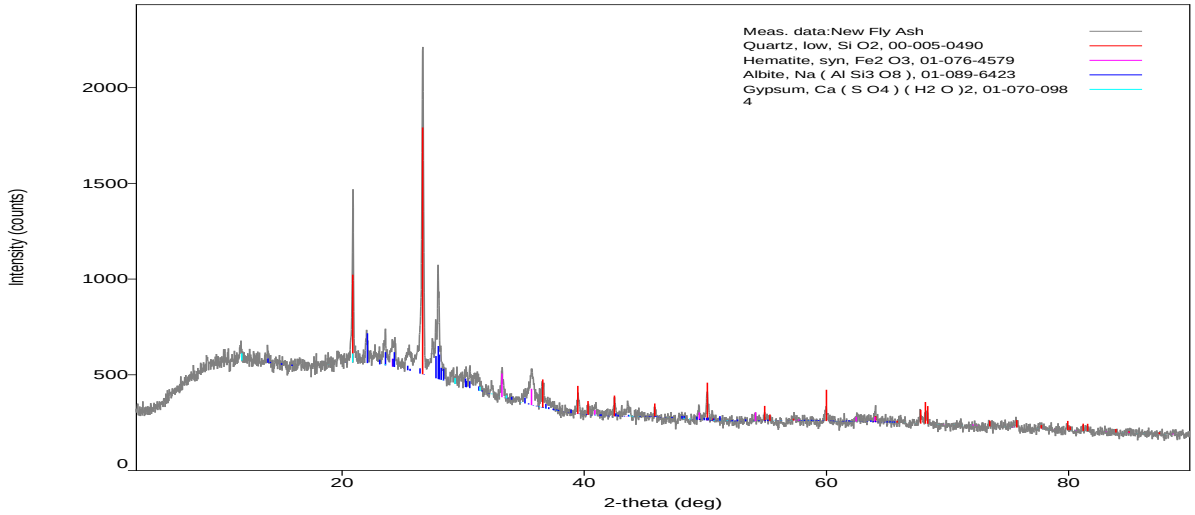


Fig. 1. Results from XRD testing of new fly ash

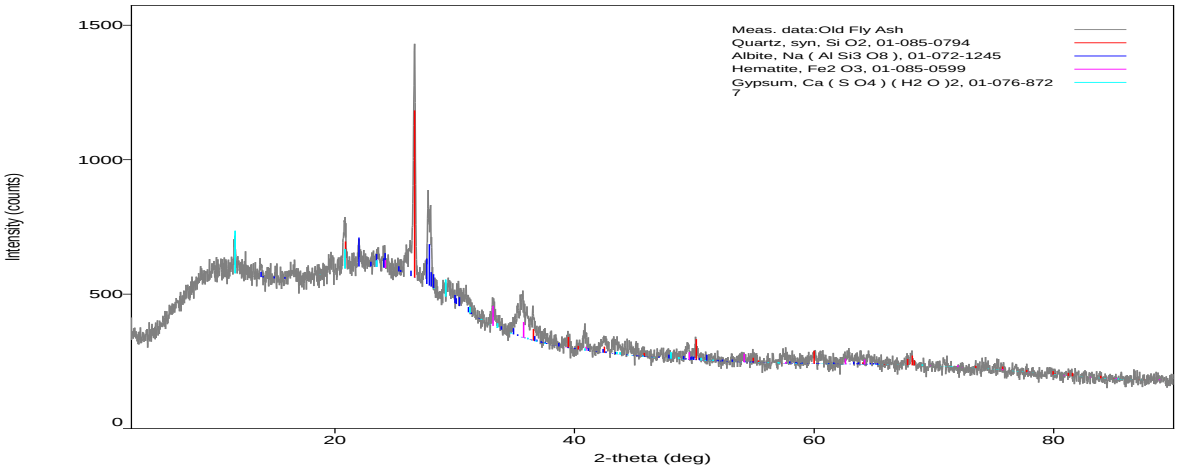


Fig. 2. Results from XRD testing of old fly ash

Scanning Electronic Microscopy (SEM) was used in parallel with Energy Dispersive Spectrometry (EDS). More exactly SEM is used for close observation of the sample particles under different magnification levels. This test is useful to discover the shape of the particles as well as the range of their size. The results from this test can be compared to the XRD results, in order to confirm if the elements discovered with EDS are constituent elements of the minerals registered with XRD. In this study the used apparatus is JEOL JSM-6610LV. It should be noted that since the samples are intentionally coated with gold, this element should be eliminated in the EDS analyses. The idea was to observe the shape of particles. At 500× magnification generally irregular flocculations of particles can be seen, as well as small part of individual particles, with irregular shape, as well as spherical and elongated particles (Figures 3 and 4). However, the SEM images for the analysed fly ash considerably differ from images for fly ash from the literature, mainly lacking majority of spherical cenospheres. As the magnification increases more regular shapes of particles can be observed, solid or hollow (Figures 5 and 6). The unburnt carbon particles are presumably angular.

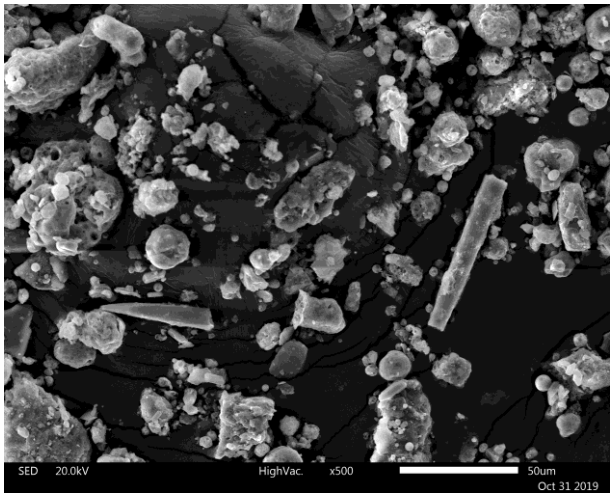


Fig. 3. New fly ash observed with SEM under 500× magnification

From the observation of the newly prepared samples with Ultrasound dispersion, it can be concluded that there are still group of attached particles. (Figures 7 and 8) Therefore, it can be said that this method is not applicable for dispersing fly ash particles.

After testing these solid samples, new samples were prepared. Ultrasound apparatus was used with the aim to disperse the flocculation of particles and observe the particles individually. The used apparatus for this is Sonis 3 by Iskra PIO from Slovenia.

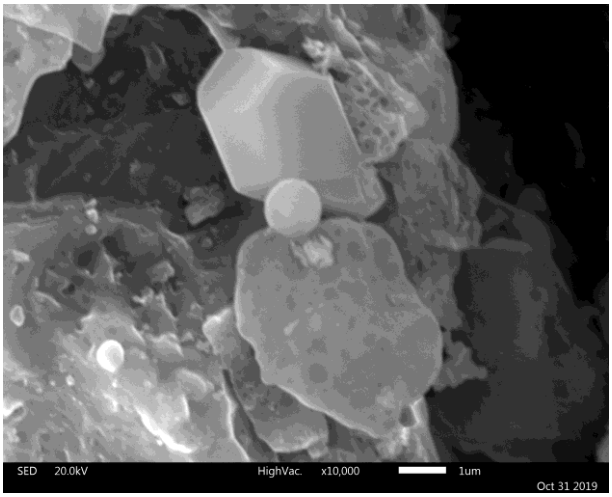


Fig. 4. New fly ash observed with SEM under 10000× magnification

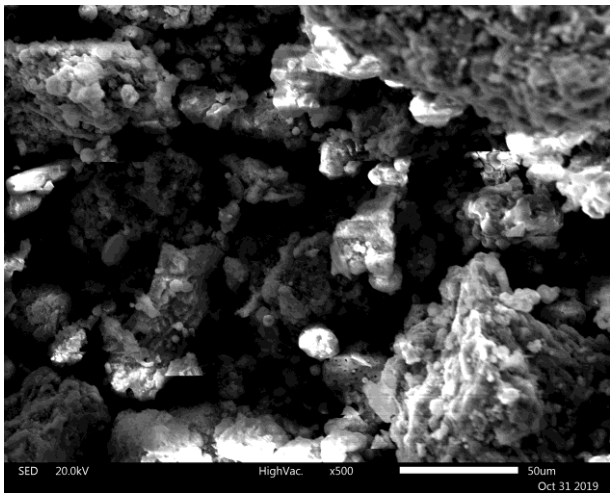


Fig. 5. Old fly ash observed with SEM under 500× magnification

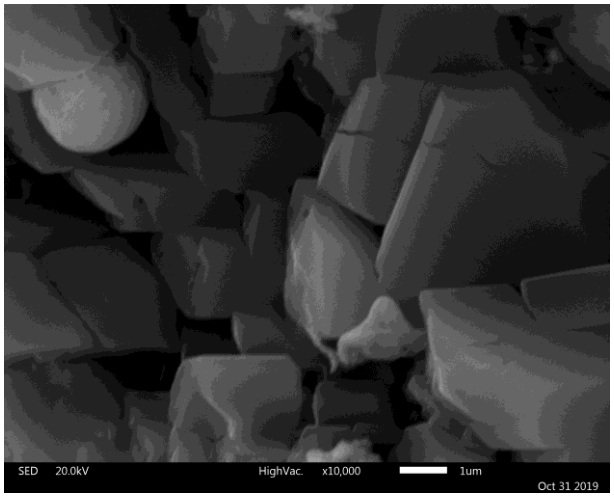


Fig. 6. Old fly ash observed with SEM under 10000× magnification

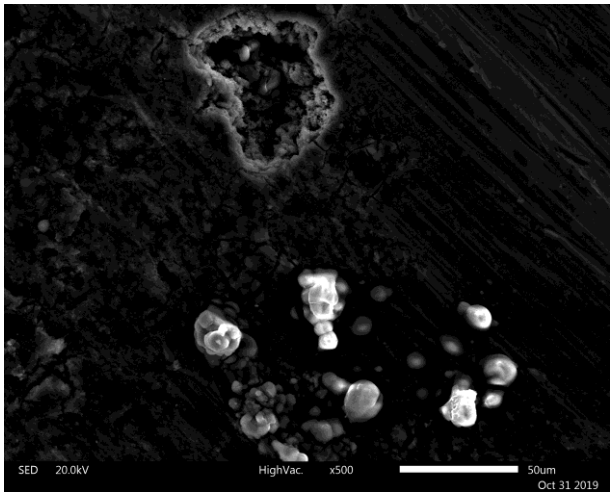


Fig. 7. New fly ash after ultrasound observed with SEM under 500× magnification

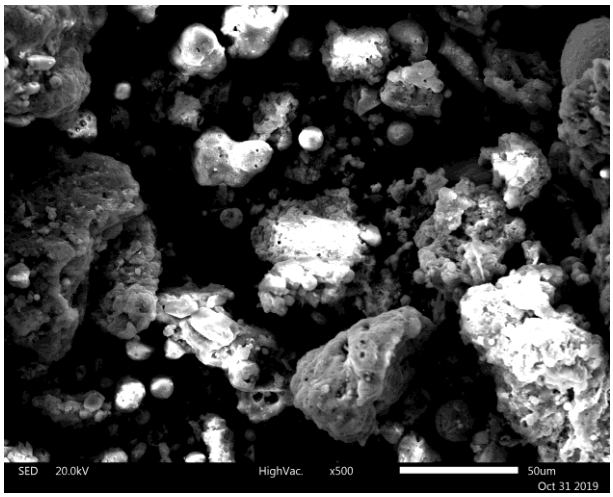


Fig. 8. Old fly ash after ultrasound observed with SEM under 500× magnification

RESULTS AND CONCLUSION

The physical properties of the fly ash refer to a fine material, that is silt. This means that the fly ash can complement the particle size distribution of the natural soil to be improved, such as Skopje Sand. By filling the voids of the sand, the fly ash can provide stability of the soil's skeleton, that is less rearrangement of the particles.

The chemical tests were done to characterize the fly ash. It should be noted that the same tests were conveyed on new and old fly ash.

According to the amount of oxides (Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2) present in the fly ash, the two samples belong to Class F. However, based on the value for loss on ignition which for both Class C and Class F should be lower than 6%, the new fly ash is categorized into Class F, whereas the old fly ash is an off-specification (does not meet the requirements for Class C or Class F).

Resulting from the leaching tests, it can be concluded that the samples do not contain organic toxic elements and compounds, which means that from this aspect the fly ash is not a pollutant for the environment in which it will be used. Furthermore, based on the comparison between the amount of present trace elements in the samples and the maximal allowed limits, it can be said that the new fly ash does not contain excessive trace elements and can be further used. However, due to the value of arsenic present in the old fly ash, it is not recommended to further use this sample.

By conducting a test to determine the percentage of sulfur and carbon present in the samples, it was found out that sulfur is present with less than

1% in both samples, whereas in the old fly ash carbon is around 1% and in the new fly ash it is lower than 1%. Considering that the fly ash will be used in small quantities to improve the natural soil, it can be concluded that the fly ash will not be a risk for the concrete elements of the structures founded in such improved soils and there is no risk for expansion of the soil due to sulfur presence.

Quartz is the only mineral that survives the coal burning. The rest of the minerals convert into other minerals depending on the burning temperature. These conditions in which the minerals convert from primary to secondary are too violent, meaning that normally the materials will not be exposed to very high temperatures or pressures. As shown with multiple tests, quartz is the most present. From mineralogical aspect it is stable mineral, thus it refers to resistance of the fly ash to further weathering. This property of the material is very important for the variability of the physico-mechanical properties with time.

From the observation of the samples with SEM it was noticed that the fly ash consists mainly of groups of attached particles, called flocculations. Ultrasound dispersion was used in order to separate the particles from one another; however, it was concluded that this method is not suitable for dispersing fly ash particles.

Acknowledgements: Many thanks to ESM for allowing sampling as well as for making fly ash documentation available for this PhD study. Also, special gratitude to IRM Bor and all its staff for supporting the entire testing with their expertise free of charge.

REFERENCES

Andreevski, B. (1995) Coals, genetic and qualitative propertyes, coal deposits and environmental protection. [Jagleni, genetski i kvalitativni karakteristiki, naogjalishta na jaglen i zashtita na zivotnata sredina]. Shtip, Mining-geological Faculty.

Angjusheva, B., Jovanov, V. and Fidanchevska, E. (2019) Mozni reshenija za valorizacija na letackata pepel kako sekundarna surovina. [Possible solutions for valorization of fly ash as secondary resource] [Presentation] Faculty of Technology and Metallurgy in Skopje, 5th December.

ASTM International. (2013) ASTM D7348-13 *Standard Test Methods for Loss on Ignition (LOI) of Solid Combustion Residues*, West Conshohocken, PA, ASTM International.

ASTM International. (2019) ASTM C618-19 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, West Conshohocken, PA, ASTM International.

Geohydroconsulting (2018) Elaborat za izvedeni detalni geoloshki istrazuvanja i ispituvanja na jaglenovo naogjalishte "Brod Gneotino" (vo ramki na povrshinski kop) – Prekategorizacija na rezervi na jaglen od poniska "B" vo povisoka "A" kategorija. *[Elaborate for performed detailed geological investigations and tests for the coal deposit "Brod Gneotino" (within open pit) – Precategorization of coal reserves from lower "B" into higher "A" category]* Geohydroconsulting DOOEL Skopje. Report number: 0103/30-1

Murtanovski, P., Stoilkov, A. and Jovanova, M. (2019) *Letecka pepel – otpad ili surovina*. *[Fly ash – waste or resourse]* [Presentation] Faculty of Technology and Metallurgy in Skopje, 5th December.

Rudproekt (2009) *Glaven rudarski proekt za otvaranje i eksploatacija na jaglenot od podinskata jaglenova serija na rudnik "Suvodol" REK, Bitola*. [Main mining design for opening and exploitation of the coal from the bottom coal series of mine "Suvodol" REK Bitola] Rudproekt Skopje. Report number: 03–59.

Vladicevska, Lj. and Momirov, A. (2019*) Primena na pepeli vo Usje od 2003 godina do denes i kratok istoriski izveshtaj za pocetocite na nivnite ispituvanja od osumdesetite godini*. [Use of fly ashes at Usje from 2003 until today and short historical report for the beginnings of their tests from the 80s'] [Presentation] Faculty of Technology and Metallurgy in Skopje, 5th December.

1-OF-02
UDC: 550.93:552.16.086(497.784/.785)

NEW INFORMATION ABOUT THE AGE OF THE PELAGONIAN METAMORPHIC COMPLEX (??)

Blažo Boev, Ivan Boev

Faculty of Natural and Technical Sciences, "Goce Delčev" University in Štip,
Blvd. Blvd. Krste Misirkov 10-A, P.O, Box 210, 2000 Štip, Republic of North Macedonia
blazo.boev@ugd.edu.mk

A b s t r a c t: Regarding the problem of the age the Pelagon, two questions can be asked: the first question is the age of the metamorphic rocks (??) and the second one is the age of the consolidation of the massif (?). The metamorphic complex of the Pelagon is polymetamorphic and polydeformational, and the age of the oldest relics has not been determined yet. This information paper for the first time presents information about determining the age of metamorphic rocks using the U / Pb method of samples representing titanites from the lower metamorphic complex (gneisses). The information obtained indicates an age in the range of about (1840 ±25 m / y. This is the first information that has been received and, in any case, it should be rechecked in some further research. The second question concerning the age of the consolidation of massifs has been documented in more detail in almost all crystalline massifs on the Balkans and that age ranges from about 550 to 600 million years, and this consolidation ends with an intense granitic (Herzinian) magmatism of about 300 million years of age.

Key words: age, Pelagonian, metamorphism, metamorphic rocks

НОВИ ИНФОРМАЦИИ ЗА СТАРОСТА НА ПЕЛАГОНИСКИОТ МЕТАМОРФЕН КОМПЛЕКС (??)

Во однос на проблемот за староста на Пелагонот, може да се постават две прашања и тоа: првото е која е староста на метаморфните карпи (??) и второто прашање која е староста на консолидацијата на масивот (?). Мертаморфниот комплекс на Пелагонот е полиметаморфен и полидеформационен, при што староста на најстарите реликти досега не е утврдена. Во овој информационен труд за прв пат се прикажуваат информации за одредување на староста на метаморфните карпи со примена на U/Pb метода на примероци кои претставуваат титанити од долниот метаморфен комплекс (гнајсеви). Информациите кои се добиени укажуваат на старост во границите од околу (1840 ±25 m.y.). Овие се први информации кои се добиени и во секој случај би требало во некои понатамошни истражувања да бидат повторно проверени. Второто прашање кое се однесува на староста на консолидацијата на масивите е досега подетално документирано во скоро сите кристалести масиви на балканот и таа старост се движи во границите од околу 550 до 600 милиони години и истата консолидација завршува со интензивен гранитски (херцински) магматизам од околу 300 милиони години.

Клучни зборови: старост, Пелагон, метаморфизам, метаморфни карпи

INTRODUCTION

The Pelagonian massif is the largest unit of the belt. It is situated between the Vardar zone and the Dinaride (West Vardar) ophiolite belt on the territories of North Macedonia and Greece (Florina "terrane") (Arsovski, 1960, Stojanov, 1958, 1960), (Jacobshagen, 1986; Pe-Piper & Piper, 2002; Yarwood & Aftalion, 1976; Mountrakis, 1984; Koroneos *et al.* 1993; Katerinopoulos *et al.* 1998; Vavassis *et al.* 2000; Reischmann *et al.* 2001; Anders *et al.* 2003; Most, *et al.* 2001; Zagorchev, 2020.

The major lithostratigraphic features of the Pelagonian metamorphic complex result from the primary accumulation of petitic-psamitic and carbonate sediments accompanied by poorly expressed initial magmatism. Over the Grenville orogenesis the complexes were affected by metamorphic-magmatic and tectonic processes when they metamorphosed into metamorphic rocks of epidote-amphibolite facies. Present day understanding of the geological composition of the geological-geotectonic unit makes it possible to divide the complex into two parts: northern and southern. The northern part is an asymmetric structure whose eastern portion is

raised and contains gneiss and micaschist formations, whereas the formations of the socalled mixed series and the series of marbles have been found in the western portions of the segment. Plicative structures are mainly of west and northwest extensions. The south part of the Pelagonian metamorphic complex is also asymmetrically built with uplift of the western wing where numerous plicative structures of sub meridian direction that bend to the north and north-west. The middle parts are built mainly of granidiorite masses, so the part of the area is rather raised or deeply eroded. The transition from gneisses to marbles in the eastern margin of the Pelagonian metamorphic complex is gradual, with absence of micaschists and mixed series, which have been preserved only as relicts. There, the marble series in the eastern rim is present as a band with thickness almost twice smaller than that in the northern part. The lithostarigraphic position of some formations differs from that of the formations in the northern part of the Pelagonian metamorphic complex (Figure 1).

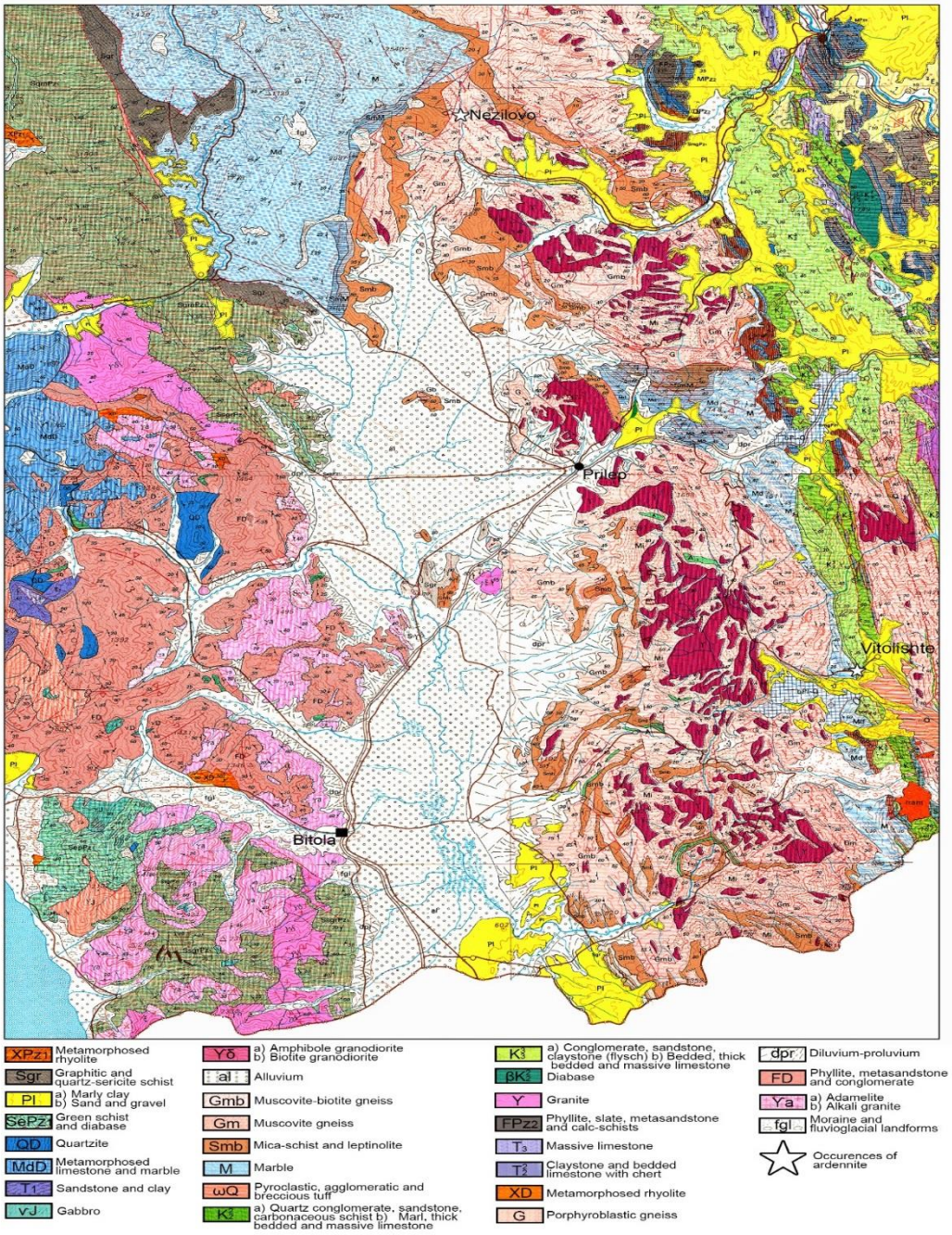


Fig. 1. Litostratigraphic map of Pelagonian metamorphic complex
(Scale 1: 200 000, Base Geologal map of Macedonia)

Lithostarigraphic characteristics of the northern part of the Pelagon

Besides, the lower part of the metamorphic complex is connected with granitoid bodies of the Prilep granitoids which in this part of the Pelagonian metamorphic complex are connected mainly with the terrains of Mt Babuna. In the series of gneisses which make up the deepest parts of the Grenville metamorphic complex several lithofacial types have been distinguished: augen two-mica amygdaloidal, band like, leucocratic muscovite and epidot-muscocite-biotite gneisses. Augen two-mica amygdaloidal gneisses are connected with the contact parts of the granitoid intrusions and gradually grade into two-mica biotite-muscovite gneisses. In the lower parts gneisses are massive and stratified pseudo layered and schistose owing to the presence of mica. On the surface they erode into various irregular, oval shapes or sporadically there are half a meter thick gneiss arenite. Gneisses are light red so the portions that contain more quartz and feldspar-albite are brighter and those with more mica are grey-greenish. As a rule, the lower parts of gneisses, present as biotite muscovite gneisses, are characterized by prevalence of microcline, whereas in the upper parts most abundant are albite and microcline.

Porphyroblastic gneisses are closely related to the contact parts of the granites or the gneiss-granites in the valley of the river Babuna (at Teovo). The thickness of the gneiss series in the northern part of the Pelagonian metamorphic complex is estimated at 5 000 to 7 000 meters. The series of micaschists is less widespread than the gneiss series. It was discovered at Plaven-ski Rid, Osoj and Silegarnik, Begovi Virovi and Kadino Pole, Ubava, north-west of the Kadina Reka basin and Mt Kitka. To the east of Prilep they were distinguished in Mts Prisoj, Viorila and some other places. As a whole, the series of micaschists is present as micaschists, quartzites and graphite schists, which facially grade one into other both latterly and vertically. Unlike gneisses, micaschists possess clearly pronounced dark brown to dark schistose texture depending on the graphite material in them. In addition to quartz, micaschists also contain micas (muscovite, biotite, paragonite), chlorite and garnets (of up to 30% in some parts), distene, staurolite, albite, amphibole, tourmaline etc. There are also garnet micaschists rich in garnet with crystals attaining several centimeters in size. They are abundant in Mt Viorila, north of Kozjak. Large distene crystals of 10 cm in size have been found in the micaschists in the area. The mixed series in the north part of the Pelagonian metamorphic complex occupies a sequence of metamorphic rocks of variable petrographic composition: augen schists, feldspatised chlorite schists, cipolines, talc schists and marbles where rocks grade one into other both laterally and vertically. Of all lithological variet-ies gneisses (mainly albite) prevail (the area of Markova Reka, Kitka, Ruen, the village of Izvor etc). Metarhyolites are also present. The marble series comprises the top parts of the Precambrian complex in the Pelagon. In the north, the series of marbles comprises the mountain masses of Jakupica, Karadžica and Dautica and the River Treska valley. Some areas north of Prilep (Sivec, Platvar and Kozjak) are also made up of this carbonate formation. Relicts of it are present in the northern slopes of Kitka and in the eastern marginal part of the Pelagon (the village of Izvor, Veles). The granitoid formation is less present in the north part of the Pelagon. It occurs as smaller granite bodies located in the gneiss and micaschists series. The bodies are 0.5 km^2 to several square kilometers in size. Larger granitoid bodies have been found in the north parts of Mt Babuna. Granodiorites prevail in the north, and granites are less present in the formation. A small diorite occurrence has also been found. Pegmatites, aplites and quartz veins occur as lode rocks.

Upper and lower parts have been distinguished in the northern part of the Pelagonian metamorphic complex in the Grenville metamorphic complex. The lower part is present as a series of gneisses and micaschists, whereas in the upper part a mixed series and a series of marbles have been determined.

Lithostratigraphic features of the south part of the Pelagonian metamorphic complex

The Precambrian metamorphic complex in the south part of the Pelagonian metamorphic complex extends south of the Pelagon to Mt Selečka, Dren, Nidže and Kajmakčalan. The complex is deeply

eroded that can be seen from the metamorphic facies' characteristic of the deeper parts of the amphibolite facies, then from the position of the micaschist series and the absence of mixed series. The Precambrian metamorphic complex was formed in conditions of regional metamorphism of pelite-psamite sediments, basic and acid volcanic intrusive rocks and carbonate rocks. The rocks are located in three lithostartigraphic levels: gneiss-micaschist series (lower metamorphic complex), mixed series and a series of marbles. The gneiss-micaschist series (gneisses and micaschists) comprises the lower stratigraphic level of the metamorphic complex and is made up of gneisses, micaschists, metadiabases, quartzites and granodiorites. Different temperature and pressure conditions during metamorphism, different levels and the influence of polyphase of granodiorite magmatism, resulted in zonar structure of the gniess micas-chist series. This made it possible to distinguish:A lower zone present as homogenized mass, made up of muscovite-biotite gneisses, seldom amphibolite bands.An upper zone, lithologically present as a fairly heterogeneous mass in which various types of gneisses, micaschists, amphibolites and quartzites alternate both vertically and horizontally. The mixed series is well built and is present as a thick mass of layers in the north part of the Pelagonian massif. In the south the thickness of the massif decreases. Only partially preserved relicts of mixed series occur in the slope of the marble series. The marble series is well preserved and has been found as a 1 500 to 2 000 meters thick mass in the margin of the south part of the Pelagon, It is transgressively overlain, with an angle discordance, by Riphean Cambrian low metamorphic rocks and Upper Cretaceous sediments that are characteristic of the Vardar Zone. At the Nidže-Labnica-Melnica-Veprčani-Belovodica strike the marble series is present as two superposition horizons. Dolomites and dolomite marble prevail in the lower horizon, whereas quartzite marbles in the upper.

METHODOLOGY

From the lower metamorphic complex of Selecka Mountain from the series of gneisses, samples of gneisses were collected from which small grains of titanium were extracted. The determination of age is made nn two samples with the following methodology.

Analytical Methods for LA-ICPMS Attom (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) U–Pb dating analyses were performed using a Nu Plasma AttoM single collector ICPMS connected to a Photon Machine Excite laser ablation system. Samples were ablated in He gas (gas flows = 0.4 and 0.1 l/min) within a HelEx ablation cell (Müller et al., 2009). The He aerosol was mixed with Ar (gas flow= 0.9 l/min) prior to entry into the plasma. The gas mixture was optimized daily for maximum sensitivity. Ablation conditions were: beam diameter: 35 µm, pulse frequency: 5 Hz, beam energy density: 2.0 J/cm^2. A single U–Pb measurement included a short preablation, 20 s of He flushing 10 s of on-mass background measurement, followed by 30 s of ablation with a stationary beam. ^{235}U was calculated from the signal at mass 238 using a natural ^{238}U/^{235}U = 137.88. Mass number 204 was used as a monitor for common Pb. The contribution of ^{204}Hg from the plasma was eliminated by on-mass background measurement prior to each analysis. In an ICPMS analysis, ^{204}Hg mainly originates from the He supply. The observed background counting-rate on mass 204 was 200–250 cps and has been stable at that level over the last two years. Age related common lead (Stacey and Kramers, 1975) correction was used when the analysis showed common lead contents significantly above the detection limit (i.e. >50 cps). Because of very high common Pb contents, a modern common Pb correction was tested as well (Sheet "common Pb T = 0"). Signal strengths on mass 206 were typically 100000 cps, depending on the uranium content and age of the titanite.

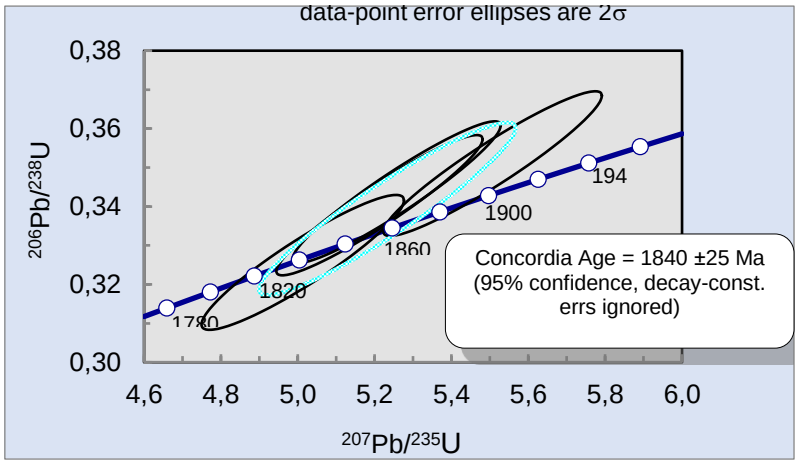
Calibration standard MKED-1 (1518 ±1.4 Ma; Spandler et al., 2016) and in-house control sample A1756 (1857 ±3 Ma, unpublished) were run at the beginning and end of each analytical session, and at regular intervals during sessions. Raw data were corrected for the background, laser-induced elemental fractionation, mass discrimination and drift in ion counter gains and reduced to U–Pb isotope ratios by calibration to concordant reference zircons, using the program Glitter (Van Achterbergh et al, 2001). Further data reduction including common lead correction and error propagation was performed using an inhouse excel spreadsheet. Errors include measured within-run errors (SD) and quadratic addition of reproducibility of standard (SE). To minimize the effects of laser-induced elemental fractionation, the depthtodiameter ratio of the ablation pit was kept low, and isotopically homogeneous segments of the timeresolved traces were calibrated against the corresponding time interval for

each mass in the reference zircon. Plotting of the U-Pb isotopic data and age calculations were performed using the Isoplot/Ex 4.15 program (Ludwig, 2011). All the ages were calculated with 2σ errors and without decay constants errors. Data-point error ellipses in the figures are at the 2 σ level.

Titanite samples did not show signs of zoning, hence they were not extensively imaged with a SEM. U-Pb ages were obtained along traverses across the grains. After analysis, a backscattered electron image was obtained on grain A of sample A20-02856-1 to confirm the internal homogeneity. All titanite data are severely hampered by very high levels of common Pb, hence numerical results cannot be given. The standard data processing involves age-related common Pb-correction. As the ages used for the common Pb composition are based on measured 207Pb/206Pb ratios, they are obviously unrealistically high in extreme common Pb concentrations. Therefore, a modern common Pb correction was attempted also. While it does produce more concordant results, the data are too scattered for a definitive age result to be given. As a summary weighted average age of 206Pb/238U was calculated.

RESULTS AND COMMENTS

The results obtained and the concordance diagrams are shown in Figure 2. The values indicate an age in the interval from 1840 ±25 million years. In the paper by Anders et al, 2014, several points were obtained on the terrains in Greece that had values up to 1777 ±13 million years; the determinations were performed on the mineral zircon, and they are mentioned only as points, without going into a more detailed comment. These age values indicate Grenvillian age (1.5–1.8 GA), although all published results indicate Neoproterozoic age (699–713 m/y) (De Leon, 1966, he presents the age of granitoid of Prilep area around 1 GA). However, it should be mentioned that, although certain problems were observed during the measurements of age and that the obtained values should be rechecked in further work, still these values may arouse interest for further research on the age of the Pelagonian metamorphic complex.



Model 1 Solution (±95%-conf.) on 15 points
Lower intercept: 120 ±110 Ma
Upper intercept: 4497 ±1700 Ma
MSWD = 0.35, Probability of fit = 0.98

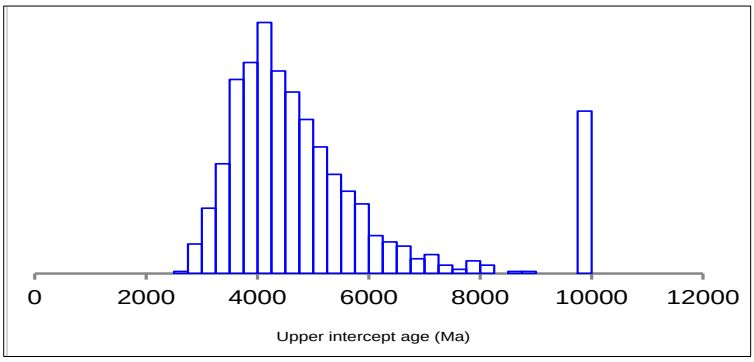


Fig. 2. Concordia age of Pelagonian metamorphic complex

REFERENCES

Anders, B., Reischmann, T., Poller, U., Kostopoulos, D. (2003):. First zircon ages from South Pilion and Skiathos Island, Greece. Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, *Beiheft zum European Journal of Mineralogy*, **15** (1), 5.

Anders, B., Reischmann, T., Kostopoulos, D., Poller, U. (2006): The oldest rocsk of Greece: First evidence for a Precambrian terrane within the Pelagonian Zone, *Geol. Mag*. **143** (1), pp. 41–58.

Арсовски, М. (1960): Некои особености на тектонскиот склоп на централниот дел на Пелагонискиот хорстантиклинориум и неговиео однос со Вардарската зона, *Трудови на Геолошкиот Завод на СРМ*, Св. 7., 1960,

Де Леон, Р. (1966): Поглед на геолошката старост на граниотоидните стени во пелагониската зона во Македонија на основа на нивната изотопска старост, *Реферати на 6 Советување на Геолозите на Југославија*, Охрид, 1966,

Jacobshagen, V. (1986): *Geologie von Griechenland*. Berlin/ Stuttgart: Gebrueder Borntraeger, 363 pp.

Katerinopoulos, A., Kyriakopoulos, K., Del Moro, A., Kokkinakis, A., Giannotti, U. (1998): Petrology, Geochemistryand Rb/Sr Age Determination of Hercynian Granitic Rocks from Thessaly, Central Greece. *Chemie der Erde*, **58**, pp 64–79.

Koroneos, A., Christofides, G., Del Moro, A., Kilias, A. (1993): Rb–Sr geochronology and geochemical aspects of the Eastern Varnountas plutonite (NW Macedonia, Greece). Neues Jahrbuch f˙ur Mineralogie, *Abhandlungen* **165** (3), pp 297–315.

Ludwig, K.R. (2011). *User's manual for Isoplot/Ex, Version 4.1. A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 4.

Most, T., Frisch, W., Dunkl, I., Kadosa, B., Boev, B., Avgerinas, A. & Kilias, A. (2001). Geochronological and structural investigations of the Northern Pelagonian Crystalline Zone. Constraints from K/Ar and zircon and apatite fission track dating. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, **XXXIV** (1), pp 91–5.

Müller, W., M. Shelley, Miller, P., Broude, S. (2009). Initial performance metrics of a new custom-designed ArF excimer LA-ICPMS system coupled to a two-volume laserablation cell. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, **24**: pp 209–214

Mountrakis, D. (1984). Structural evolution of the Pelagonian Zone in Northwestern Macedonia, Greece. In: *The geological evolution of the Eastern Mediterranean* (eds J. E. Dixon and A. H. F. Robertson), pp. 581–90. Geological Society of London, Special Publication no. 17.

Pe-Piper, G. & Piper, D. J. W. (2002): *The igneous rocks of Greece. The anatomy of an orogen*. Berlin/Stuttgart: Gebrueder Borntraeger, 573 pp.

Reischmann, T., Kostopoulos, D. K., Loos, S., Anders, B., Avgerinas, A., & Sklavounos, S. A. (2001): Late Palaeozoic magmatism in the basement rocks southwest of Mt. Olympos, Central Pelagonian Zone, Greece: remnants of a Permo-Carboniferous magmatic arc. *Bulletin of the Geological Society of Greece* **XXXIV** (3), pp 985–993.

Стојанов, Р. (1958): Претходни резултати од геолошките и петрографските истражувања на Селечка Планина, *Трудови на Геолошкио Завод на НРМ*, Св 6, 1958,

Стојанов, Р. (1960): Претходни резултати од геолошките и петрографските истражувања на високо метаморфните стени во централниот дел на Пелагонискиот масив, *Трудови на геолошкиот Завод на НРМ*, Св, 7, 1960,

Spandler, C., Hammerli, J., Sha, P., Hilbert-Wolf, H., Hu, Y., Roberts, E., Schmitz, M. (2016). MKED1: A new titanite standard for in situ analysis of Sm–Nd isotopes and U-Pb geochronology. *Chemical Geology* **425**, pp. 110–126.

Stacey, J. S., Kramers, J. D. (1975): Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters* **26**, pp 207–221.

Vavassis, I., De Bono, A., Stampfli, G. M., Giorgis, D., Valloton, A. & Amelin, Y. (2000): *U–Pb and Ar–Ar geochronological data from the Pelagonian basement in Evia (Greece): geodynamic implications for the evolution of Palaeotethys.* Schweizerische Mineral

Van Achterbergh, E., Ryan C., Jackson, S. and Griffin W., (2001): *Data reduction software for LA-ICP-MS, in: Laser-Ablation ICPMS in the Earth Sciences – Principles and applications, Mineralogical Association of Canada short course series*, 29, St John, Newfoundland, Sylverster P. Ed., 239-243.

Yarwood, G. A., Aftalion, M. (1976): Field relations and U–Pb geochronology of a granite from the Pelagonian Zone of the Hellenides (High Pieria, Greece). *Bulletin de la Soci´et´e G´eologique de France* **18** (2), 259– 264.

1-OF-03
UDC: 552.4.086(497.715)

PETROGRAPHY OF THE DREN-BOHULA MASSIF AS A PART OF THE OPHIOLITIC COMPLEX DEMIR KAPIJA–GEVGELIJA

Ivan Boev

Faculty of Natural and Technical Sciences, Institute of Geology, "Goce Delčev" University in Štip, Blvd. krsyte Misirkov 10-A, P. O. Box 210, 2000 Štip, Republic of North Macedonia
ivan.boev@ugd.edu.mk

A b s t r a c t: The Dren-Bohula massif covers the western parts of the ophiolite complex Demir Kapija Gevgelija and geologically it does not represent a separate tectonic segment. It is built of the following rocks: verlite, troctolite, olivine gabbro, gabbro, Uralite gabbro, diorite, basalt, diabase, and quartz-diorite. The interrelationships of these types of rocks, as well as their mineral composition, indicate a continuous magmatic differentiation of basic magma.

Key words: ophiolitic complex, Dren-Bohula, gabro

ПЕТРОГРАФИЈА НА МАСИВОТ ДРЕН–БОХУЛА КАКО ДЕЛ ОД ОФИОЛИТСКИОТ КОМПЛЕКС ДЕМИР КАПИЈА–ГЕВГЕЛИЈА

Масивот Дрен-Бухула ги зафаќа западните делови од офиолитскиот комплекс Демир Капија Гевгелија и геолошки гледано не преставува посебен тектонски сегмент. Изграден е од следниве карпи: верлит, троктолит, оливин-ски габро, габро, уралитски габро, диорит, базалт, дијабаз, кварцдиорит. Меѓусебните односи на овие типови на карпи, како и нивниот минерален состав укажуваат на континуирана магматска диференцијација на базична магма.

Клучни зборови: офиолитски комплекс, Дрен-Бохула, габро

INTRODUCTION

The Demir Kapija-Gevgelija ophiolite complex is the largest remnant of oceanic crust within the Vardar Zone in the Republic of North Macedonia. The Vardar Zone is centrally located on the territory of the Republic of North Macedonia (along the river Vardar) and it consists of the Western Ophiolite Belt (Schmid et al., 2008) or the Dinar Ophiolite Unit (Karamata, 2006) and the Eastern Ophiolite Belt. The Eastern ophiolite belt is locateds in the SE part of the Republic of North Macedonia and the ophiolite complex Demir Kapija-Gevgelija (Figure 1) is located in it. The Eastern ophiolite belt is a separate part of the Vardar zone, different from the Dinaric ophiolite belt or the western ophiolite belt of the Vardar zone (Karamata, 2006; Schmid et al., 2008), Bozović et al, 2010, Prelević et al, 2017, Prelvić et aa, 2014, Boev et al, 2013.

The complex extends in the NW-SE direction and to the north the ophiolite complex of Klepa joins, while to the west there is the massif called the gabbro-diabase complex Dren-Bohula. On the territory of the Republic of North Macedonia this complex is about 50 km long and 25 km wide. The complex continues to the south into neighboring Greece where it is called the Gevgelli series (Zachariadis, 2007). In the northwestern part of this complex in the region of Tikves it is covered with Upper Eocene and Pliocene sediments and volcanic clastic sediment rocks, and in the southern parts of the territory of Greece this complex is covered with Pliocene and Quaternary sediments. The research of geology, tectonics and lithostratigraphy of the ophiolite complex so far has determined the presence of the following lithological formations: a formation of gabbros and accompanying plutons; a vein complex; a formation of massive basalts; a formation of spilitized pillow basalts; a spilite – keratophyre level; a basalt chert formation; a flysch formation, and a carbonate formation with titonic age (Lepitkova, 2002).

The gabbroic formation is composed predominantly of fine – grained and medium – grained clinopyroxene gabbros, rarely of olivine gabbros, pyroxene gabbros with olivine, troctolites and amphibole gabbros and quite rare are serpentinized dunites and hornblende peridotites as well as dikes of basalts, gabbropegmatites, aplites, granite – porphyry and quartzdiorites. This formation of various types of intrusive and vein type rocks is a result of magmatic differentiation and the processes of amphibolitization.

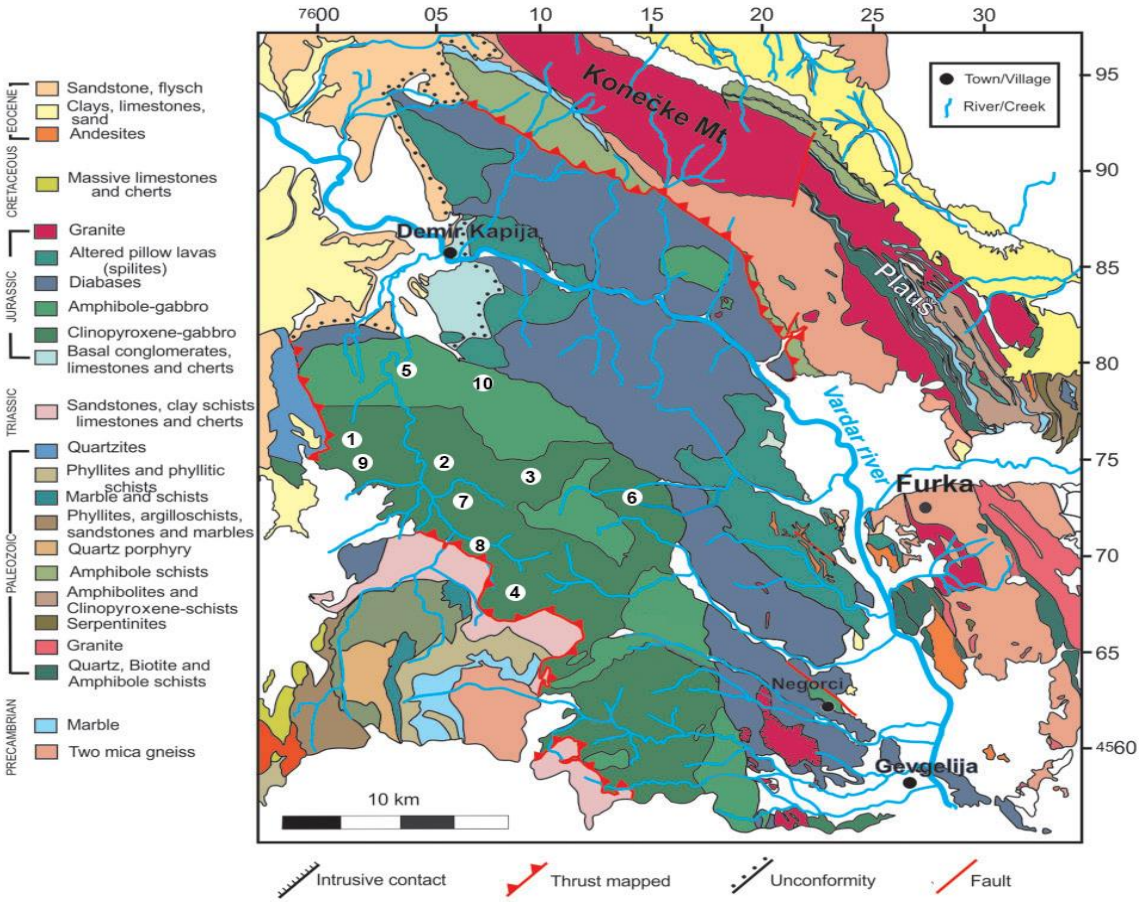


Fig.1. Ophiolitic complex Demir Kapija-Gevgelija (Bozovic et al, 2010, modified by I. Boev, 2021)

Ultrabasics are present as tectonically forced masses along fault structures or they occur along with troctolites. They are present as serpentinized dunites, amphibolized peridotites as well as wehrlites. They are made up of hornblende, serpentine, actinolite, olivine and accessory magnetite.

A vein complex occurs in the contact parts of the gabbroic formation and the formation of massive basalts as a well-developed 200 to 300 (maximum 500) meters zone made up of basalt – dolerite dikes and segmented gabbro masses. The mineralogical composition is similar to the massive basalt and gabbroic mass.

Massive basalts are found in the central and eastern portions of the ophioltite complex. They are present as fine-grained ophiolite and intersertal composition with occasional occurrences of entire recrystallization of the glass groundmass. They are altered rocks in which feldspars are heavily albitized. Basic plagioclases occur as relic kinds (Labrador – bytownite), whereas albite – oligoclase – andesine are present as plagioclases. Femic minerals as found in augite, hornblende, secondary chlorite, epidote, magnetite, apatite.

Spilite – keratophyre level occurs in the top most portions of the formation of basaltic pillow lavas. It is present as a concentration of dikes and outpourings of keratophyre masses, quartzkeratophyres, rhyolites and seldom andesites which form keratophyre level together with spilitized basalts. These acid differentiates occur as pink to red, grey – green to grey – white rocks with micro porphyritic to porphyritic structure composed of alterated feldspatic mass with relics of plagioclase (oligoclase – albite), K – feldspar, also chlorite, quartz, epidote, seldom crystals of hornblende, chloritized biotite and calcite (Saric et al, 2009).

Upper parts of ophiolitic complex are composed of chert formations, flysch formations and on the complex there are massive carbonate rocks of titonic age.

METHODOLOGY

In the summer of 2020, in the part from the village Dren (west of Demir Kapija) to the village Bohula, samples of basic and acid rocks were collected that appear in this part of the ophiolite complex. Microscopic transmissions and chemical analyses were

made on the collected samples using the ICP-AES method. The microscopic preparations were processed in detail using a Leica polarizing microscope and microscopic preparations were made.

MICROSCOPIC ANALYSES

1. Verlite

Verlite is made of serpentinized olivine, serpentinite, augite (dijalag) and accessory minerals (hypersthene, chlorite, feldspar, uvarovite and a small amount of magnetite). Due to the processes of serpentinization, the primary structure is changed in some places and in other places the whole rock is built of serpentinite, which has a typical network structure.

Olivine occurs in allotriomorphic grains (about 1 mm in size) is mainly serpentinized and there are some veins of magnetite. In some places the occurrence of small tiny crystals of augite (dijalag) and amphibole is often observed, which in places form a typical kelephite structure (Figure 2).

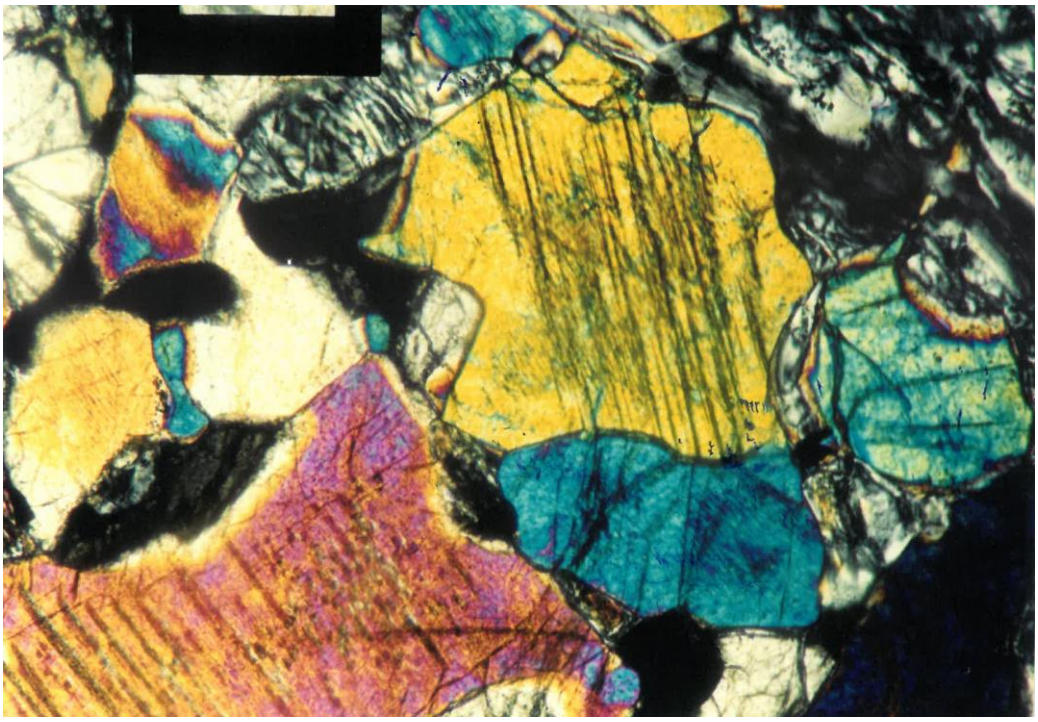


Fig. 2. Microscopic photography of verlite (crossed Nicols)

Pyroxene, augite (dijalag) occurs in much smaller amounts. These are usually large individuals (about 5 mm) that almost always contain olivine grains. Prismatic cleavage is not very pronounced. Rhombic pyroxene, hypersthene, sometimes occurs with the dialogue.

Magnetite occurs in irregular grains or in the form of veins.

Chlorite occurs in larger piles and is characterized by blue interference colors.

Feldspar is very rare and belongs to the group of basic plagioclases.

Uvarovite occurs in fine green isotropic grains, especially in association with chlorite.

The normative composition (Table 1, analysis 1) does not correspond to the modal composition, because serpentine does not belong to the group of normative minerals (NORM minerals). In the microscopic examination there are less plagioclases than in the normative composition (13%). Other normative minerals are in accordance with the modal mineral composition determined under a microscope.

Olivine grains that are not related to augite (dijalag) have irregular shapes, while olivine grains that are embedded in augite (dijalag) have a rounded shape. This structural relationship of the rounded olivine grains that are incorporated in the augite (dijalag) is the consequence of the genesis of these peridotite varieties within the ophiolitic complex Demir Kapija–Gevgelija.

2. Troctolite

Macroscopically, this rock is of greenish color with a pronounced dark shade, it has a speckled texture where the speckles are represented by black grains of olivine and white grains of plagioclase. Under a microscope it can be seen that the rock is made up of irregular olivine grains, mostly involved in the serpentinization process and irregular grains of plate plagioclase. Around some grains of olivine there is an edge of augite (dijalag) (symplectite). The presence of actinolite as well as the presence of small green isotropic grains of uvarovite are noticed in the rock. Magnetite also occurs in the serpentinized olivine grains themselves. Feldspar occurs rarely and is involved in transformation processes (Figure 3).

The normative composition (Table 1, analysis 2) corresponds to the calculated modal composition in terms of the presence of olivine, plagioclase, magnetite and pyroxenes.

T a b l e 1

Normative minerals composition of the rocks from Dren-Bohula Massif

Niggli Norm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
quartz	–	–	–	–	3,397	10,562	25,983	35,487	–	–	–	–	8.510	13.399
orhoclase	0.060	0.060	0,466	0,943	1,422	3,216	1,686	0,365	0,118	0.479	0.830	0.958	1.315	0.984
albite	2.171	5.547	6,991	6,757	17,563	26,00	35,148	38,888	20,506	11.375	9.548	17.289	28.671	31.315
anorthite	10.842	35.471	46,109	61,439	46,731	39,206	23,866	18,835	34,705	32.456	43.677	46.572	30.344	22.987
corundum	–	–	–	–	–	–	–	1,032	–	–	–	–	–	1.414
nepheline	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
leucite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
kaliophilite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Na2SiO3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
calcite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
apatite	–	–	–	–	–	0,301	–	–	–	–	–	–	0.223	–
pyrite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ilmenite	–	–	–	–	–	–	–	0,659	1,424	–	–	1.638	2.211	2.988
magnetite	8.246	4.934	2,957	0,907	2,758	4,553	2,121	1,764	3,173	3.602	1.898	1.949	2.893	3.744
hematite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
rutile	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
titanite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
perovskite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
diopside	13.118	3.702	25,788	21,885	21,784	3,480	0,088	–	20,901	27.555	28.575	11.940	6.626	–
hyperstene	19.625	6.734	7,207	–	6,345	12,673	11,109	2,969	17,973	12.305	7.550	15.283	19.207	22.169
olivine	45.936	43.553	10,481	7,824	–	–	–	–	1,199	12.198	7.921	4.371	–	–
wolastonite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
larnite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
acmite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
norm En	99.0	98.5	95,7	94,2	92,9	78,5	74,7	77,5	83,7	85.2	86.2	73.8	69.2	77.9
Norm An	83.3	86.5	86,8	89,6	72,7	60,1	40,4	32,6	62,9	74.1	82.1	72.9	51.4	42.3
Norm Color	86.9	58.9	46,4	30,6	30,9	20,7	13,3	5,4	44,7	55.7	45.9	35.2	30.9	28.9
CIPW Norm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Quartz	–	–	–	–	3.656	11.10	27.516	37.240	–	–	–	–	9.494	13.895
Orthoclase	0.059	0.059	0.473	0.945	1.418	3.132	1.655	0.355	0.118	0.473	0.827	0.945	1.359	0.945
Albite	2.031	5.161	6.684	6.383	16.499	23.86	32.491	35.622	19.291	10.576	8.969	16.076	27.922	28.345
Anorthite	10.761	35.020	46.774	61.580	46.578	38.16	23.407	18.306	34.642	32.049	43.529	45.947	31.353	22.076
Corundum	–	–	–	–	–	–	–	0.919	–	–	–	–	–	2.124

Niggli Norm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nepheline	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Leucite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Kaliophilite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Na_2SiO_3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Calcite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Apatite	–	–	–	–	–	0.348	–	–	–	–	–	–	0.274	–
Pyrite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ilmenite	–	–	4.161	–	–	–	–	0.874	1.937	–	–	2.203	3.115	3.913
Magnetite	11.353	6.757	–	1.261	3.813	6.148	2.885	2.378	4.393	4.930	2.624	2.668	4.147	4.988
Rutile	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Titanite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Perovskite	–	–	25.611	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Diopside	12.686	3.564	6.684	21.520	21.343	3.398	0.087	–	20.781	27.018	28.264	11.898	6.960	–
Hypersthene	17.627	6.025	9.133	–	5.832	11.877	10.609	2.787	17.013	11.459	7.082	14.721	19.635	20.535
Olivine	38.603	36.485	–	6.780	–	–	–	–	1.083	10.815	7.065	4.062	–	–
Wollastonite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Larnite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Acmite	–	–	95.7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Norm En	99.6	98.6	87.5	94.1	92.7	75.1	70.2	73.4	81.7	83.2	84.6	70.0	69.4	73.9
Norm An	84.1	87.2	45.6	90.1	73.8	61.5	41.9	33.9	64.2	75.2	82.9	74.1	52.9	43.8
Norm Color	8.03	52.8	–	29.6	31.0	21.4	13.6	6.0	45.2	54.2	45.0	35.6	33.9	29.4
Indices														
Mg/(Mg+Fe)	0.834	0.859	0.817	0.870	0.707	0.485	0.544	0.324	0.668	0.730	0.774	0.617	0.513	0.533
$Mg/Mg+Fe^2+1/MgO$	0.933	0.940	0.907	0.918	0.844	0.656	0.667	0.484	0.752	0.809	0.832	0.671	0.588	0.630
Mod.larson	-36.25	-28.40	-17.57	-13.36	-6.666	0.246	0.333	1.216	0.109	0.076	0.098	0.138	0.179	0.161
Thort.Tutt.	2.090	5.220	7.157	7.538	21.574	38.093	61.662	73.217	19.410	11.049	9.796	17.022	38.775	43.185
Ratios														
(Na+K)/Al	0.093	0.073	0.075	0.062	0.169	0.272	0.436	0.478	0.229	0.154	0.106	0.164	0.331	0.358
Na+K+2Ca/Al	2.371	1.121	1.647	1.416	1.484	1.098	1.00	0.937	1.580	1.897	1.731	1.268	1.198	0.866
K/(K+Na)	0.027	0.011	0.062	0.116	0.075	0.110	0.046	0.009	0.006	0.040	0.080	0.052	0.044	0.030
Mg/Fe	13.971	15.790	9.708	11.235	5.424	1.907	1.999	0.938	3.037	4.240	4.951	2.037	1.426	1.701
Niggli Endmembers														
Olivine	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
FO	45.473	42.893	10.030	7.372	–	–	–	–	1.004	10.392	6.828	3.226	–	–
FA	0.466	0.661	0.451	0.452	–	–	–	–	0.196	1.805	1.093	1.145	–	–
Dipside	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
DI	12.985	3.646	24.680	20.620	20.737	2.733	0.066	–	17.487	23.477	24.632	8.811	4.584	–
HD	0.133	0.056	1.109	1.264	1.547	0.747	0.022	–	3.414	4.078	3.943	3.129	2.042	–
Hypersthene	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
EN	19.426	6.632	6.897	0.00	5.894	9.953	8.301	2.301	15.037	10.484	6.509	11.278	13.288	17.281
FS	0.199	0.102	0.310	0.00	0.451	2.720	2.808	0.667	2.936	1.821	1.042	4.005	5.918	4.888
CIPW Endmembers														
Olivine	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
FO	38.036	35.688	8.575	6.227	–	–	–	–	0.844	8.641	5.735	2.682	–	–
FA	0.565	0.796	0.558	0.553	–	–	–	–	0.239	2.174	1.330	1.380	–	–
Diopside	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
DI	12.539	3.502	24.358	20.108	19.625	2.588	0.063	–	16.982	22.534	23.884	8.457	4.608	–
HD	0.147	0.062	1.254	1.412	1.719	0.810	0.024	–	3.799	4.484	4.380	3.441	2.351	–
Hypersthene	17.392	5.906	6.311	0.00	5.300	8.739	7.344	2.018	13.539	9.330	5.851	10.036	12.385	14.970
EN	0.234	0.120	0.373	0.00	0.532	3.158	3.265	0.769	3.474	2.130	1.231	4.684	7.250	5.565
FS	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

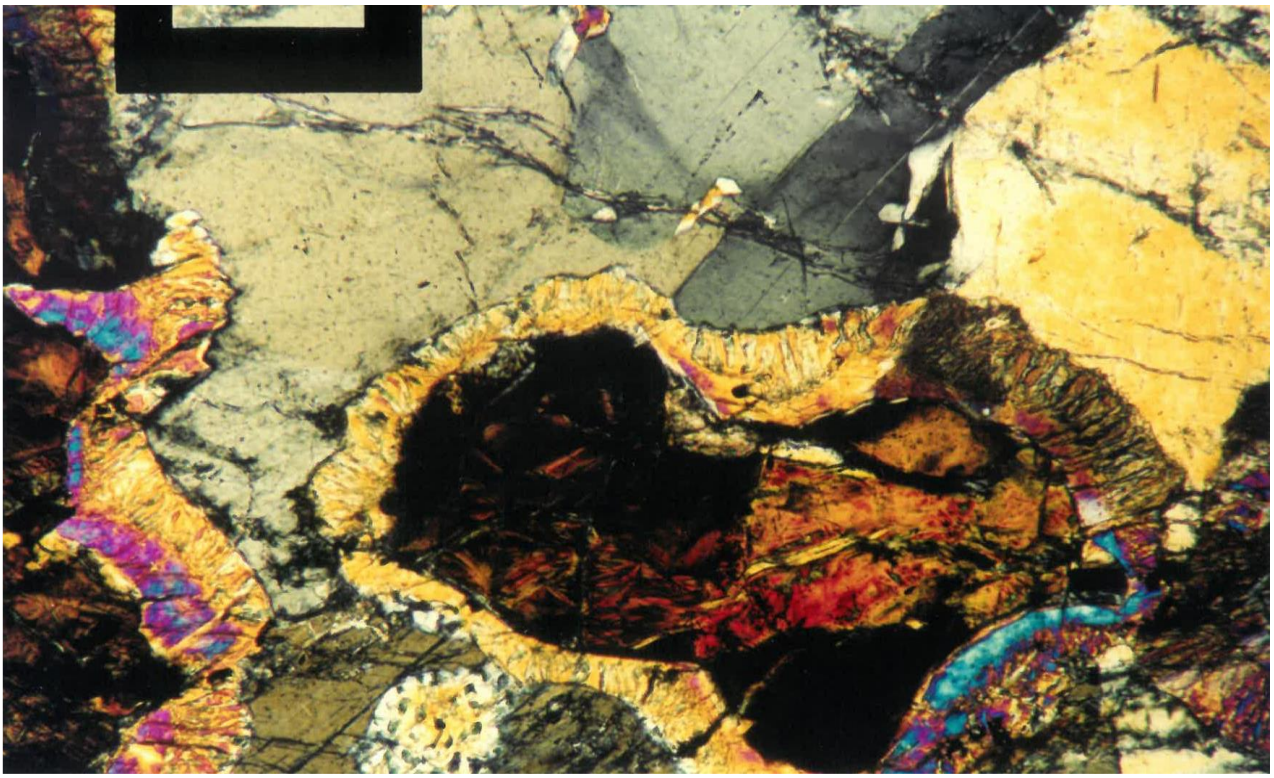


Fig. 3. Microscopic photograph of troctolite (crossed Nicols)

3. *Olivine gabbro*

Olivine gabbro is built up of plagioclases of the bitovnite-anorthite type, augite (dijalag) and a very variable amount of olivine. There are very few accessory minerals and they are represented by amphibole-actinolite, magnetite, and sometimes hypersthene. In some specimens of olivine gabbro, biotite is also present.

The rock is very coarse-grained, it has a typical gabbroic structure (allotriomorphically granular), crystals are presented with different sizes, as follows: feldspar are up to 2 mm in size, while pyroxenes and olivines are up to 1 mm in size.

Feldspars are fresh and they build the main mass of the rock. They have isometric shapes, regularly appearing as twinned individuals or in the form of polysynthetic lamellae (Figure 4).

Augite (dijalg) occurs in allotriomorphic forms with a pronounced occurrence of prisms after the first pinacoid and with very weakly pronounced prismatic cleavage.

Olivine occurs in xenomorphic grains with small dimensions and is not very common in quantity. It is almost always involved in serpentinization processes, and, as a result, magnetite veins occur.

The normative composition (Table 1, analysis 3) fully corresponds to the modal mineral composition.

In the decomposed specimens of the olivine gabbro, biotite and green hornblende occur.

4. *Gabbro*

The central place in the ophiolite complex Demir Kapija-Gevgelija is occupied by gabbro (sensu stricto); it is built of a mineral association of anorthite and augite (dijalag). Occasionally there is a small occurrence of olivine which is associated with the ultrabasic parts of the complex, and sometimes there is an occurrence of amphibole with which it associates with the diorite part of the ophiolite complex.

It has a typical gabbro structure (allotriomorphic granular). Xenomorphic grains of one mineral enter incorrectly into another mineral. The grain size is variable. Pyroxenes occur up to 2 mm in size while plagioclase occurs up to 1 mm in size.

Feldspars are quite fresh, and they belong to the group of basic plagioclases (anorthite). They very rarely occur as individuals, usually as twinned crystals of one or more individuals (polysynthetic lamellae) (Figure 5).

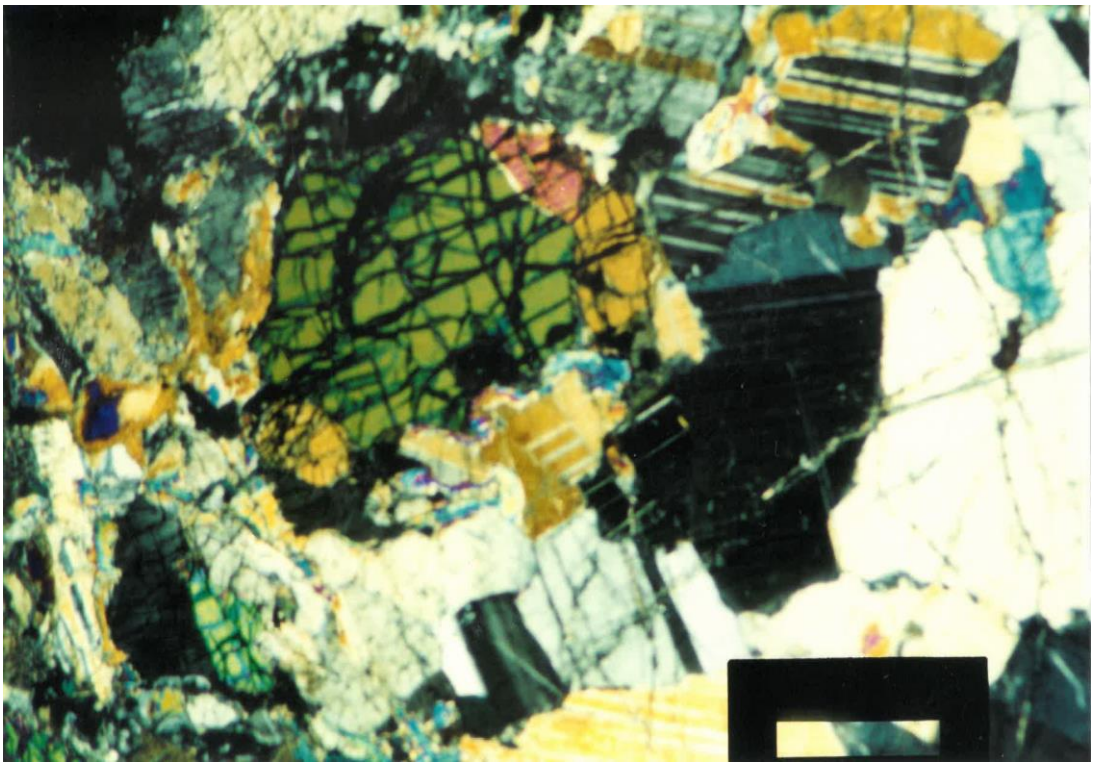


Fig. 4. Microscopic photograph of olivine gabbro (crossed Nicols)

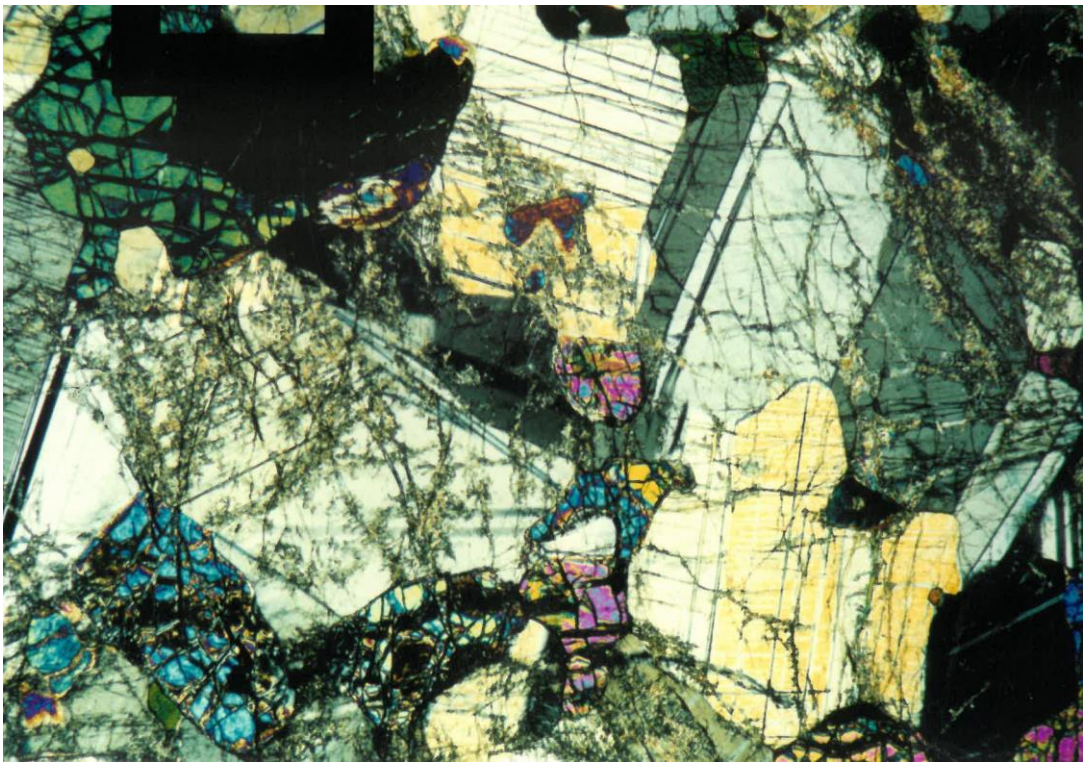


Fig. 5. Microscopic photograph of gabbro (crossed Nicols)

Pyroxene, based on its microscopic characteristics, can be determined as augite (dijalag). It occurs in allotriomorphic grains, often in groups. Prismatic cleavage is weakly pronounced.

There is no olivine in the modal composition, while in the normative composition (Table 1, analysis 4) there is olivine, which is understandable if we have in mind the method of calculations accord-

ing to the CIPW method. The amount of anorthite determined in the normative composition is in accordance with the modal composition (microscopically determined composition).

It should be mentioned that in the field within the ophiolitic complex Demir Kapija-Gevgelija there are certain zones in which there are pronounced metamorphic changes of the gabbros. These metamorphic changes are represented by a process of uralitization (the occurrence of a uralite that develops with a change of pyroxene). Pyroxene, augite (dijalag)) gradually turns into fibrous or compact amphibole along the edges of the augite or on the surfaces of the augite cleavage.

5. Uralite gabbro

Within the complex, the gabbro affected by metamorphic changes occurs in several places, and it has turned into uralite gabbro. In the microscopic preparation it can be seen that the rock has a gabbroic structure (made of pyroxenes and plagioclases). Pyroxene is intensively modified into uralite which has the properties of actinolite. Plagioclases are slightly more acidic, mainly having a lamellar structure.

The normative composition (Table 1, analysis 5) does not fully correspond to the modal composition. Pyroxene appears in the normative composition and amphibole in the modal composition. The normative composition of the plagioclase has a higher percentage of anorthite, while in the modal composition the plagioclase has optical characteristics that indicate a more acidic plagioclase (with a smaller amount of anorthitic component).

6. *Diorite*

It is made of plagioclase, hornblende, quartz, and magnetite. It has a hypidiomorphic granular structure. Plagioclases appear in hypidiomorphic to idiomorphic crystalline shapes and in elongated forms. They have a pronounced zonal structure as a consequence of rapid cooling of the magmatic melt. The rock is made of plagioclases, hornblende, quartz and magnetite. Plagioclases appear in hypidiomorphic to idiomorphic shapes, and they have a pronounced zonal structure.

7. Basalt

This rock can also be called anorthitic-uralite basalt. It is dark gray to black in color, it has a characteristic fine porphyric structure in which in places there are larger phenocrysts of plagioclase. The basic mass is holocrystalline, composed of basic plagioclases and pyroxene of the pigeonite- augite type, which are involved in the uralitization processes. Plagioclases appear in twined individuals and are elongated in the direction of the main axis, idiomorphic in shape. Around the pyroxenes in some places there are kelephite edges made of amphibole-actinolite. Magnetite and epidote occur as accessory minerals.

8. Diabas

The rock is dark green, it is very hard and is made up of rod-shaped albites and amfiboles that occur in the form of sticks and irregular grains, epidote, magnetite, and a little quartz (Figure 6).

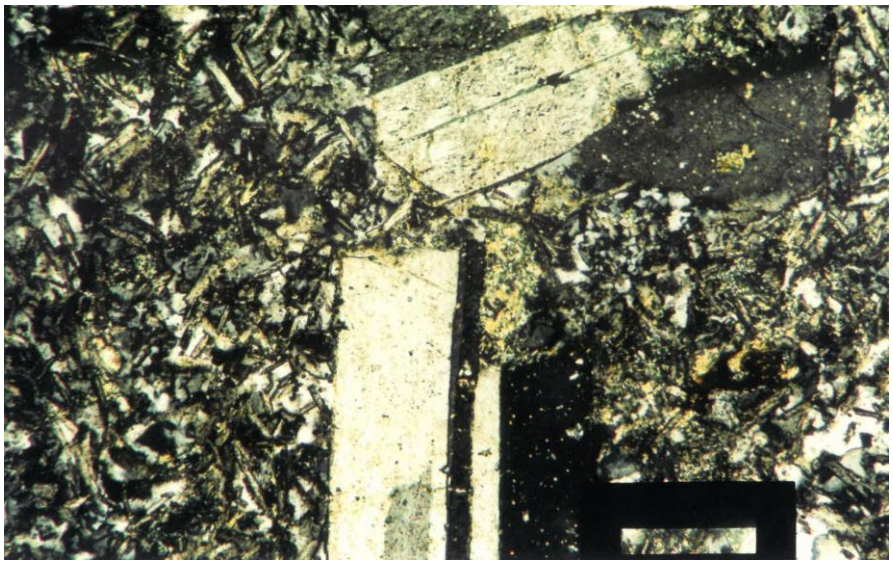


Fig. 6. Microscopic photograph of diabase (crossed Nicols)

9. Quartzdiorite

The rock is dark gray in color and it occurs in the form of veins that in places intersect the ophiolitic complex. Under a microscope the rock has pseudo-porphyric structure with plagioclase phenocrysts and sometimes amphiboles. In addition to these minerals, quartz also occurs in the rock. In its optical characteristics, amphibole corresponds to hornblende. Magnetite and epidote occur as accessory minerals (Figure 7).

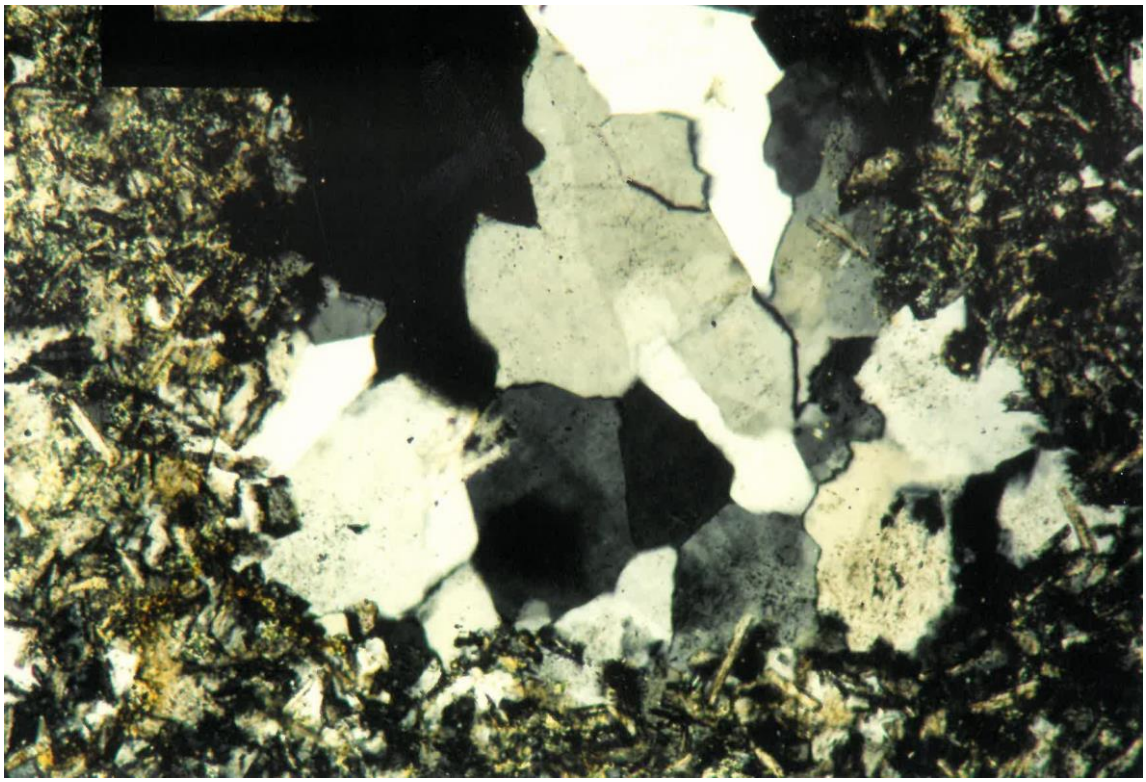


Fig. 7. Microscopic photograph of quartzdiorite (crossed Nicols)

CLASSIFICATION OF ROCKS

The classification of magmatic rocks from the Dren-Bohula section is made based on the Middlemost nomenclature (1994) (Figure 8), as well as on the nomenclature of calculation of the normative mineral composition (Norm Calculation) (Table 1).

From the diagram in Figure 8 it can be concluded that this is a differentiation of a basic magma which in a continuous sequence of differentiation gave the following magmatic rocks: peridotite gabbro-gabbro-gabbrodiorite-diorite-granodiorite.

These rocks are part of the sequence of oceanic crust that developed during the Jurassic in this part of Tethys (the Tethyan Eastern Vardar ophiolitic unit in the Eastern Mediterranean).

From the data presented on the normative composition of rocks (Table 1), it can be concluded that there is a typical continuous differentiation of one ultrabasic to basic magma with a classic series of differentiation from basic plagioclases-intermediate plagioclases-acid plagioclases-feldspar to quartz and differentiation from olivine-pyroxenes-amphiboles-mica.

CONCLUSION

Within the ophiolitic complex Demir Kapija Gevgelija, its western part called the Dren-Bohula massif is built of the same rocks from which the other part of the ophiolitic complex is built: verlites, gabbros, troctolites, gabbro-diorites, diorites, quartzdiorites, grandoirites. The classification made and the nomenclature of rocks indicate a continuous differentiation of an ultrabasic magma to basic magma.

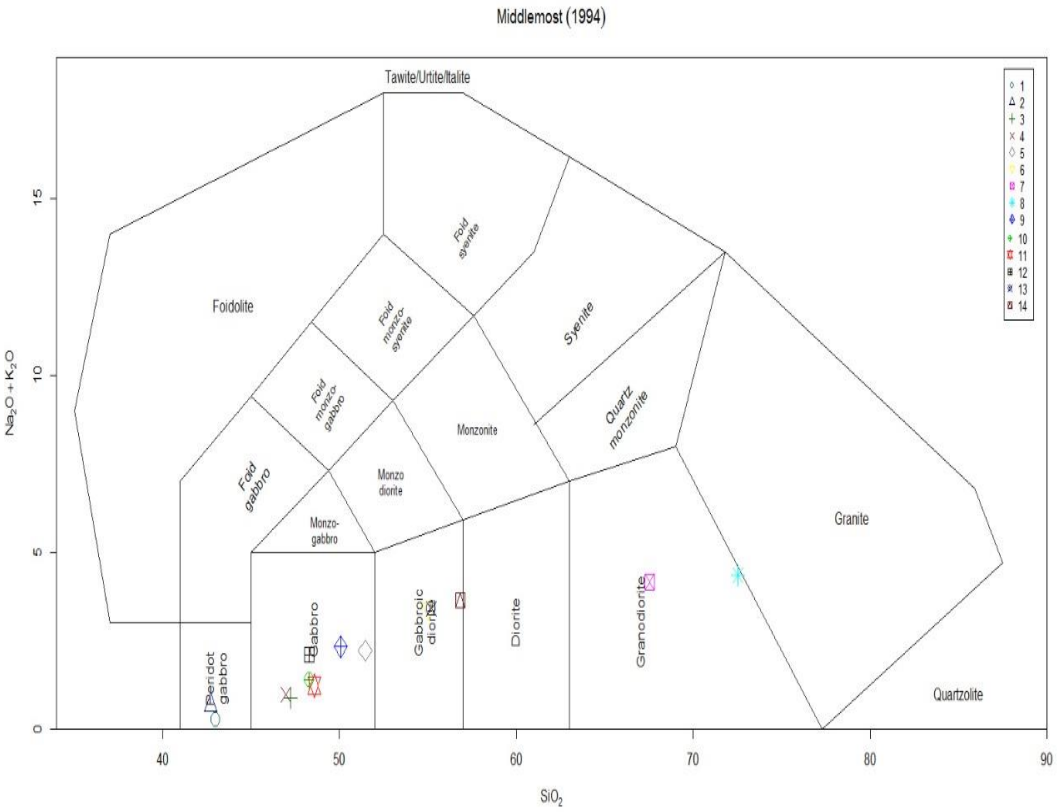


Fig. 8. Total alkali vs. silica (TAS) intrusive rock plot (Middlemost, 1994)

REFERENCES

Boev, B. & Lepitkova, S. (2002). The age of the ophiolite rocks on the territory of the Republic of Macedonia. *Proceedings of XVII. Congress of Carpathian-Balkan Geological Association*, Bratislava, September 1, 4pp. Available from: http://eprints.ugd.edu.mk/id/eprint/1430 (lastaccessed April 2013).

Boev, Blazo and Prelevic, Dejan and Bozovic, Milica and Eric, Suzana and Cvetkovic, Vladica (2013) *Olivine websterite veins cutting the Rabrovo serpentinites (South Macedonia): new evidence of the arc setting of the east Vardar ophiolites?* Contributions, Section of Natural, Mathematical and Biotechnical Sciences, MASA, **34** (1-2). pp. 69–81. ISSN 1857-9027,

Bozovic, Milica and Prelevic, Dejan and Romer, Rolf and Barth, Matthias and Boev, Blazo and Bogaard, Paul (2010) *A Segment of Oceanic Crust, in Macedonian (FYROM) Ophiolites, seen through Sheeted Dyke Diabases, Keratophyres and Adakite-like Volcanics.* EGU General Assembly Conference Abstracts, 12. p. 7996.

Karamata, S. (2006). The geological development of the Balkan Peninsula related to the approach, collision and compression of Gondwanan and Eurasian units. In: Robertson, A. H. F. & Mountrakis, D. (eds) Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region. Geological Society, London, Special Publications 260, pp. 155–178.

Lepitkova, S. (2002). *Petroloski, geohemijski i izotopski proucuvanja na peridotitite od vnatresniot dinarski ofiolitski pojas vo Republika Makedonija*. PhD dissertation, Kiril and Metodij University of Skopje, 333 p.

Middlemost, E.A.K. (1994) Naming materials in magma/igneous rock system. *Earth Sci Rev.* **37**, pp. 215–224,

Prelevic, Dejan and Wehrheim, Simon and Reutter, Magnus and Boev, Blazo and Bozovic, Milica and Bogaard, Paul van den and Cvetkovic, Vladica and Schmid, Stefan M. (2017) *The* Late Cretaceous Klepa basalts in Macedonia (FYROM)— Constraints on the final stage of Tethys closure in the Balkans. *Terra Nova*, **29**. pp. 145–153.

Prelevic, Dejan and Wehrheim, Simon and Bozovic, Milica and Romer, Rolf and Boev, Blazo (2014) *The origin of volcanic section of the Vardar ophiolitic zone: a comparative petrological and geochemical study of latecretaceous volcanics from Macedonia with their jurasic counterparts from Balkans.* Optimal research and sustainable usage of the geological resources.

Saric, K., Cvetkovic, V., Romer, R. L., Christofides, G. & Koroneos, A. (2009). Granitoids associated with EastVardar ophiolites (Serbia, F.Y.R. of Macedonia and northern Greece): Origin, evolution and geodynamic significance inferred from major and trace element data and Sr-Nd-Pb isotopes. Lithos 108, 131–150.

Schmid, S., Bernoulli, D., Fu« genschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. & Ustaszewski, K. (2008). The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolutionof tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, **101**, 139–183

Zachariadis, P. (2007). *Ophiolites of the eastern Vardar Zone, N. Greece*. PhD dissertationMainz: Johannes Gutenberg-Universita«t, 131 p.

1-OF-04
UDC: 552.313.08:550.42/.43(497.743)

PETROLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE TERTIARY VOLCANIC ROCKS FROM THE LOCALITY GOLEMA ČUKA, BOGDANCI DISTRICT, REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA

Saše Mitrev[1], Mitko Popov[2]

[1]*Faculty of Natural and Technical Sciences, "Goce Delčev" University in Štip, Blvd. Blvd. Krste Misirkov 10-A, P.O, Box 210, 2000 Štip, Republic of North Macedonia*
[2]*Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia;*
sashemitrev@gmail.com // mitkopopov@abv.bg

A b s t r a c t: The Locality Golema Čuka in the Republic of North Macedonia is of particular interest as a volcanic dome. It is built of Miocene rocks that are the subject of the present study. The rocks belong to trachydacites of the high-K calc-alkaline series with porphyritic to fluidall structure and parallel to massive texture. Ten of twenty collected samples were thoroughly examined by thin section microscopic observations, major and trace element analyses. On three of the samples were performed mineralogical observations and two of the samples were also analyzed for Sr and Nd isotope compositions and U-Pb dating. The zircon age is measured as Miocene (app. 11 Ma). Initial Sr isotopic ratios indicates that the melt originated mainly from the upper mantle.

Key words: volcanic rocks, Golema Čuka locality (North Macedonia), petrology, zircon dating, Sr and Nd isotope data

ПЕТРОЛОШКИ И ГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ТЕРЦИЕРНИТЕ ВУЛКАНСКИ КАРПИ ОД ЛОКАЛИТЕТОТ ГОЛЕМА ЧУКА, ОПШТИНА БОГДАНЦИ, РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

А п с т р а к т: Локалитетот Голема Чука во Република Северна Македонија е од посебен интерес како вулканска купола. Изграден е од Миоценски карпи кои се предмет на оваа студија. Карпите припаѓаат на трахидацити од високо-калиумска калк-алкална серија со порфирска до флуидална структура и паралелна до масивна текстура. Од дваесет собрани примероци, десет беа темелно испитани со микроскопски набљудувања на петрографски препарати и два од примероците беа исто така анализирани за изотопни состави на Sr и Nd и за U-Pb датирање. Староста по циркони е измерена како Миоценска (околу 11 милиони години). Почетните изотопни односи на Sr покажуваат дека растопот потекнува главно од горната мантија.

Клучни зборови: вулкански карпи,;локалитет Голема Чука (Северна Македонија); петрологија; датирање циркони, изотопскии податоци за Sr и Nd.

INTRODUCTION

The site Golema Čuka falls in the Bogdanci municipality and is situated between the villages Selemli and Stojakovo, about 6 km South from the town of Bogdanci, 7 km East from the town of Gevgelija and 1.8 km from the North Macedonian - Greek border. The area of this site is about 280 m by 220 m. It is in the Vardar zone of the tectonic setting of the Dinaric-Hellenic belt (Ivanovski, 1996; Zelic et al., 2010), (Figure 1). On the top of the locality Golema Čuka has been built an Orthodox church.

Twenty samples from this location were collected and ten of them were subjected to petrological examination. All 10 samples have been observed by microscope in thin sections and analyzed by XRF for chemical composition of the major, trace and light rare earth elements. Three samples have been analyzed for mineral composition by microprobe analyses and two of them have been analyzed and by XRD, X-ray spectral microanalyses and chemical analyses of minerals. In two samples have been measured $^{87}Sr/^{86}Sr$ and in one of them $^{143}Nd/^{144}Nd$ isotopic compositions and calculated their initial values; the same samples have been dated by U-Pb method.

GEOLOGICAL SETTING

In the Gevgelija Sheet of the Socialist Republic of Macedonia, Geological map in M 1:100 000 (Ivanovski, Rakichevich, 1963) the rocks of Golema Čuka location (North Macedonia) are related to Tertiary volcanic activity in the Vardar zone (Figure 1). The site Golema Čuka embraces a part of the southern end of the territory of North

Macedonia. The rocks occur as a small volcanic dome in which there are blocky to platy jointings (Gunter, 1977; Majer, 1958). The colour of the rocks is light gray to light green depending on the extent of surface weathering.

The Gevgelija Sheet embraces a part of south-eastern territory of North Macedonia between 41°07' and 41°20' latitude and 22°30' and 22°48' longitude. There are diverse lithological units in it: Precambrian, Lower Paleozoic and Mezozoic to Tertiary and Quaternary formations. Within the territory of the Gevgelija Sheet two basic geotectonic units are presented: the major NE part belongs to the Vardar zone, and a very small part to the Serbo-Macedonian Mass. Within both units, the geological evolution of the area has undergone three main phases: Precambrian, Hercynian and Alpine.

The basic structural units in the Precambrian structural stage are the Bogdance anticline (in the Vardar zone) and the Belasica anticline (in Serbo-Macedonian Mass); both strike NW-SE and are built up of gneisses (Ivanovski, 1966).

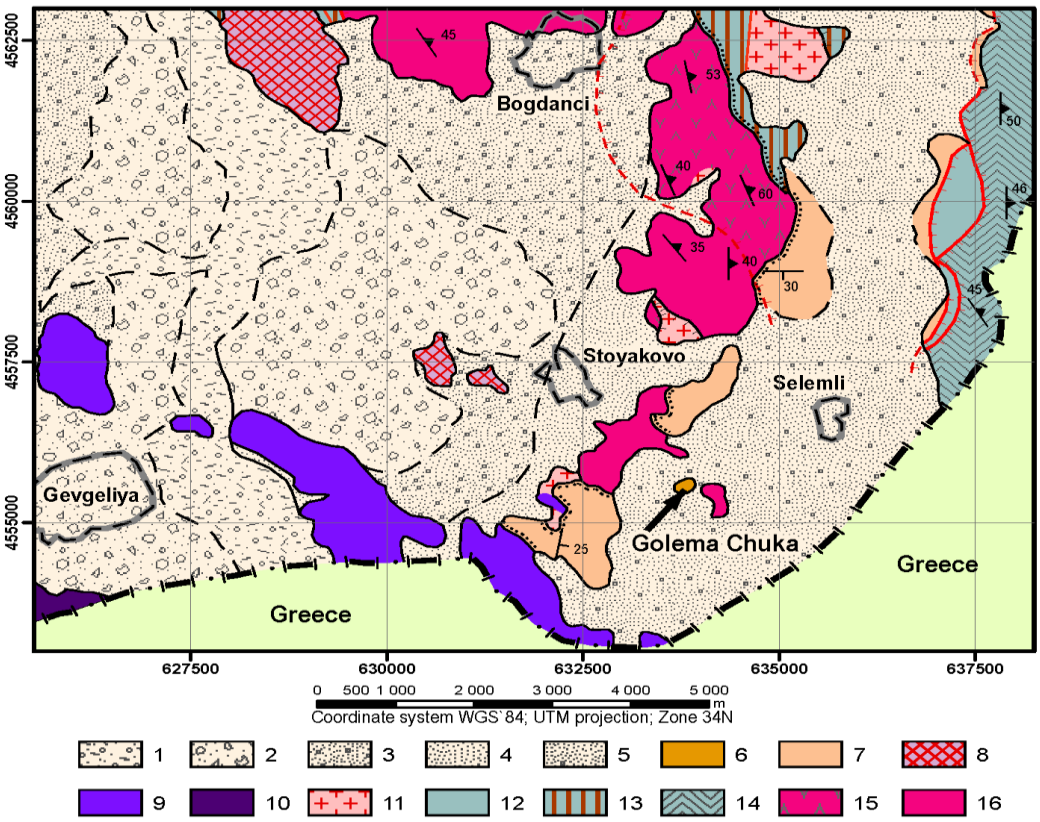


Fig. 1. Geological map of the locality Golema Čuka. (After: Ivanovski and Rakichevich, 1966).
Legend: Quaternary: 1 – alluvium; 2 – terrace material; 3 – proluvium; 4 – deluvium; 5 – proluvium and deluvium; Tertiary: 6 – trachydacites of Golema Čuka; 7 – sandstones, conglomerates, clays, limestones, carbonates and clay sandstones; Triassic – Jurassic: 8 – orthophyres, keratophyres and quartz-keratophyres; 9 – diabases; 10 – gabbro; Old Paleozoic: 11 – middle-grained porphyritic granites; 12 – serpentinites; 13 – amphibole-pyroxene schists; 14 – argiloschists, phyllites and sandstones; Precambrian: 15 – porphyroblastic gneisses and fine-grained biotite gneisses; 16 – fine-grained biotite gneisses.

ANALYTICAL METHODS

Thin sections from 10 volcanic samples have been made at the University "Goce Delchev" in Štip, Republic of North Macedonia (Figure 2). Major, trace and light rare earth elements of the same 10 samples have been analyzed by XRF method in the Geological Institute – Johannes Gutenberg University in Mainz – Germany (Table 1, Table 2 and Table 3). The mineral composition from three of the same 10 samples have been analyzed by microprobe analyses in the Institute of Mineralogy and Crystallography – BAS, Sofia, Bulgaria, and two of them have been analyzed and by: XRD method at the University "Goce Delchev" in Štip, Republic of North Macedonia, X-ray spectral microanalyses and chemical analyses of minerals at the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" in Sofia, Bulgaria.

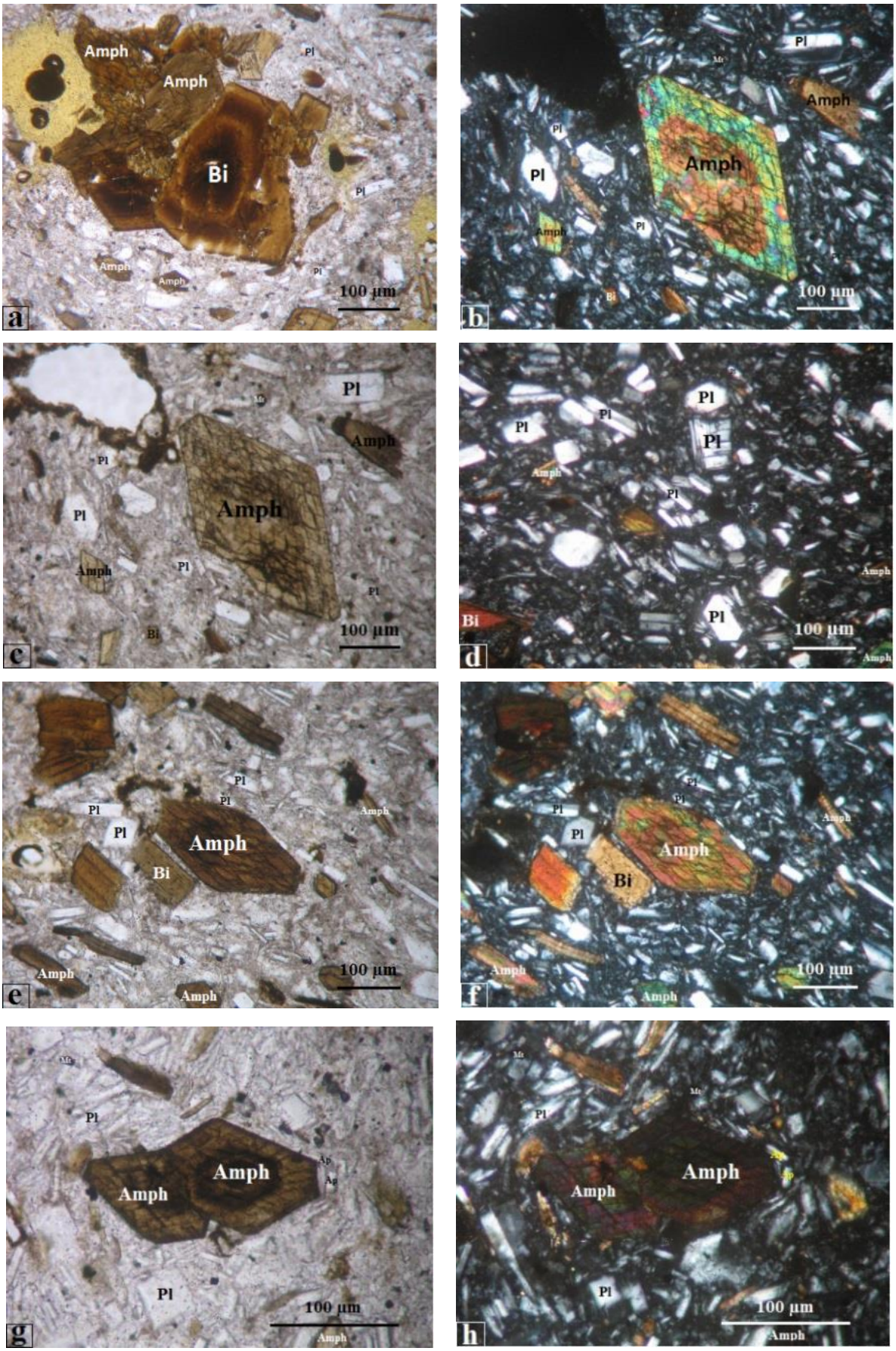


Fig. 2. Photomicrographs of thin sections from Golema Čuka volcanics

Two samples have been analyzed for $^{87}Sr/^{86}Sr$ and one of them for $^{143}Nd/^{144}Nd$ isotopic ratios at the Institute for Geochemistry and Petrology in Zurich, Switzerland (Table 4). U-Pb measurements of zircons from two samples have been performed at the LA-ICP-MS laboratory in the Geological Institute – BAS, Sofia, Bulgaria, after scanning the zircon grains with Cathode Luminescence at the Faculty of Mining and Geology – University of Belgrade, Serbia – respectively (Figure 6).

PETROLOGICAL CHARACTERISTICS, MINERALOGICAL COMPOSITION, ISOTOPE COMPOSITION AND AGE OF THE ROCKS

The microscopic studies of the 10 thin sections show identical mineral composition of all of them. The rocks consist of groundmass and phenocrysts. The phenocrysts are presented of opacitized amphibole and biotite. The amphibole phenocrysts are zonal (Figure 2). Both the amphibole and biotite phenocrysts show opacitic rims. Secondary ferric oxides also can be seen. The groundmass is mainly microlitic. The microlites are represented by plagioclase among the mass of volcanic glass. The microscope studies of all thin sections show porphyritic to fluidal structure. The rocks show parallel to massive texture. The parallel texture often follows the contacts of phenocrysts.

From the mineral observations by microprobe analyses of the samples No. 1, 5 and 10 are determined the following minerals: In sample No.1: amphibole, plagioclase, sanidine, biotite, magnetite and titanite; in sample No. 5: amphibole, biotite, plagioclase, sanidine, magnetite and titanite and in sample No. 10: amphibole, biotite, plagioclase, magnetite and sanidine. With XRD analyses of the samples No. 1 and 5 have been determined the following minerals: In whole rock sample No.1: opal, orthoclase, anorthite, muscovite, microcline, biotite, amphibole and quartz. From feldspar of sample No. 1 have been determined: albite, anorthite, bytownite and labradorite; from amphibole of sample No. 1 has been determined: magnesio-hornblende and from mica of sample No. 1 has been determined: biotite. In whole rock sample No. 5: orthoclase, magnesio-hornblende, opal, sanidine, ferro-pargasite, quartz, muscovite, biotite, albite, anorthite and amphibole. From feldspar of sample No. 5 have been determined: albite, anorthite and labradorite; from amphibole of sample No. 5 has been determined: magnesio-hornblende and from mica of sample No. 5 has been determined: biotite. With x-ray spectral microanalyses of the samples No. 1 and 5 in both samples have been determined the following minerals: feldspars, amphiboles and mica. Sample No. 4. (a-f) Microlitic to glassy groundmass. Structure: subporphyritic to porphyritic and microlitic, texture: massive to parallel. Amph – amphibole, Pl – plagioclase, Bi – biotite, Fe – hydrooxides: (a) opacitized zonal amphibole (green), opacitized zonal biotite (brown) and plagioclase (white) //P (X10); (b) zonal amphibole (green), plagioclase (white) and biotite (brown) +P (X10); (c) zonal amphibole (green), plagioclase (white), biotite (brown) and magnetite (black) //P (X10); (d) plagioclase (white), zonal plagioclase (white), biotite (brown), amphibole (green) +P (X10); (e) phenocrysts of amphibole (green), plagioclase, microphenocrysts of plagioclase (white), biotite (brown) //P (X10); (f) Phenocrysts of amphibole (green), plagioclase, microphenocrysts of plagioclase (white), biotite (brown) +P (X10); Sample No 5. (g, h) Microlitic groundmass. Structure: porphyritic, texture: fluidal. Amph – amphibole, Pl – plagioclase, Ap – apatite and Mt – magnetite: (g) amphibole (green), plagioclase (white), apatite (white) and magnetite (black) //P (X20); (h) amphibole (green), plagioclase (white), apatite (white) and magnetite (black) +P (X10).

Major element compositions are shown in Figure 3. According to the TAS (Na_2O+K_2O vs SiO_2) classification diagram (Le Bas et al., 1986) (Figure 3) all analyzed rocks, after recalculation of major oxides to 100% on a volatile-free basis, fall in the field of trachydacites. Their plots on the K_2O vs SiO_2 diagram of Peccerilo and Taylor (1976), (Figure 4) show that the rocks belong to the high-K calc-alkaline series.

The Primitive-mantle normalized trace element patterns of the rocks (Figure 5) show high enrichment from Cs to U and in K and Pb contents. A decrease in Nb and from P to Y with minima of Ti and Gd is also seen on this figure, typical for high-K calc-alkaline magmas (Figure 5). The geological body has low values of Gd and Ti. Nb is constantly present in an amount of 8 to 10 ppm. The spider diagram (Figure 5) shows that Nb, Ti, Gd (especially in sample No. 2) and Y has negative anomaly. It is also characteristic the negative anomaly of Gd in sample No. 2. The Primitive-mantle normalized trace element patterns of the rocks (Figure 5) show typical high-K calc-alkaline signature.

Only light rare earth elements (LREE) have been analyzed by XRF (Table 3).

T a b l e 1

Major oxides of Golema Čuka volcanics determined by XRF (%)

Normalized Oxides	Sample No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	62.68	64.87	65.06	65.02	63.37	65.31	62.29	62.77	64.23	61.27
TiO_2	0.54	0.46	0.46	0.46	0.51	0.46	0.54	0.49	0.50	0.53
$Al2O_3$	16.06	15.70	15.73	15.69	15.34	15.64	16.40	16.68	15.56	16.66
Fe_2O_3	3.70	3.27	3.18	3.16	3.61	3.21	3.78	3.43	3.60	3.79
MnO	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
MgO	3.43	2.80	2.78	2.78	3.34	2.79	3.44	2.96	3.21	3.37
CaO	4.33	4.00	4.05	4.19	4.48	4.02	4.61	4.25	4.24	4.48
Na_2O	3.74	3.95	3.96	3.98	3.62	4.06	3.88	3.98	3.87	3.81
K_2O	3.49	3.78	3.81	3.75	3.79	3.79	3.48	3.57	3.71	3.41
P_2O_5	0.27	0.24	0.26	0.26	0.26	0.22	0.28	0.25	0.26	0.28
Cr_2O_3	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.005	0.005
NiO	0.007	0.006	0.005	0.006	0.007	0.006	0.007	0.006	0.006	0.007
SO_3	0.021	0.019	0.021	0.021	0.021	0.018	0.023	0.022	0.025	0.024
LOI	1.68	0.85	0.64	0.64	1.59	0.45	1.23	1.55	0.74	1.85
Sum	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**99.54**
F	0.083	0.070	0.072	0.105	0.096	0.092	0.078	0.054	0.077	0.069
Cl	0.015	0.007	0.010	0.017	0.032	0.018	0.008	0.022	0.016	0.017

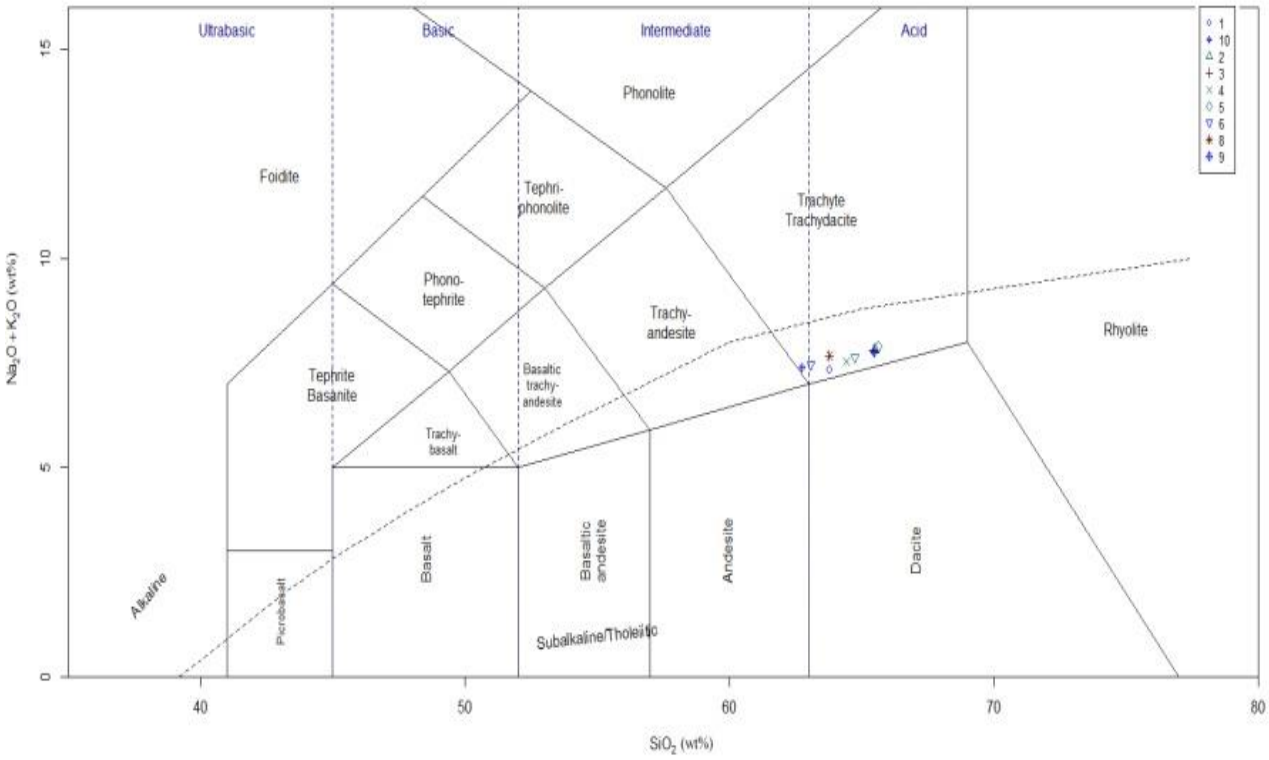


Fig. 3. TAS ($Na_2O + K_2O$ vs S_iO_2) classification diagram of Golema Čuka volcanic rocks (After Le Bas et al., 1986).

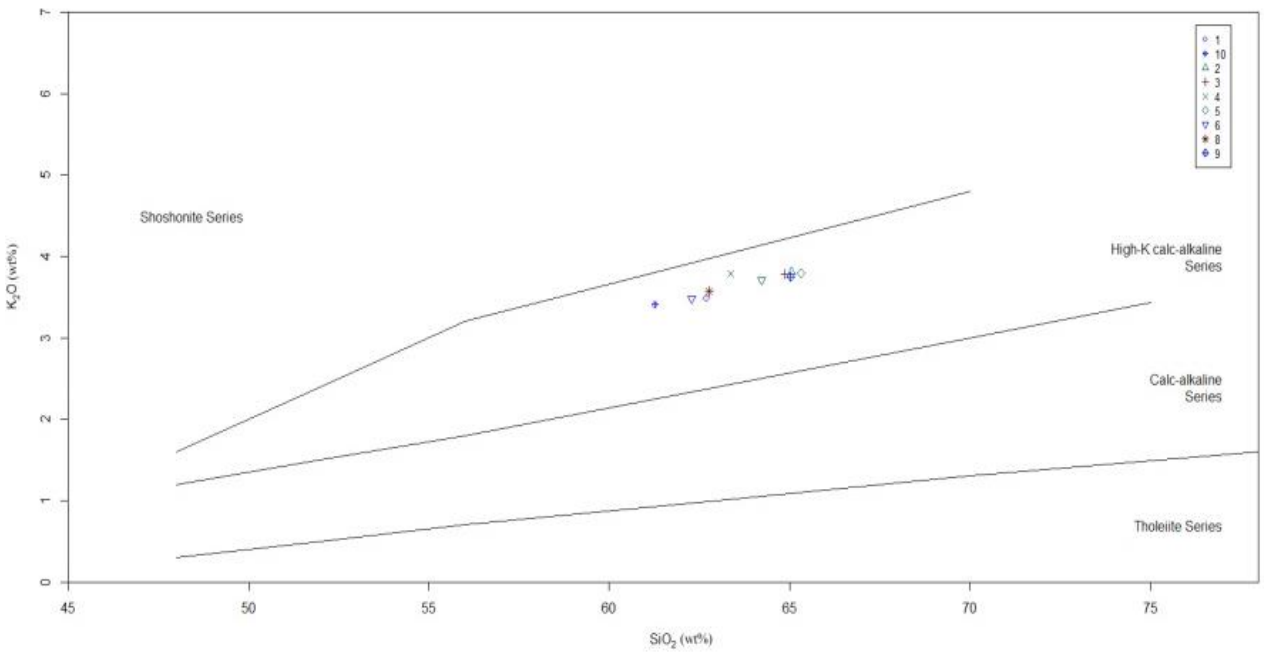


Fig. 4. K_2O vs SiO_2 diagram (Peccerilo and Taylor, 1976); series boundary lines after different authors (in Rollinson R. H.).

T a b l e 2

Trace elements of Golema Čuka volcanics determined by XRF

Trace elements (in ppm), normalized with values of primitive mantle (after Mc Donough et al. 1992)	Sample No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cs	0	250	406	406	469	344	94	188	438	281
Rb	128	197	195	180	195	192	115	129	181	137
Ba	277	272	272	263	244	266	272	284	264	284
Th	313	332	309	294	291	322	316	305	304	353
U	419	429	467	438	505	429	410	433	319	376
Nb	8	8	10	8	8	8	8	10	8	8
K	116	126	127	125	126	126	116	119	124	114
La	77	80	80	70	70	73	82	73	79	73
Ce	60	59	59	57	56	59	56	54	59	59
Pb	432	476	416	400	427	416	422	449	416	454
Pr	36	40	36	33	36	36	36	43	40	36
Sr	76	82	81	84	78	81	84	82	75	82
P	12	11	12	12	12	10	13	11	12	13
Nd	32	30	30	30	30	30	32	29	34	35
Sm	22.52	0.00	4.50	6.76	9.01	9.01	15.77	11.26	13.51	11.26
Zr	20	17	17	17	17	16	17	16	15	17
Ti	2.5	2.1	2.1	2.1	2.3	2.1	2.5	2.2	2.3	2.4
Gd	3.36	1.68	5.03	3.36	8.39	5.03	5.03	3.36	5.03	8.39
Y	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1

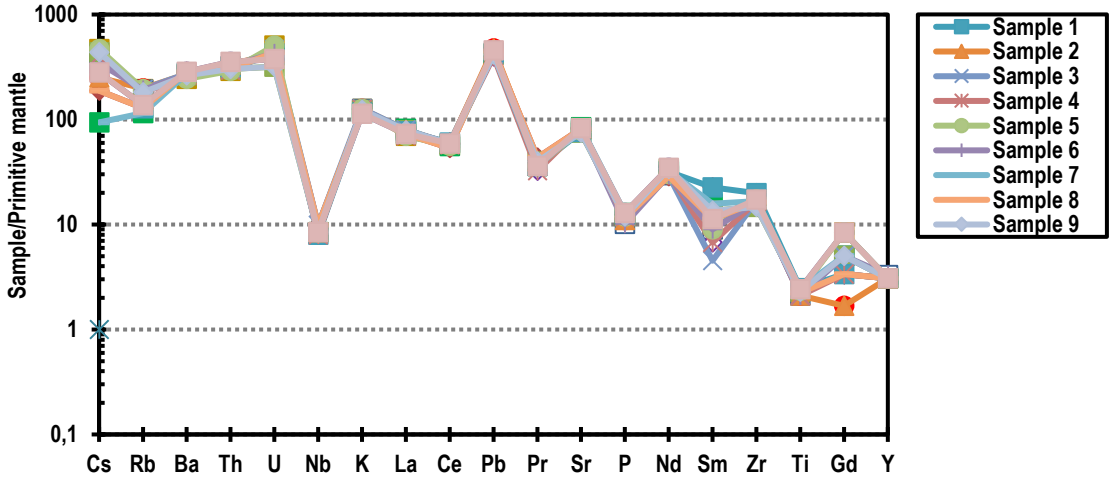


Fig. 5. Trace elements distribution spider diagram: primitive mantle normalized patterns (After Mc Donough et al., 1992)

T a b l e 3

Light rare earth elements (LREE) of Golema Čuka volcanics determined by XRF

Determined LREE (in ppm), normalized with values of C1 chondrite (after Sun, S. – S. & Mc Donough, W. F., 1989)	Sample No									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
La	223.63	232.07	232.07	202.53	202.53	210.97	236.29	210.97	227.85	210.97
Ce	174.84	169.93	171.57	166.66	163.39	169.93	161.76	155.23	171.57	171.57
Pr	105.26	115.79	105.26	94.74	105.26	105.26	105.26	126.32	115.79	105.26
Nd	92.08	87.79	85.65	87.79	87.79	85.65	94.22	83.51	98.50	100.64
Sm	65.36	0	13.07	19.61	26.14	26.14	45.75	32.68	39.22	32.68
Gd	9.73	4.87	14.60	9.73	24.33	14.60	14.60	9.73	14.60	24.33

The measured and age-corrected initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ isotopic compositions for two of the samples and initial $^{143}Nd/^{144}Nd$ isotopic compositions for one of the samples are listed in Table 4. The initial Sr isotopic ratios ranges between 0.702855 and 0.703699. The values point that the melts from which the volcanic rocks were formed, originate mainly from material of the upper mantle (Gunter, 1977).

U-Pb age determination yielded 10.9±0.96 Ma (sample No.5) and 11.04±0.34Ma (sample No.10), demonstrating that the Golema Čuka volcanic activity is of Miocene age (Figure 6).

T a b l e 4

Sr and Nd isotope data for samples No.5 and No.10 from Golema Čuka; $^{87}Rb/^{86}Sr$ and $^{147}Sm/^{144}Nd$ ratios are calculated using the Rb and Sr content from the XRF analyses and the distribution of the isotopes ^{87}Rb, ^{86}Sr, ^{147}Sm and ^{144}Nd.

Sample No.	Rb, ppm	Sr, ppm	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	2σ error	$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ at 11Ma	Sm, ppm	Nd, Ppm	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	2σ error	$(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ at 11Ma
5	124	1654	21.82606	0.706190	0.000013	0.702855	4	41	0.058951	0.512385	0.000006	0,512381
10	87	1740	14.556530	0.706012	0.000015	0.703699	Not determined					

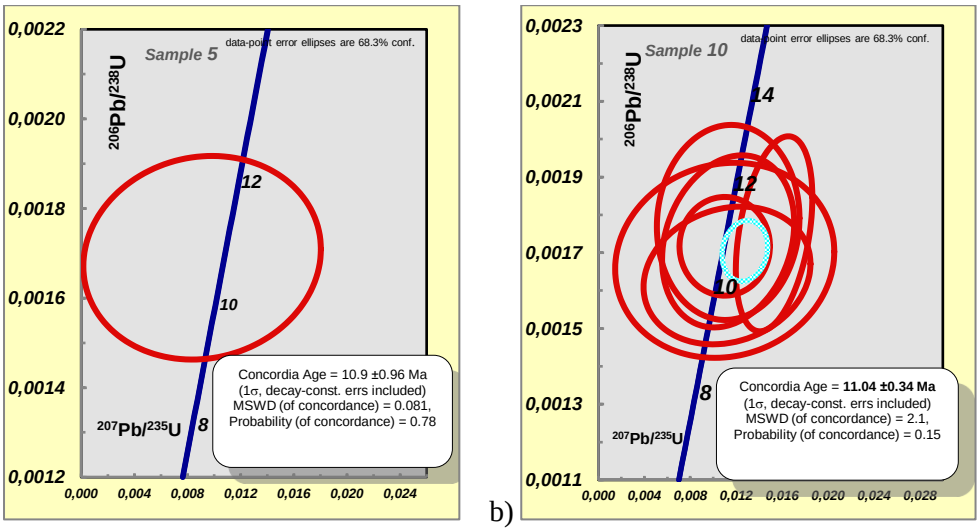


Fig. 6. Concordia age diagrams using the U - Pb dating method: a) for sample No.5 and b) for sample No. 10.

CONCLUSIONS

The volcanic rocks from the locality Golema Čuka (North Macedonia) were formed about 11 Ma ago, during the Miocene volcanic activity (Figure 6). The rocks form a volcanic dome (Ivanovski, 1966), and remains now as a hill in the relief. The microscopic examinations and the major elements analyses determine the rocks as trachydacites of High-K calc-alcaline series (Figures 2, 3 and 4). The following minerals have been determined: feldspars (orthoclase, microcline, sanidine and plagioclase: albite, anorthite, bytownite and labradorite), amphiboles (Mg-hornblende and Fe-pargasite), mica (biotite and muscovite), opal, quartz, magnetite and titanite. Primitive-mantle normalized trace elements distribution (Figure 5) shows typical High-K calc-alcaline signature. The $^{87}Sr/^{86}Sr$ isotope analyses indicate that the magma of the Golema Čuka volcanics originated from the upper mantle but contained also admixtures of crustal material (Gunter, 1977), (Table 4).

Acknowledgements: The help by Prof. I. Peytcheva, Prof. P. Marchev, Prof. A. Harkovska and Dr. S. Georgiev from Geological Institute – BAS, Sofia – Bulgaria, Prof. M. Tarasov from Institute of Mineralogy and Crystallography – BAS, Sofia – Bulgaria, Assoc. Prof. R. Pazderov from University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" in Sofia – Bulgaria, Prof. K. Sharich from University of Belgrade – Serbia, Prof. R. Botcharnikov from Geological Institute – JGU, Mainz – Germany, University "Goce Delčev" in Štip – North Macedonia, and Institute for Petrology and Geochemistry in Zurich – Switzerland, during the laboratory studies and preparation of the samples is gratefully acknowledged.

REFERENCES

Arsovski, M., 1997. *Tectonics of Macedonia*. Faculty of Mining and Geology, Štip, 360 p.

Banushev, B., 2006. *Practical Petrography*., University "St. Ivan Rilski" – Sofia, 324 p.

Boev, B., Janev, J., 2001. Tertiary magmatism within the Republic of Macedonia: a review. *Acta Vulcanologica*, Vol. **13** (1-2), pp. 57–71.

Cvijich, J., 1996. *Baisis for geography and geology of Macedonia and old Serbia*. Belgrade, Special Edi. C.A., Book I.

Georgiev, S., Marchev, P., Peytcheva, I., Quadt, V. A. And Vaselli, O., 2013. Miocene extensional magmatic activity along Strymon valley and Doyran region, Bulgaria, Greece and the Former Yugoslav Republic of Macedonia. *Acta Volcanologica*, **25**, 1-2, pp. 153–168.

Gunter, F., 1977. Principle of Isotope Geology, Ohio State University, Columbus, 564 p.

Ivanov, T., 1966. Metallogeny of the Vardar zone. Report. VI Geological Symposium – Ohrid.

Ivanovski, T., 1966. Interpreter for the Sheet Gevgelija. Skopje, Geological Survey, 52 p.

Ivanovski, T., Rakichevich, T., 1963. Basic geological map of the Social Federative Republic of Yugoslavia, Sheet Gevgelija M = 1 : 100 000, Geological Survey, Skopje.

Karamata, S., Stojanov, R., Serafimovski, T., Boev, B., Aleksandrov, M., 1992. Tertiary magmatism in the Dinarides of the Vardar zone and the Serbo-Macedonian massif. *Geologica Macedonica*, Tom. 6, No 2, pp. 125–186.

Majer, V., 1958. *Quartzlatite (Delenite) from Golema Čuka in the village of Stojakovo in Macedonia*. Skopje, Annual symposium of the Fac. of Fil., Book 11.

Rollinson, R. H., 1993. *Using of Geochemical Data*. Pearson Education Limited, England, 380 p.

Serafimovski, T., 1993. *Structural metallogenic features of the Lece – Chalkidiki zone: types of mineral deposits and distribution*. Faculty of Mining and Geology, Štip, **2,** pp. 328.

Zelic, M., Marroni, M., Pandolfi, L., Travić, B. (2010. Tectonic settings of the Vardar suture zone (Dinaric-Hellenic belt): The example of the Kopaonic area (Southern Serbia). *Ofioliti*. **35**, 1, pp. 49–69.

1-OF-05
UDC: 528.94.06:550.1(496.5-194.2)

CORRELATION OF THE GEOLOGICAL MAPS 1:50 000 SCALE OF THE ALBANIAN - NEIGHBOURING COUNTRIES BORDER AREA

Kujtim Onuzi[1], Agim Ymeri[2]

[1]*Institute of Geo-sciences and Energy, Water and Environment, Rr. "Don Bosko", Nr. 60, Tirana, Albania,*
[2]*KEK Energy, Prishtine.*
konuzi@yahoo.com // agim.ymeri@kek-energy.com

A b s t r a c t: Geological structure of Albania and Neighboring Countries has attracted the interest of several geoscientists since 19-th century. But the systematic investigations on both countries started after the 2nd World War. Several geological studies, including the geological mapping of various scales (1:2 000, 1:5 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:200 000, 1:250 000 and 1:500 000) have been carried out during this period.

Key words: geological maps, neighbouring countries, albania border area

КОРЕЛАЦИЈА НА ГЕОЛОШКИТЕ КАРТИ СО РАЗМЕР 1:50 000 НА АЛБАНСКАТА ГРАНИЧНА ОБЛАСТ СО СОСЕДНИТЕ ЗЕМЈИ

А п с т р а к т: Геолошката градба на Албанија и соседните земји го привлекувала интересот на неколку геонаучници уште од 19-тиот век Но, систематските истражувања на целиот регион започнале по Втората Светска војна. Во овој период се извршени повеќе геолошки истражувања, вклучувајќи го и геолошкото картирање во различни размери (1:2 000, 1:5 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:200 000, 1:250 000 и 1:500 000

Клучни зборови: геолошко мапирање: соседни земји: погранични подрачја на Албанија

INTRODUCTION

Some joint projects to unify the main data on the geological-tectonic structures, lithological composition and the ages of the formations on both sides of the border between the countries, have been undertaken these last years and the results are encouraging. The mutual cooperation between the respective scientific institutions is very important taking into account the participation of both ountries in the compilation of the New Geological Map of Europe 1:500 000 scale.

GEOLOGY OF THE BORDER AREAS, MAPS AND TEXT

The implementation of the 1:50 000 scale mappings of the border area is indispensable. The correlation of these maps is realized through geological observations, sampling and other geological works. The implementation of the new geological maps 1:50 000 will serve as a good scientific basis for further studies in the field of earth sciences in the region.

The common observations and geological investigations along the interboundary line have leaded to the correlation of the Ionian, Kruja (Gavrovo), Krasta-Cukali (Ollonos-Pindos), Mirdita (Subpelagonian) tectonic zones and Inner Depressions as well as the correlation of the geological and ore bearing structures and other formations along the respective inter-boundary line.

The comparison of data on the stratigraphy, petrology, mineralogy etc., of different geological units has been carried out as well.

During this cooperation it is worked with topographic sheets scale 1:50 000, on which were plotted the geological data in digital form (using AutoCAD Map).

The final result is the publication of 38 geological sheets 1:50 000 scale and explanatory texts for each of them, for all the inter-boundary line between the countries. The following unified sheets 1:50 000 scales were published: Figs. 1. 2, 3, 4, 5.

Albanian-Montenegro border area

1. Sheet 1 Vermoshi
2. Sheet 2 Gucia
3. Sheet 3 Stanet e Sublices.

4. Sheet 4 Rapsh-Starja
5 Sheet 5 Tamara
6. Sheet 6 Thethi
7. Sheet 8 Kopliku
8. Sheet 14 Shiroka
9. Sheet 20 Velipoja

Albanian- Kosovo border area

1. Sheet 7 Bajram Curri
2. Sheet 12 Kruma
3. Sheet 13 Kishaj
4. Sheet 19 Morini

Albanian- Macedonia border area

1. Sheet 25 Shishtaveci
2. Sheet 30 Mali i Korabit
3. Sheet 35 Zerqani
4. Sheet 36 Poçesti
5. Sheet 41 Klenja
6. Sheet 42 Trebishti
7. Sheet 47 Librazhdi
8. Sheet 48 Struga
9. Sheet 54 Prrenjasi
10. Sheet 60 Pogradeci.
11. Sheet 61 Bllaca.

Albanian-Greece border area

1. Sheet 68 Pojani – Podgori Andartikon
2. Shee 69 Shueci –Andartikon
3. Sheet 76 Korca – Hionades Gramos
4. Sheet 77 Kapshtica- Korica Massapotamia
5. Sheet 84 Vidohova – Hionades Gramos
6. Sheet 90 Barmash – Hionades Gramos – Vassilikon Pogoniani
7. Sheet 91 Hionades Gramos – Vassilikon Pogoniani
8. Sheet 95 Libohova – Tsamantas
9. Sheet 96 Leskoviku-Hioandes Gramos-Vassilikon Pogoniani
10. Sheet 99 Jergucati – Tsamantas
11 Sheet 100 Ksamili – Ishulli and Korfuzit
12. Sheet 101 Mursia – Tsamantas
13. Sheet 102 Sotira – Tsamantas
14. Sheet 103 Konispoli – Sagiadha – Filatai

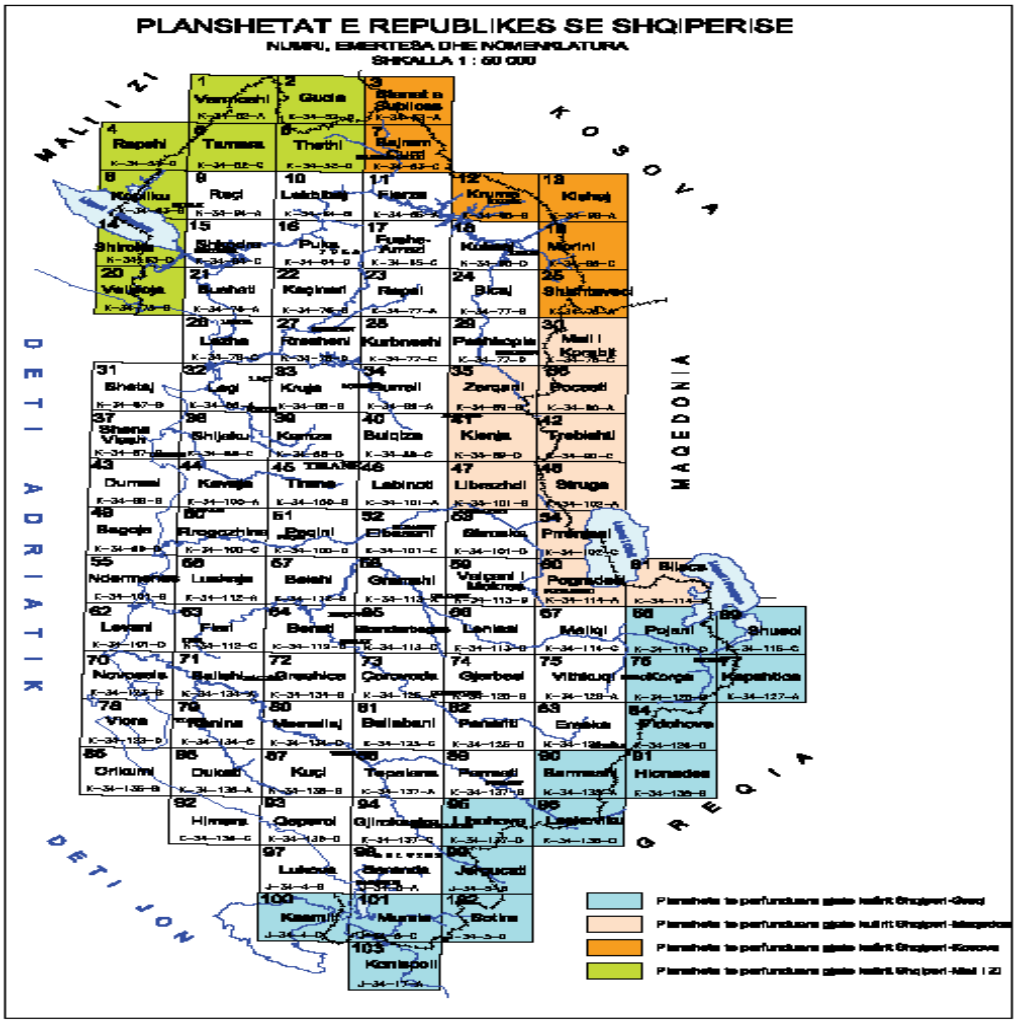


Fig. 1. Geological maps 1:50 000 scale of the Albanian - neighbouring countries border area

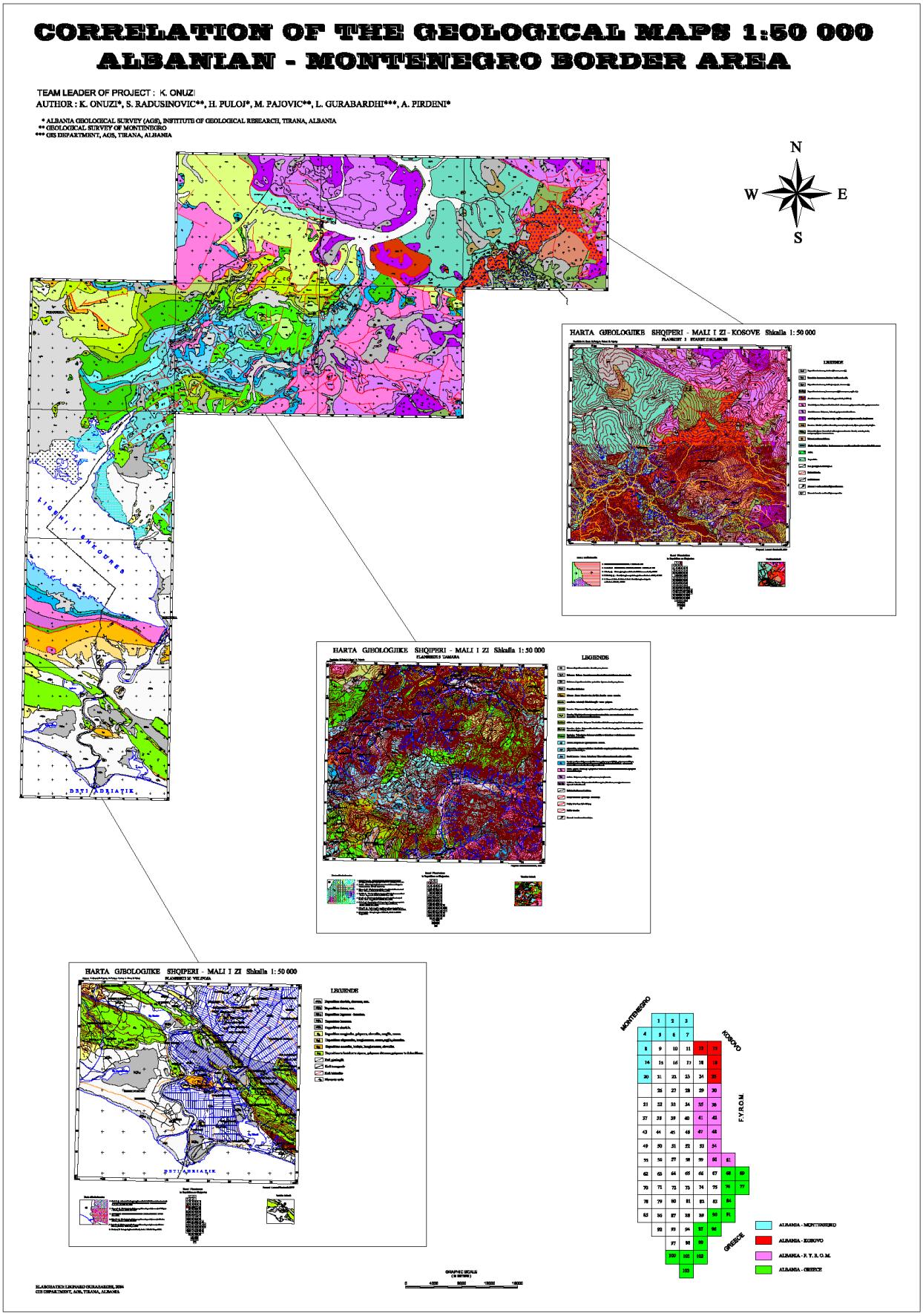


Fig. 2. Albanian-Montenegro border area

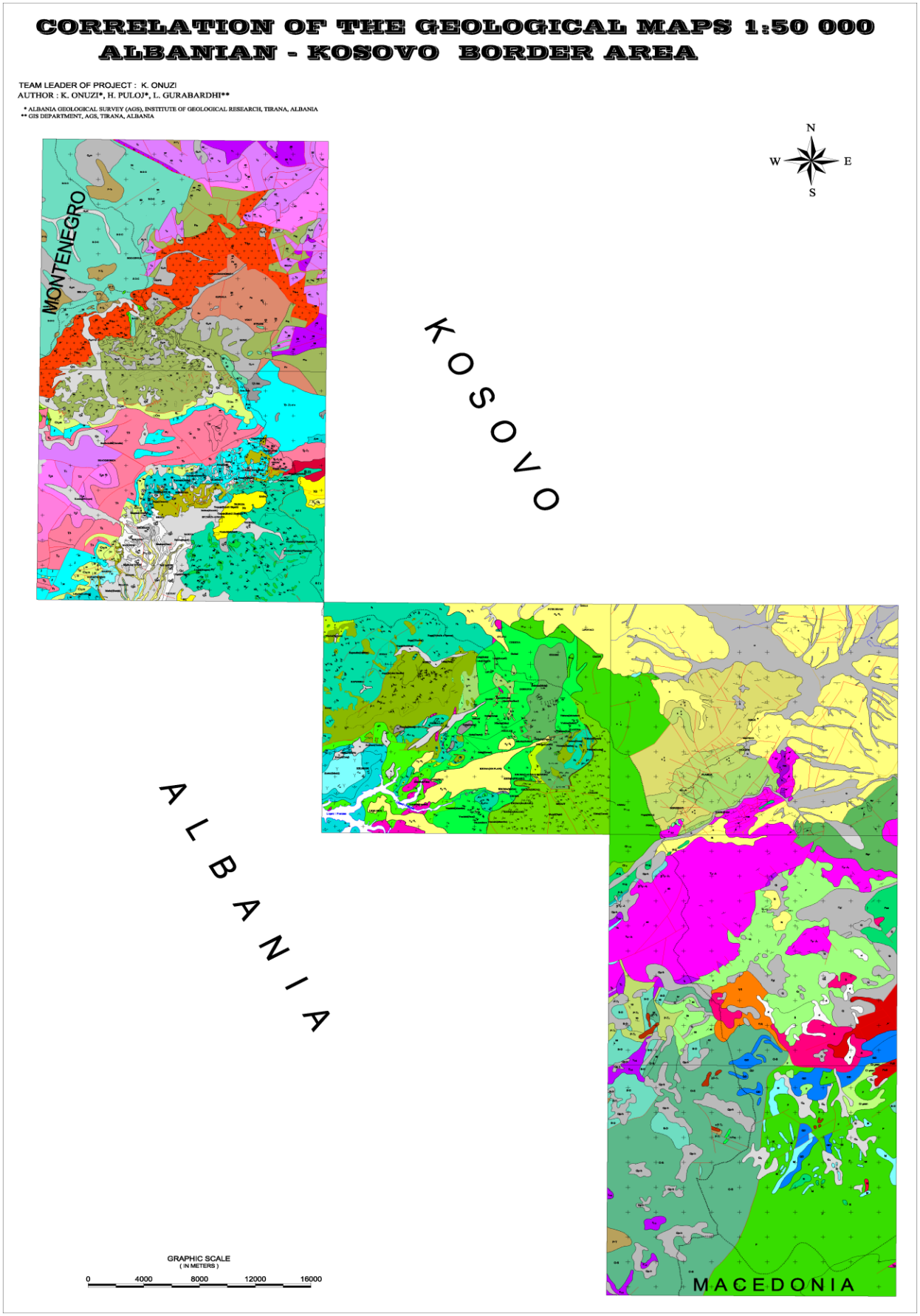


Fig. 3. Albanian- Kosovo border area

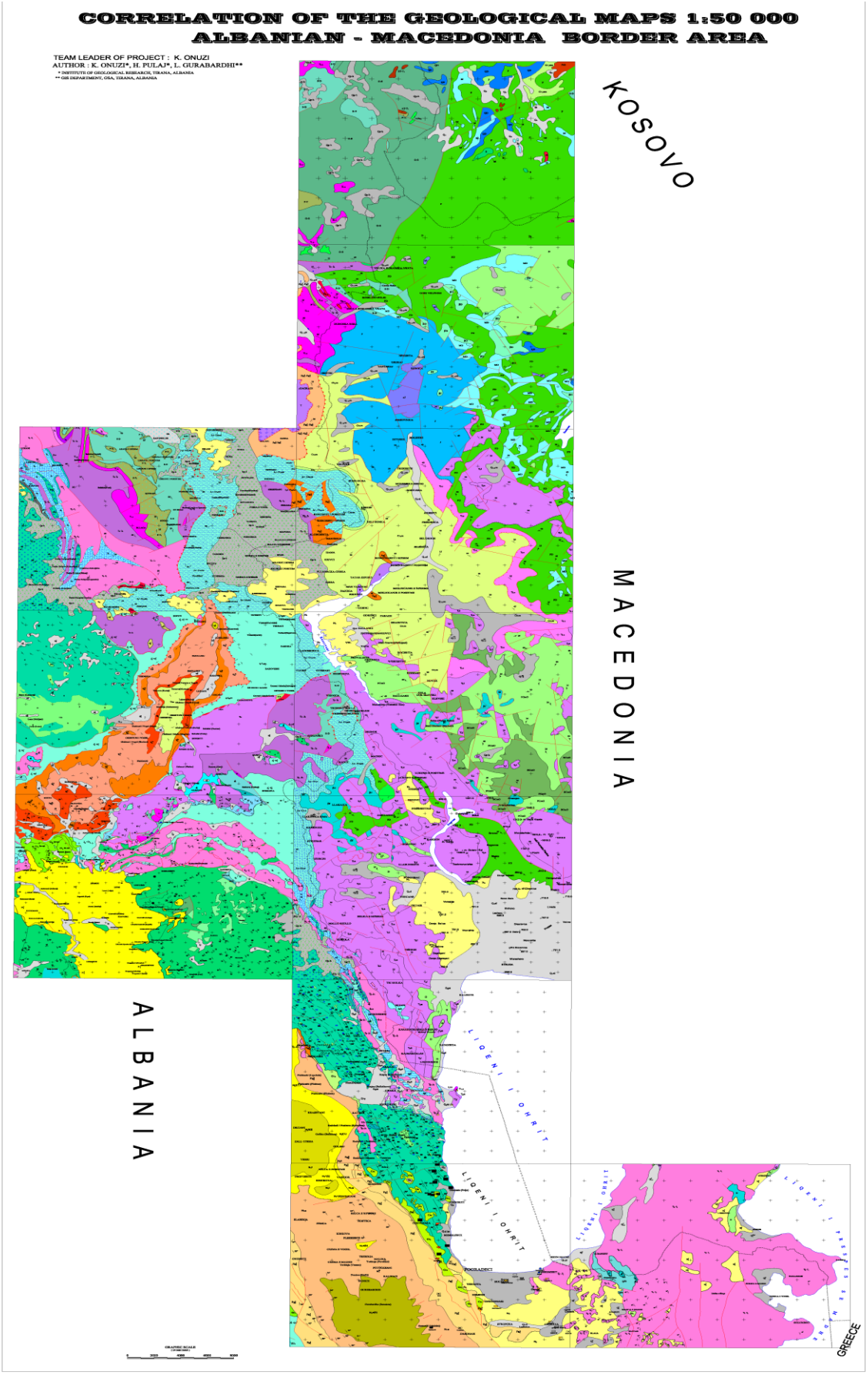


Fig. 4. Albanian- Macedonia border area

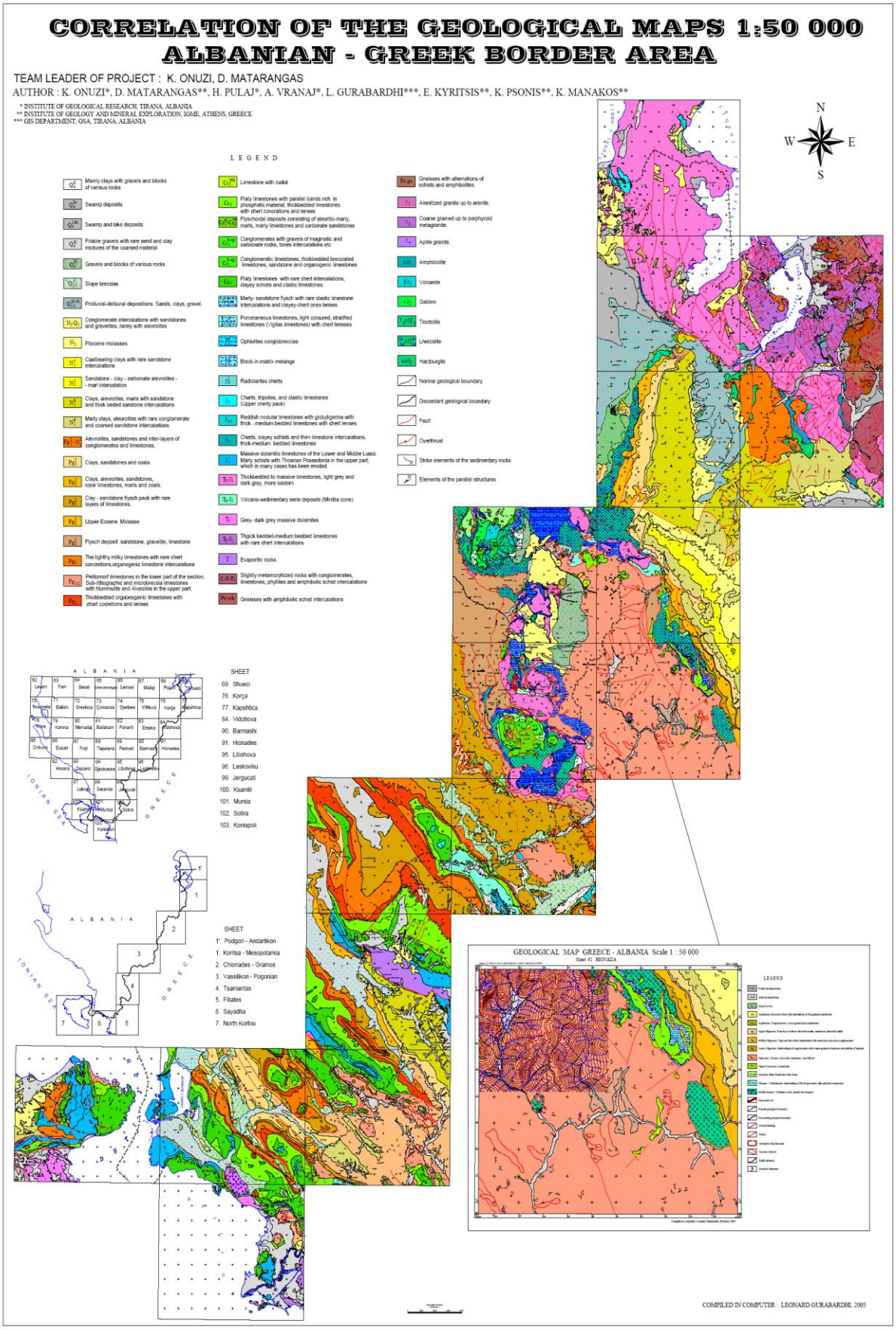


Fig. 5. Albanian-Greece border area

There have been compiled and published the inter-boundary geological maps scale 1:50 000.

Scientific interpretation of geological phenomena based on modern approaches.

Compilation of a database aiming to the planning of a rational national management and exploitation of raw materials, water resources, environmental protection, ore minerals etc.

The geological maps 1:50 000 scales will be useful to various geo-scientific institutions (public and private) in both countries, in the Balkan region and in Europe.

REFERENCES

Onuzi K., Pulaj (2000-2005): Geological correlations of the border area on scale 1:50 000). Archive of the Institute of Geological Research. Tirana.

Onuzi, K., Koller, F. (2021): Southeastern Albanian Ophiolites Ophiolite massifs: Shpati-Kutermani, Shebeniku-Pogradec, Devolli, Vallamara, Voskopoja, Morava, Vithkuq-Rehove Geology and their Petrology.

Onuzi, K., Koller, F., Kneringer, E., Stoja, Gj., Kallanxhi, M. (2021): Ophiolithic Massives of Voskopoja, Morava, Vithkuq-Rehova (Albania), *Geology and Petrology*.

ISPGJ (2002): Geological Map of Albania 1:200 000. Tirana.

Matarangas, D., Triandafilis, E. (2000): Geological Map of Greece 1:1 000 000. IGME. Athens.

Matarangas, D., Androulakakis, N. (2001): Geological Map of Greece 1:1 000 000.IGME. Athens.

Zivaljevic, M. (1989): Explorationfor Geological Map of SR Montenegro, 1:200 000, Titograd.

Pentcherkovsky, J., Hatdjinutrova, S. (1975): Geological Map of R of Macedonia, 1:200 000, Skopje.

1-OF-06
UDC: 552.3/.4.08(496.5)

SOUTH-EASTERN ALBANIAN OPHIOLITES

Kujtim Onuzi[1], Friedrich Koller[2]

[1]*Institute of Geo-sciences and Energy, Water and Environment, Rr. "Don Bosko" nr. 60, Tirana, Albania,*
[2]*University of Vienna, Department of Geological Sciences, Vienna, Austria*
konuzi@yahoo.com. // friedrich.koller@univie.ac.at

A b s t r a c t: Geological studies and research have been carried out for many years in the southeastern Albanian ophiolites. They provided information on the geology and petrology of the ophiolitic complexes of Shpati-Kutermani, Shebeniku-Pogradec, Devoll, Vallamara, Voskopoja, Morava, Vithkuq-Rehove and the ultramafic outcrops of Bitincke-Kapshtica-Vernik. In general, geological mapping, thematic studies, research for chromium, iron-nickel minerals and less for copper ores, etc., have been carried out in them.

Key words: Albanian ophiokites, map

ЈУГОИСТОЧНИ АЛБАНСКИ ОФИОЛИТИ

А п с т р а к т: Во југоисточните албански офиолити многу години се вршат геолошки студии и истражувања. Тие дадоа информации за геологијата и петрологијата на офиолитските комплекси Шпати-Кутермани, Шебенику-Поградец, Девол, Валамара, Воскопоја, Морава, Виткук-Рехов и ултрамафичните излети на Битинче-Капштица-Верник. Општо земено, во нив се извршени геолошки мапирања, тематски студии, истражувања за минерали на хром, железо-никел и помалку за руди на бакар, итн.

Клучни зборови: албански офиолити, мапиирање

INTRODUCTION

Some joint projects to unify the main data on the geological-tectonic structures, lithological composition and the ages of the formations on both sides of the border between the countries, have been undertaken these last years and the results are encouraging. The mutual cooperation between the respective scientific institutions is very important taking into account the participation of both ountries in the compilation of the New Geological Map of Europe 1:500 000 scale.

GEOLOGICAL SETTING

The ophiolitic complexes of this study are part of the Mirdita zone and comprise the southeastern part of Albania, continuing further to Greece (Figures 1 and 2).

They are represented by lherzolites, harzburgites, verlites, troctolites, gabbro, olivinic gabro, gabronorite, followed by massive basalts and basaltic breccias which in some limited sectors (Old Pollen) are covered by the radiolarian chert of the Kimmeridgian (J3). (Figure 3).

Ophiolitic complexes during their development have been affected by the tectonogenesis of the Late Jurassic, Late Cretaceous, Late Eocene, Burdigallian-Tortonian as well as the Late Pliocene tectonogenesis. (Xhomo A, et al. 2002).

The ophiolitic complexes of Shpati-Kutermani, Shebeniku-Pogradec, Devoll, Vallamara, Voskopoja, Morava, Vithkuq-Rehove as well as the ultrabasic outcrops of Bitincke-Kapshtica are located between the Triassic-Jurassic carbonates periphery. Triassic–Jurassic carbonates are present in the eastern and western part of the ophiolites. In the eastern part of the Shebeniku-Pogradec massif carbonates extend from Qarishta to Rajce-Lin-Mali Thate (Figures 1, 2 and 3).

A total of 1127 rock samples (GPS) were taken from K. Onuzi, F. Koller, V. Höck in Albanian ophiolites,where 650 rock samples are part of this study, and most of them from ophiolitic rocks that have been analyzed for chemical composition, petrography, mineral chemistry with microprobe-analysis, etc. (Figure 4).

This study provides advanced data related to problems of geology, geochemistry and petrology of the ophiolitic massifs of Vallamara, Devolli, Shpati-Kutermani, Shebeniku-Pogradec, Voskopoja, Rehove and Morava and was conducted by K. Onuzi, F. Koller, V. Höck.

All ophiolites of southeastern Albania are represented by the ophiolitic complexes of Shpati-Kutermani, Vallamara, Devoll, Voskopoja, Morava, Rehove (western belt, lherzolitic) and Shebeniku-Pogradec as well as the ultrabasic outcrops of Bitincke-Vernik (eastern belt, harzburgitic) .

They are located between the Triassic-Jurassic carbonate periphery and they are both covered by Kimmeridgian and Jurassic-Cretaceous radiolarian cherts.

In the ophiolitic complexes of Southeastern Albania, three types of mantle are observed:

– Mantel with dominance of harzburgites (Massif of Devoll, Vallamara, Shebeniku-Pogradec, Bitincka)

– Mantel with dominance of lherzolites and a few harzburgites (Massif of Voskopoja, Morava, Rehove)

– Mantel with dominance of harzburgites and lherzolites (Massif of Shpati-Kutermani)

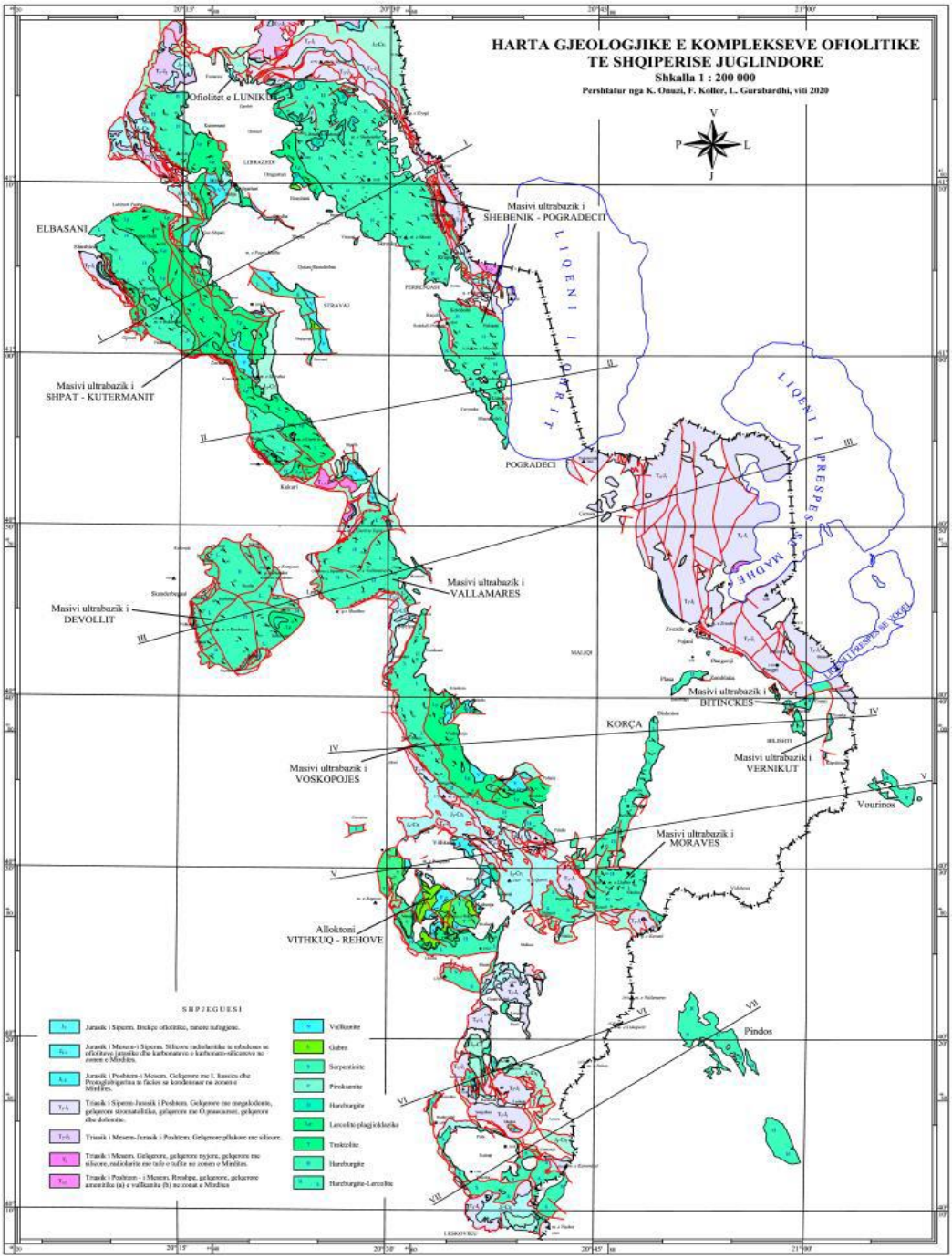


Fig. 1. Map. Ophiolites of Southeastern Albania. Ophiolitic massifs: Shpat-Kuterman, Shebenik-Pogradec, Devolli, Vallamara, Voskopoja, Morava, Vithkuq-Rehove (Onuzi, Pulaj, Marishta, etc.)

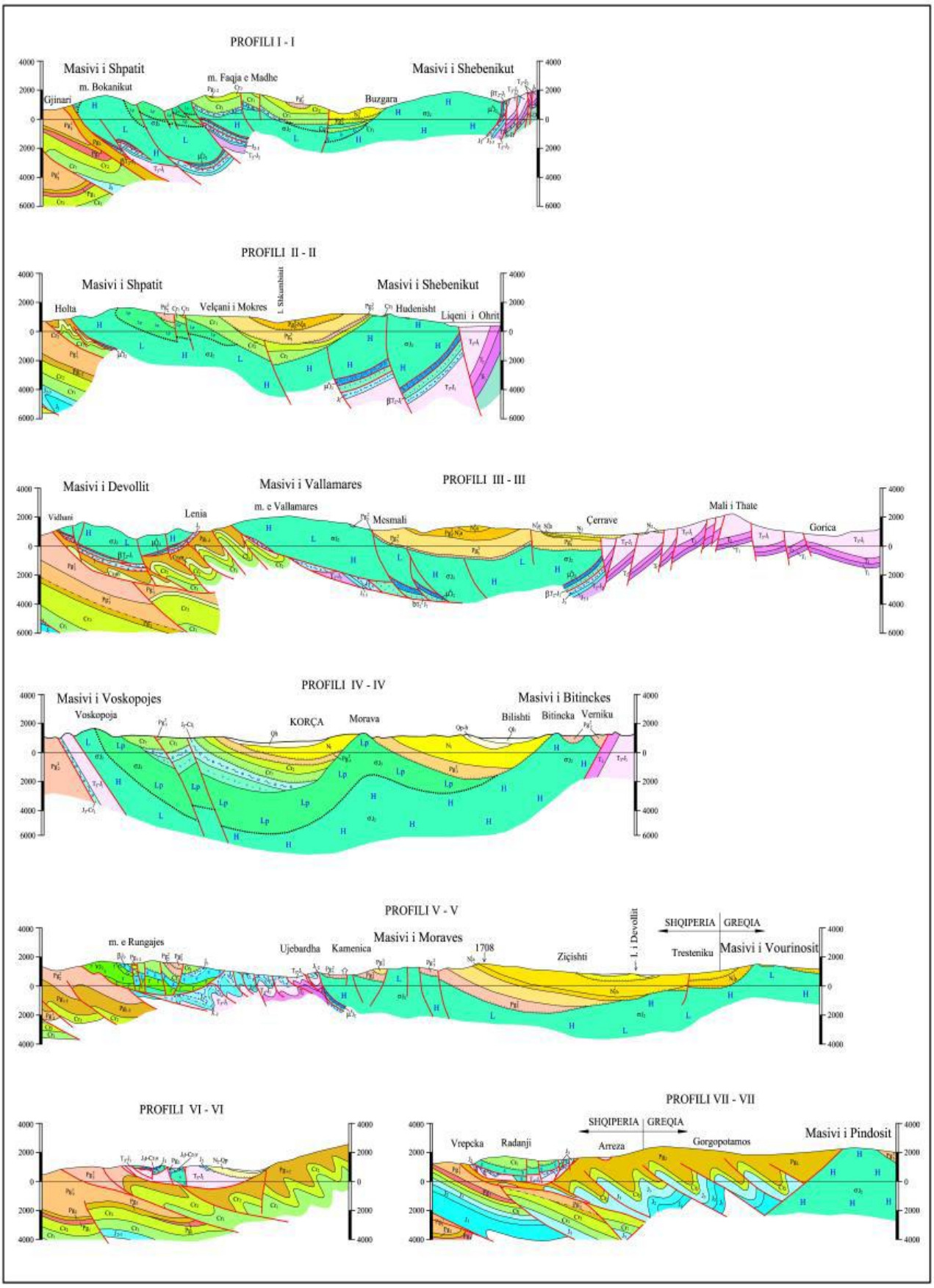


Fig. 2. Geological profiles. Ophiolites of Southeastern Albania (according to Xhomo etc., Onuzi etc.).

AGE	LITHOLOGICAL COLUMN	THICKNESS (m)	DESCRIPTION
J_3		1	Radiolarian cherts
J_{2-3}		3.5	Medium-bedded limestones, brecciated and dark grey color. Microscopic description: pelagic limestones (lagenida-crinoids planctonic-pelagic bivalves) mikrofacies with *Sacocoma sp.*, rich in pelagic microoides.
		4	Brecciated limestone with reddish color, medium to thick bedded. Microscopic description: pelagic limestones (lagenida-crinoide planctonic- pelagic bivalves) mikrofacies, where the pelagic bivalves clasts are the main constituents.
T_3-J_1		12	Thick to massive bedding limestone with light grey color, fine grained with low recrystallisation. Microscopic description: Limestones of coral-algae (*Thaumatoporella-charophytic*facies) micritic matrix (with *orbitopsella praecursor f* oraminifera).

Fig. 3. Lithostratigraphic column (Kaltanj). Radiolarian chert overlying Dogger-Malm limestones

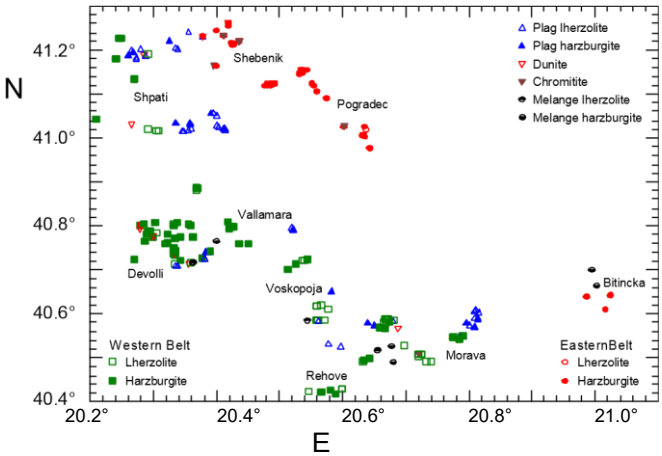


Fig. 4. Distribution of rock samples taken in the field in the Southeastern Albania ophiolites

Based on the geochemical and mineralogical study, ultrabasic cumulates were distinguished (Figures 5 and 6).

In the ophiolitic complex of Voskopoja, Vithkuq-Rehove Allochthon (Koller, Höck, Onuzi) and in the Shebeniku massif (Bebien, Manika, Shallo) both ophiolitic belts have been identified, which suggests that in addition to petrological differences we have similarities between the ophiolitic belts

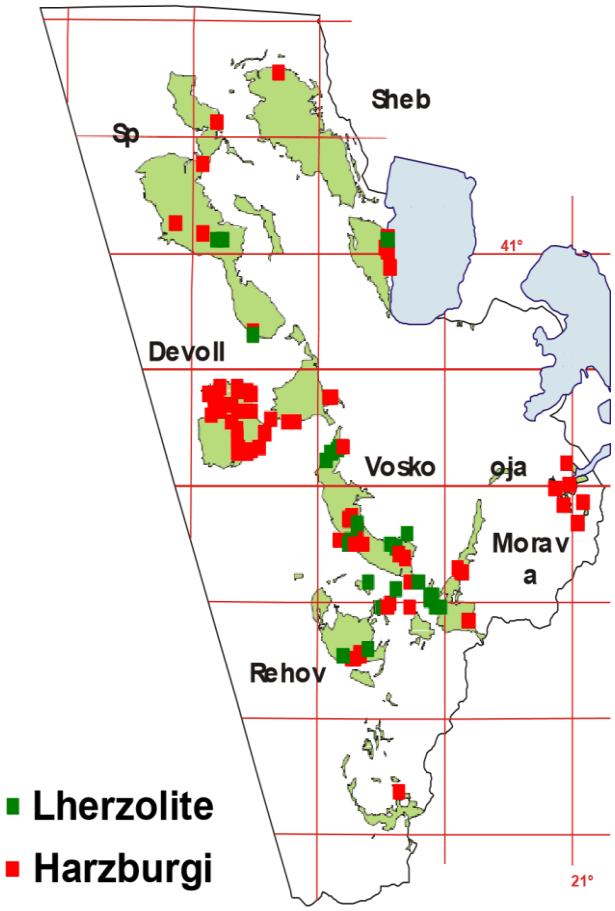


Fig. 5. Distribution of rock samples taken during field work in the ophiolites of Southeastern Albania

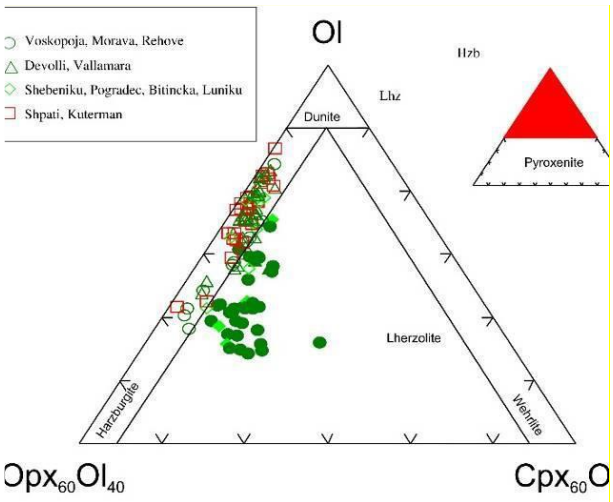


Fig. 6. Lherzolites, harzburgites in the eastern and western belt of the ophiolites of southeastern Albania.

REFERENCES

Koller, F., Hoeck, V., Meisel, T., Onuzi, K., Ionescu, C., Gega, D. (EGU 2006): Cumulates and gabbros in south Albanian ophiolites, *Geophysical Research*, Abstracts, Vol. **8**, 04549.

Bortolotti, V., Chiari, M., Marcucci, M., Marroni, M., Pandolfi, L., Principi, G., Saccani, E. (2004): Comparison among the Albanian and Greek ophiolites:in search of constraints for the evolution of the mesozoic tethys ocean, *Ofioliti*, Vol. 29, No, 1, https://doi.org/10.4454/ofioliti.v29i1.204

Dilek, Y., Furnes, H., Shallo, M. (2008): Geochemistry of the Jurassic Mirdita Ophiolite (Albania) and the MORB to SSZ evolution of a marginal basin oceanic crust. *Lithos*, **100**, 174–209.

Onuzi, K., Koller, F., Goriçan, S., Gega, D. etj. (2008): Gjeologjia e Rajonit Librazhd-Korçe. Instituti i Gjeoshkencave, Tirane.

Onuzi, K., Pulaj, H., Pirdeni, A. (2004): Harta Gjeologjike ne shkalle 1:50 000 e Planshetit 48 Struga dhe teksti spjegues. Instituti i Kerk. Proj. Gjeologjike.

Onuzi, K., Koller, F., Hoeck, V., Bedini, E. (2004): MOR vs. SSZ Ophiolites. Evidence from the mineralogy of the South Albanian ophilitic cumulates. *The Albanian Journal of Natural & Technical Sciences*. Tirane,

1-OF-07
UDC: 551.1.08:555.14(496.5)

OPINIONS ON GEOLOGICAL SETTING OF ALBANIAN–THESSALIAN BASIN IN KORÇA–POGRADECI REGION

Irakli Prifti[1], Gjergji Stoja[2], Agim Ymeri[3]

[1]*Faculty of Geology and Mining, Politechnic University, Tirana, Albania,*
[2]*Albanian Geological Survey, Tirana, Albania,*
[3]*Kosovo Energy Corporation, Obilić, Kosovo*
irakliprifti@yahoo.com

A b s t r a c t: Natural resources in the Korça basin have stimulated a series of studies. We are preparing the article based on the following directions: In the observations of the authors in the field and in the studies conducted before. The lithological descriptions of the geological sections are mainly based on our field observations, during the preparation of multi-purpose maps in the Korça-Pogradec region. While we have treated the tectonic features by supporting them in the field works and in the studies carried out before. In interpreting the geological evolution of the basin we have thrown the idea that the oldest transgressive series of this unit should be the deposits of the upper eocene (Luteciani). In previous studies, the presence of this geological section in the Korca basin has not been interpreted as part of the basin..The basics of transgression from the Lutecian to Pliocene time, express the high tectonic activity of the region. We have also singled out the tectonic elements that have differentiated the synclines from each other, such as the horst of the “Mali i Thate”, the uplift of Morava, the positive fold Verdova-Maliqi. The outpourings of Lutecian-oligo-miocenic in Vithkuq, Qafezez, Pogradec, east of Mokra are interpreted as phenomena of later neocatonic activity and which may express the wider spread of this basin. Recently we have corrected the lithological sections of the Korça basin with the tectonic zones of the outer Albanides.

Key words: Albanian-Thessalian Basin, syncline, sandstone

МИСЛЕЊА ЗА ГЕОЛОШКАТА ГРАДБА НА АЛБАНСКО-ТЕСАЛИСКИОТ БАСЕН ВО КОРЧА-ПОДГРАДЕЦ РЕГИОНОТ

А п с т р а к т: Природните ресурси во басенот Корча поттикнаа серија на проучувања. Ние го подготвивме трудот базиран според следните насоки: Преку проучувањата на авторите на терен и преку проучувањата кои беа извршени претходно. Литолошките описи на геолошките профили главно се базираат врз нашите теренски проучувања, за време на приготвувањето на повеќенаменски карти за регионот Корча-Подградец. Додека ги разгледувавме тектонските одлики преку нивно поддржување за време на теренските работи и во проучувањата кои беа претходно извршени. При интерпретирањето на геолошката еволуција на басенот, ја отфрливме идејата дека најстарите трансгресивни серии од басенот се од Горен Еоцен (Luteciani). Во претходните проучувања, присуството на овој геолошки профил во басенот Корча не е интерпретиран како да е дел од басенот. Основите на трансгресијата од Lutecian до времето на Плиоцен, ја претставуваат највисоката тектонска акртивност на регионот. Ние исто така ги издвоивме тектонските елементи кои ги издвоиле синклиналите една од друга, како што е хорстот на “Mali и Thate”, издигнувањето на Морава, позитивниот набор Verdova-Maliqi. Излевањата од Lutecian-олиго-миоцен во Vithkuq, Qafezez, Pogradec, источно од Мокра се објаснети како појава на доцна неокатонска активност кое што може да ја објасни распространетоста на овој басен. Од неодамна, не ги корегиравме литолошките профили на басенот Корча со тектонските зони на надворешните Албаниди.

Клучни зборови: басен Албанија-Тесалија, силиклинала, песочник

INTRODUCTION

The "Albanian-Thessalian Basin” term means, till now, the Oligo-miocene molasse deposits from west to east of Korça city, westward of Pogradeci city, Librazhdi syncline and Burreli deep. Our observations have detected that the oldest deposits in Albanian-Thessalian Basin are of Lutetian age, transgresses basement rocks in Korça-Pogradeci region (Bitincka and Cangonji of Devolli Syncline, southern of Korça syncline, eastern of Gora-Mokra syncline).

The Albanian-Thessalian Basin is extended on "Mirdita" tectonic zone where its "basement" are the ophiolites, Triassic-Paleogen limestones and in any case on "Krasta" flysch.

In regional framework the Korça basin is a direct extent to the northern continuation of Albanian-Thessalian basin.

The dimension of Albanian-Thessalian basin are 170 × 10 – 25 km, while the Meso-Hellenic is approximately 160 km in Greek territory. Its extension is SE-NW.

Geological observations which are recently performed on Albanian-Thessalian Basin in Korça-Pogradeci region, have made more precise their geological settings. In this paper will be briefly presented the obtained data till now which are abridged in these questions:

1. Some stratigraphic-sedimentologic data.

2. The geological and tectonic position of Albanian-Thessalian Basin in Korça-Pogradeci region.

3. Some ideas about relationship of inter mountains basins and external zones.

1. SOME STRATIGRAPHIC-SEDIMENTOLOGICAL DATA.

The Korça basin stratigraphic-sedimentologic-al deciphering is based on obtained data from field observations and stratigraphic section on Plasa, Drenova, Sinica and Verdova country (Figure 1).

The oldest deposits are those of Lower Oligocene while the recent deposits belong to Langhian stage.

During the fieldwork we noticed significant lithological changes of the Lutecian section (Pg_2^2). They are transgressive on older deposits. We think they may be the oldest foundation of this unit. In Greek territory they must be larger.

They are represented by carbonate and marl deposits in Bitincka (Figure 2) and terrigenous in Cangonj (Figure 3).

The Lower Oligocene (Figure 5) is represented by its upper part and lower part of "Mborja", "Drenova", formation. In the general there are conglomerates bodies in lower part. While "clayey formation with chama" formation is included in “Drenova formation” of Upper Oligocene.There are in lower part some coal-bearing strata and a thick bedded organogenous limestone stratum.

The Upper Oligocene (Figure 5). The lithologic successions are changed from east to west. In eastern part the more frequent lithologic successsions are as follows:

– medium grained sandstone, siltstone, clay,

– sandstone, siltstone. In western part the common lithologic successions are as follows:

– conglomerate, gravelstone, coarse grained sandstone,

– coarse medium grained sandstone, siltstone,

– sandstone, siltstone, clay,

– sandstone, clay, coal-Both the last ones dominate in northern part, where the coal fields are presented.

The genetic forms are stratified, but the lithologic closures of conglomeratic strata are observed. There are the erosive and cut diastems. There are rare channel bodies. The macrofossiles (mainly mollusks and bivalves) have thin walls, small dimensions, no biologic position, accompanied with macroforaminiferas. They are encountered rarer than in the Upper Oligocene.

The Aquitanian stage. The presented lithologic members are conglomerates and gravel-stone which consist of ultrabasic limestones and sandstones pebbles. Once in a way, the course grained sandstones member is met which together with conglomerate and gravel-stone forms the lithologic succession.

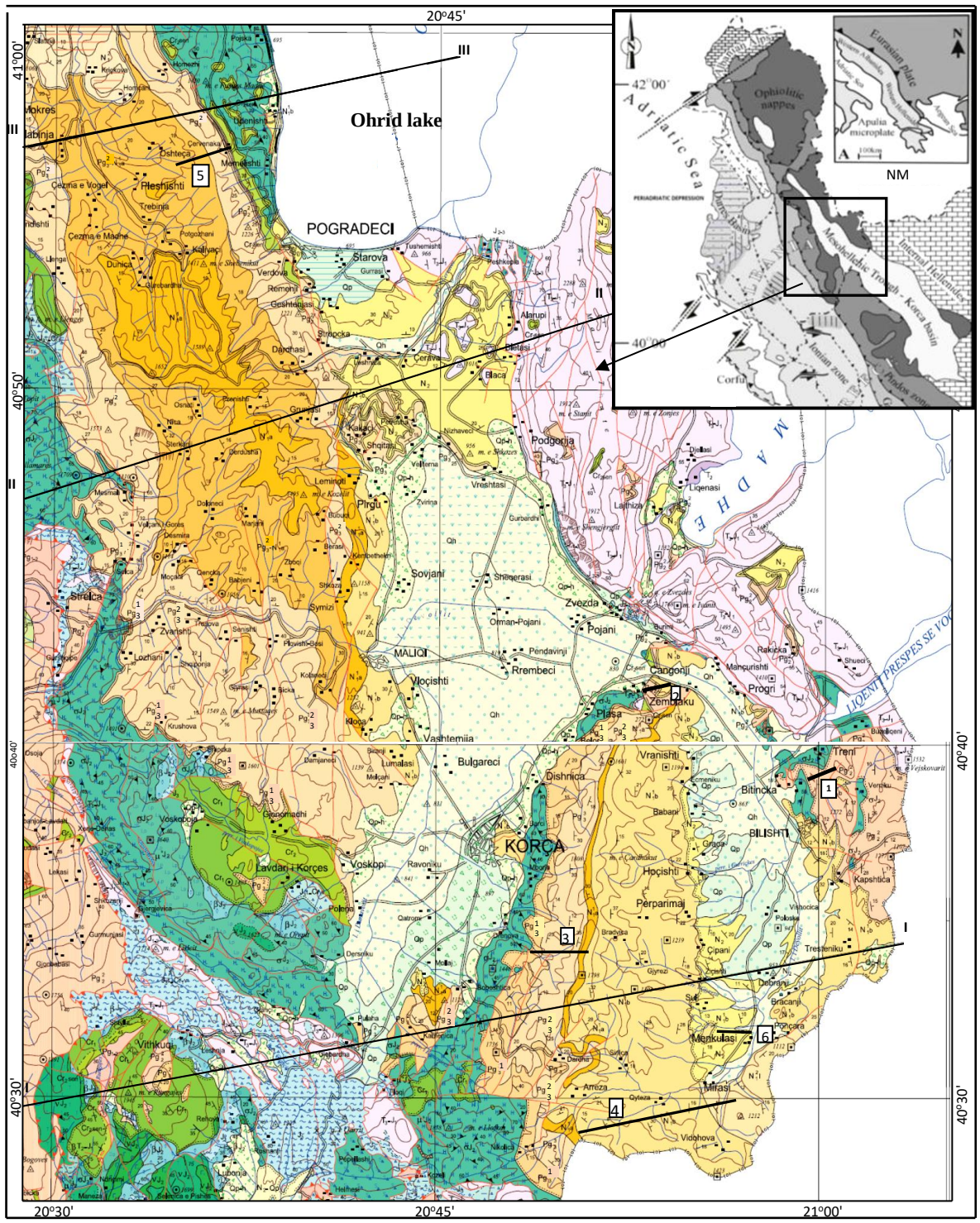
The dominant genetic forms are "channel" with great dimensions which usually consist of conglomerate member. Once in a while, when "the channels" consist of conglomerate and sandstones members the strong erosive diastem are distinguished. The angular unconformities are very clear. In the southern part the sediments are thinner than in the northern part, thus the biologic life is present (Figure 5).

The Burdigalian stage. In lower part it has a lithothamnion limestone thickness which eastward (Devolli syncline) (Figure 3) is extended from south to north, while westward (Korça syncline} (Figure 3) it is like channel bodies with large extension. The upper part of stage is represented by siltstone clays and bluish marlstones.

The Langhian stage. The study of macrofossils and nannofossils indicate about the Langhian stage. The planktonic forams study don't identify the Langhian presence. It is necessary to be performed some other observations.

The thickness of The Burdigalian and Langhian deposits in Gora are 500–600 m.

The biolithostratigraphic correlation of Oligo-Miocene section, (where the base of "Plasa sandstones" formation, the "coral" or "foraminifera" level, are correlated levels) makes possible to be noticed these differences:



Qh Holocen, depozitime kënetore-liqenore: argjila, alevrite, rëra, torfa

Qp Pleistocene, depozitime aluviale-proluviale-liqenore: alevrite, rëra, zhavore

N_1^2l Langian, Argjila mergelore, argjila dhe ranorë

N_1^1b Burdigalian. Mergele, argjila mergelore, alevrolite dhe gëlqerorë litotamnik

N_1^1a Akuitanian. Ranorë, alevrolite, argjila dhe

Pg_3^2-N_1^1a Oligocen i sipërm-Akuitanian. Argjila të hirta detare (Moravë), ranorë, argjila dhe qymyre (Mokër)

Pg_3^2 Oligocen i sipërm. Ranorë, argjila me shtresa qymyresh e gëlqerorë

Pg_3^1 Oligocen i poshtem. Argjila, konglomerate e qymyre

Pg_2^2 Eocen i mesem. Mergele,gëlqerorë, argjila, alevrolite, ranorë konglomerate

I—— Geological section

1- lithological section in Bitinca, **2**- lithological section in Cangonji, **3**- lithological section in Drenova, **4**-lithological section in Miras, **5**- lithological section in Çervenaka, **6**-lithological section in Menkulasi

Fig. 1. Geological map of Korça Pogradeci region (VRANAJ et al. 2002

– The lithology of Verdova section is very different from "Plasa", "Drenova" and "Sinica" ones (the Devolli syncline) (Figures 3 and 4).

– The Aquitanian thickness of Verdova section is greater (500 m) than in the other sections (200 m).

– The thickness of Lower Oligocene gets smaller from south-east (Devoll syncline) to north-west (Mokra-Gora syncline). It is the same for Burdigalian deposits,

– The lithologic data, the depositional thickness and the paleontological data indicate that the deeper part of Oligomiocene basin has been in south-eastern part (Devolli syncline).

– The facies correlation and their diversity is presented in Figure 4.

– Conglomerate, congio-breccia, coarse-grained sandstone,

– Gravel-stone, coarse-grained sandstone, siltstone,

– Coarse-grained sandstone, siltstone, mudstone, coal.

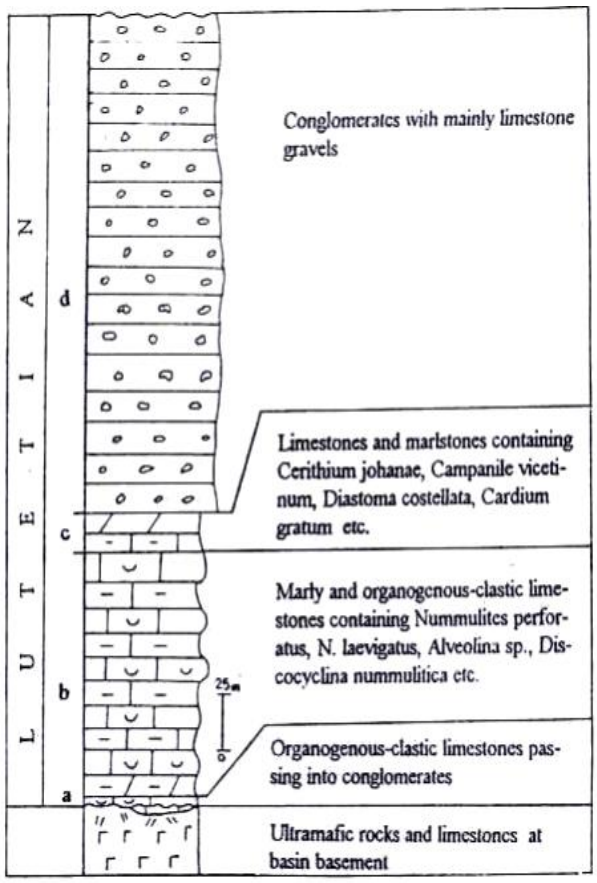


Fig. 2: Stratigraphical section of the Eocene (Lutetian] molasse in Bitincka at the eastern margin of the Albanian-Thessalian Basin (Meçe & Aliaj, 2000)

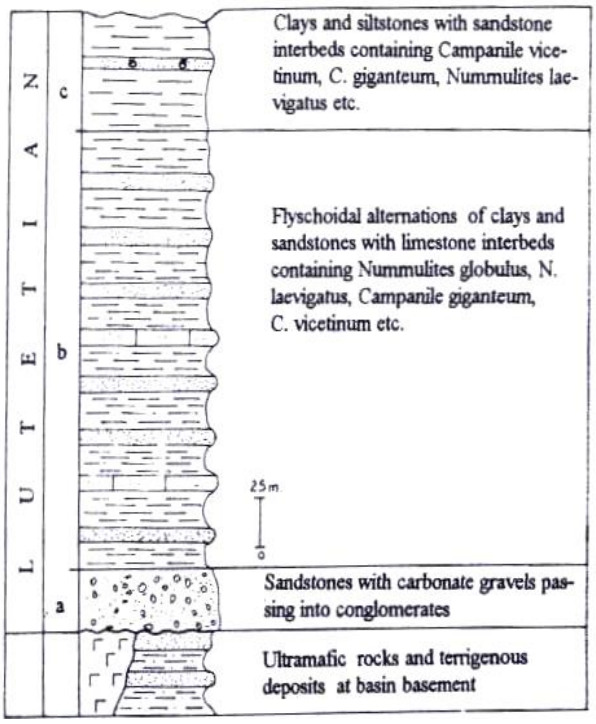


Fig. 3*:* Generalized stratigraphical section of che Lutetian deposits on the nonrth-eastern margin of the Albanian-Thessalian Basin (Meçe & Aliaj, 2000)

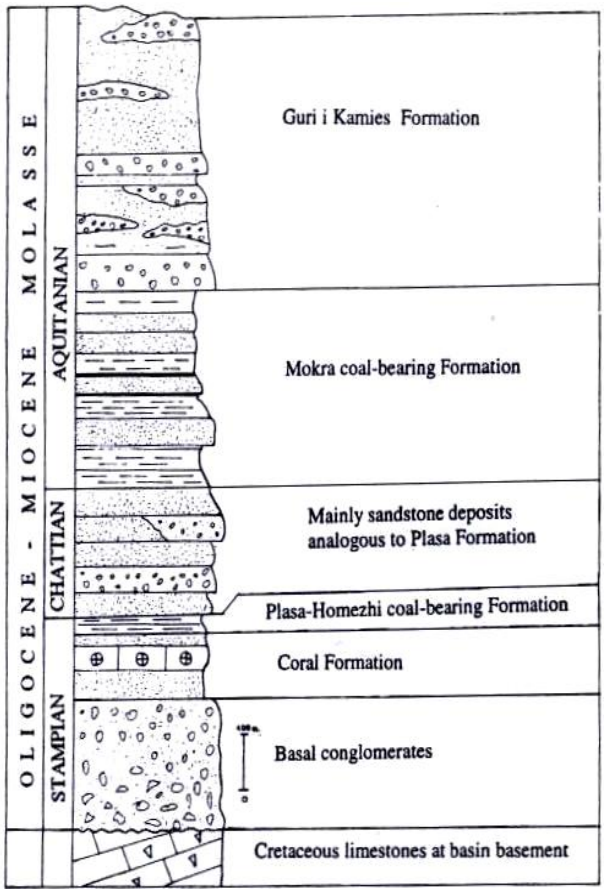


Fig. 4. Stratigraphical section of Oligocene-Miocene molasse in the Pogradeci- Çervenaka sector(Meçe & Aliaj, 2000)

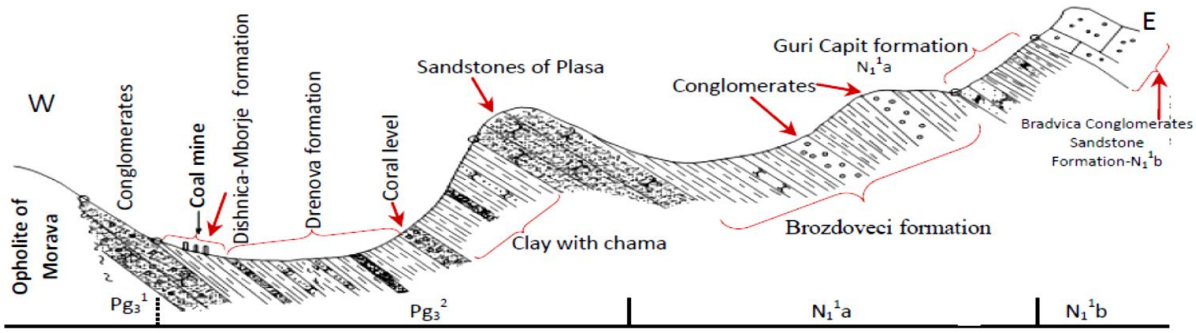


Fig. 5. Geological section on western side of Devolli syncline (east of Drenova) on "Oligocene – Burdigaliane section" (Stoja et al. 2012)

Photo. Field observacion on Drenova formation

In upper part there are:

– Sandstone, silstone, clay, -siltstone, clay, coal. In the general an energy decrease of basin is observed from lower part to upper one but the nearness of extreme lithologic membre (term in french) indicate about the oscillation of the energy.

– The genetic forms, in general are "channel" consisting of different lithologic members.

– There are thick wall, intact, closing valves, abundant macrofossiles which are organised as levels.

In the Gora syncline, an exact boundary between the upper Oligocene and the Aquitaine cannot yet be deduced from all the work done. For this reason, all the deposits placed on the coal-bearing formation of Gora, the Upper Oligocene and the conglomerate-sandstones of the Aquitaine, (in the syncline centro), in the Geological Map at a scale of 1: 200000 have been treated as the Upper .

These deposits have sometimes been treated as oligo-myocenic (Dimo, etc. 1980) and sometimes as Aquitanian (Geology of Albania 1990).

In Morave and the province of Gora the deposits of the lower part are represented by once in a way, the course grained sandstones member is met which together with conglomerate and gravel-stone forms the lithologic succession.

The dominant genetic forms are "channel" with great dimensions which usually consist of conglomerate member. Once in a while, when "the channels" consist of conglomerate and sandstones members the strong erosive diastem are distinguished. The angular unconformities are very clear. In the southern part the sediments are thinner than in the northern part, thus the biologic life is present.

Generally in the south-east part the sediments are not organised as strata but they are massive.

Figure 6. Stratigraphical section of Miocene molasse in Menkulasi region (eastern margin of the Albanian-Thessalian Basin).

Within the massive marly clays there are rhythmic sandstone packets and thick sandstone bodies. Their genetic forms are "channels" or "bars". The diastems are erosive. There are lithothamnion small balls within the massive marly clays. Their presence indicates that the neritic sediments have been transported by means of paleocurrents. The macrofossils consist of Pteropoda, Bivalve and Gastropoda with small dimensions and very thin walls, sea-rchin, shark teethes, small balls lithothamnium etc.

In the Korça basin, **the Pliocene deposits** meet on the surface in the Alarup Çërravë-Leshnicë region and have been encountered by several wells in the Korça plain under the Quaternary deposits.

Pliocene deposits are also widespread in the Devoll field (Figure 7), where they are represented by coal-bearing clay. Here the thickness reaches up to 300 m. In the southern part of Pogradeci Lake. Pliocene deposits are represented byconglomerates, sandstones, coal-coated clays.

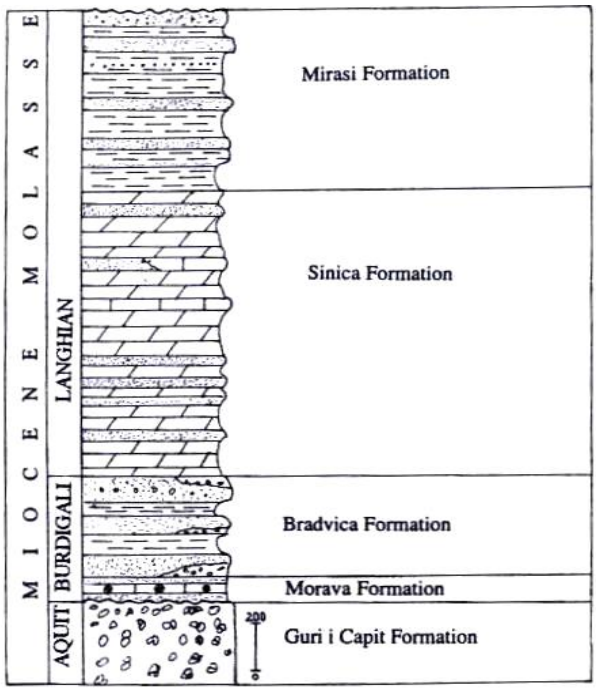


Fig. 6. Geological section on eastern side of Devolli syncline (Meçe & Aliaj, 2000)

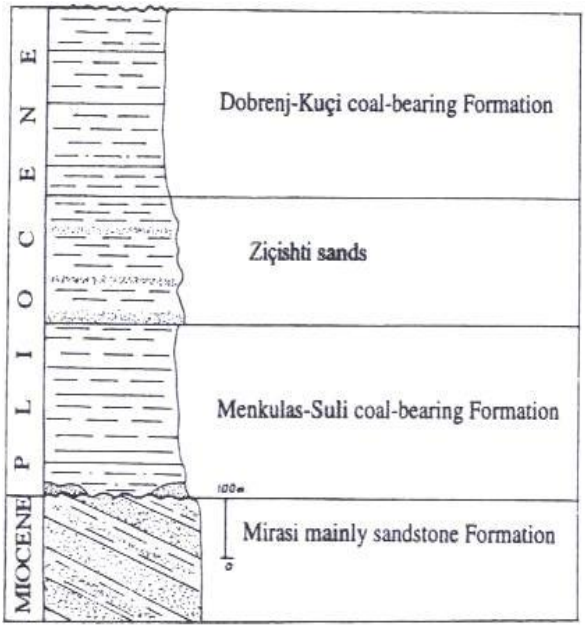


Fig. 7. Stratigraphical section of Pliocene molasse in the Devolli Basin (Meçe & Aliaj, 2000)

In the eastern part they are placed transgressively on the Triassic limestones ("Alarupi" formation) with a thickness of about 350 m. To the west they are located on the oligocene flysch (Stropckë village) and in other places over the Burdigalian, and are represented by molten and conglomerate alevrolitore sands, about 300 m thick.

2. THE GEOLOGICAL AND TECTONIC POSITION OF ALBANIAN-THESSALIAN BASIN IN KORÇA-POGRADECI REGION.

From the structural form point of view in general we have to do with a syncline one, but in southern part (Korça, Pogradeci) based on field observations and recent studies the following tectonic unit in study area, are distinguished (Guri et al. 1995):

a) Devolli syncline,

b) Thrust of "Mali i Thatë" (Cangonji willage),

c) Morava ophiolitic massif (Drenova willage),

d) Korça syncline,

e) Tectonic blocks of "Mali i Thatë" (Çerava willage),

f) The positive fold Verdova-Maliqi,

g) Gora-Mokra syncline.

j) Ohrid graben lake Basin.

l) Prespa graben lake Basin

Based on recently studies the discussion was made about paleogeographic connection of Burreli deep with the external zones i. e. it is eastern inter mountain basin of Periadriatic depression. In these conditions, although the actual geographical position makes the impression of an uninterrupted basin from Korça to Burreli before Tortonian time. Their geological history is very different after this time.

Devolli syncline

It represents an intermediate basin, filled with oligo-miocene deposits, ranging from the Lower Oligocene to those of Langian (Figure 8). The base on which the obligomiocenic molasses deposits overlap represents a lower tectonic blocks, caused as a result of intense tectonic activity before the Oligocene time.

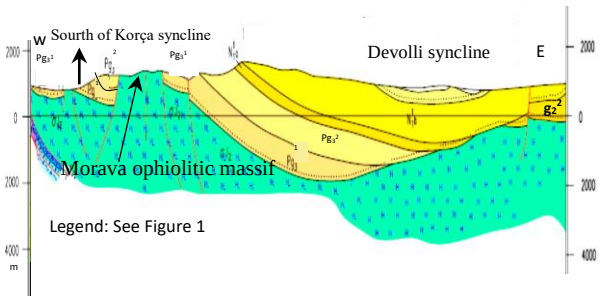


Fig. 8. Korça and Devolli synclines (Vranaj et al. 2002)

The transgressive placement of the molasses on various rock complexes shows that the base has a block structure, complicated by transverse and longitudinal tectonic slides. We note that in the Cangonj-Bitincke region, oligo-miocenic molasses extends transgressively over the Middle Eocene molasses, which in turn also extends transgressively over ophiolitic rocks and continental pre-Paleogene formations (Meçe & Aliaj, 2000; Vranaj et al. 2002)

Korça syncline

It lies in the central part of the Korça region (Figure 8). Surface data are scarce to speak of the geological structure of this unit. Based on the fragmentary outflows of oligocene molasses in the southern part (Pulaha), the deposits of the Lower Miocene along the western side also those found by some exploration wells under the Plio-Quaternary cover, etc. this syncline, is interpreted as a tectonic depression with north-east immersion, caused by the breakdown of late tectonics and neotectonics.

The western side of this syncline is clearly distinguished by the deposits of the lower Miocene, which fall to the east at an angle of 20-30^0.

The maximum thickness of the oligo-myocene deposits of this syncline is comparable to those of the Devoll syncline about 3000-3500m. (Meçe & Aliaj, 2000; Vranaj et al. 2002)

Gora-Mokra syncline

It lies in the northwestern part of the intermediate basin with dimensions 10×15 km in a north-west-southeast direction (Figure 9). Oligo-myocene deposits are located on a foundation built of ultrabasic rocks and sedimentary rocks from Jura to Eocene.

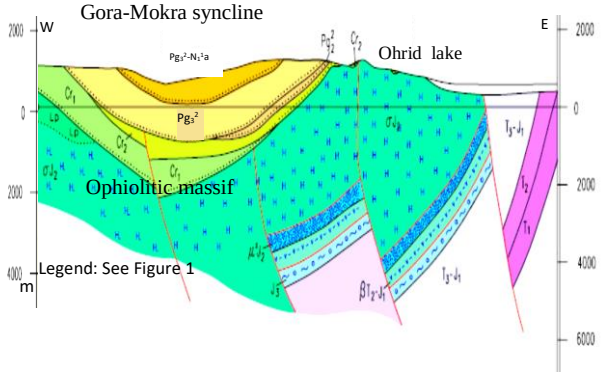


Fig. 9. Northen Gora-Mokra syncline and Ohrid lake (Vranaj et al. 2002)

Both sides of the syncline are clearly distinguished by Oligocene deposits, they fall toward the center of the syncline at an angle of 15–30°. On the whole, there is an increase in the thickness of deposits from east to west. The center of the Mokre syncline is filled with Aquitanian deposits extending from the village of Zboq in the south to Kalivac in the north.

To the northwest this syncline is masked by the transgressive placement of the middle Miocene deposits of the Librazhd basin(Meçe & Aliaj, 2000; Vranaj et al. 2002).

Ohrid graben lake Basin

A graben lake basin formed during the Pliocene and extended from the Korça plain to north of Lake Ohrid (Figure 10). Pliocene molasse occurs as two formations, namely die Alarupi with coal seams and the Cerrava conglomeratic one.

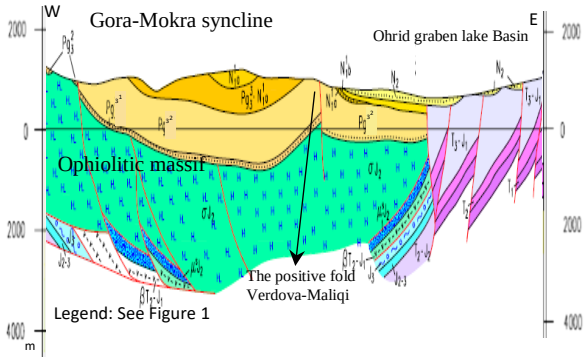


Fig. 10. Gora-Mokra syncline and Ohrid graben lake Basin (Vranaj et al. 2002)

The Alarupi is coaliferous and dips gendy eastwards. It is 550 to 600 m in thickness and overlies, both transgressively and distordandy, Triassic limestones at the foot of die Mali i Thate Mountain.

Stratigraphically, die section is composed of basal conglomerates which pass up into sandstones. Clays with coal strata occur in the middle part. These coaliferous clays are also found in die upper part in association with alternations of the sandstones and siltstones. Rarely, *Psiiana* occurs in this formation.

The formation consists of conglomerate packets among micro-conglomeratic and sandy strata.

Quaternary sediments embodying sands and clays with thin coal seams were revealed by drilling on the Starova plain.

When the Quaternary commenced, the sector benveefl the Korça and Pogradeci plains emerged due to uplift while die plains subsided.

Lake Ohrid originated simultaneously (Guri et al. 1995).

Prespa graben lake Basin

This was also created during the Pliocene in that region which is now occupied by the Prespa lakes. Pliocene molasse outcrops on the Prespa e Madhe lacustrine margins. After the Pliocene, it is possible that these emerged with uplift and the terrains now included in the existing Prespa lakes submerged. In this manner, the Prespa lakes formed at a higher topographical elevation than Lake Ohrid (Meçe & Aliaj, 2000).

3. SOME OPINIONS ABOUT RELATIONSHIPS OF INTER MOUNTAIN BASINS AND EXTERNAL ZONES.

The problem in question is difficult to be resolved. The actual geological-tectonic position has been influenced by some tectonic main events occurred after Triassic, before Cretaceous, after Eocene (mainly Krasta, Mirdita and Korabi zones) and before Serravalian, Tortonian and Pliocene events (Ionian, Kruja and Krasta zones).

The average thicknesses of section are presented on the following table (Kumati. 1995)

The interpretation of some geological field data makes possible to give some ideas about the presence or absence of communication of Oligomiocene basins from west to east. The geological data that will be analysed are as follows:

The analysis of Oligomiocene thicknesses.

In the above table attracts attention the "zero" thickness of "Krasta" zone Oligomiocene deposits. This fact doesn't indicate about west-east communication between Ionian, Kruja zones and Korça basin.

The Aquitanian and Burdigalian thicknesses of Kruja zone belongs to northern part because these deposits from Shkumbini river to south are absented. In these conditions, the west-eastern basin communication has not been existed because the Kruja zone itself (included Tomorri belt) has been a continental barrier. This opinion is also based on the thickness about 1200 m of Burdigalian stage on Devoll syncline which is two and three times bigger than on Kruja and Ionian zone (Table 1).

T a b l e 1

Oligocene-Miocene deposit thicknesses in Albanian basins (m)

Age	Ionian Zone	Kruja Zone	Krasta Zone	Korça Basin
Pg_3^1	794 (1210)	3250	0	300
Pg_3^2	570 (886)	150	0	800
N_1^1a	556 (980)	85 – 789	0	350
N_1^1b	345 (450}	10 – 540	0	1200

The Oligomiocenic facies comparison.

It is known the Oligocene deposits of Ionian and Kruja zone are flysch and overlie normally on limestone (except the Tomorri belt).

The Oligocenic deposits on Korça basin overlie transgressively. They are not complete and are molassic facies. This molassic Oligocene is covered by Aquitanian and Burdigalian flyschoides, while in Ionian zone there is such an order: flysch, flyschoide and molasse.

REFERENCE

1. Stoja, Gjergji, Nasto, Kozeta (2012): Some prominent geological sites of Korça region as real opportunities for geotourism. “Geological Buletin” Journal.32-40 p.

2. Guri S, Kumati, L. L, Koroveshi T. (1995): Studlmi regjional mbi modelin strukturor, biostratigrafik ambientet e sedimentimit dhe poterncialin gjeokimik te basenit te mbivendosur (Gropat e Brendshme) Albanido-Mezohelenik ne rajonin Korçe-Prrenjas) (Scientific report). Archive of National Agency of Natural Resources. Fier, Albania..

3. Kumati, L. L. (1995): Stratigrafia dhe interpreting paleobatimetrik i depozitimeve te Gropes Korçes (Shqiperia Juglindore)(Scientific report). Archive of National Agency of Natural Resources. Fier, Albania.

4. Meço, Selam & Alaj, Shyqyri (2000): *Geology of Albania*. Gebruder Bornntraeger, Berlin, Stuttgart. 246 pp.

5. Vranaj A., Melo V., Kodra A., Bakalli F., Meço S. (2002): *Gjeologjia e Shqiperise, Stratigrafia, Magmatizmi, Metamorfizmi, Tektonikadhe Evolucioni Paleogjeografikdhe Gjeodinamik.* Archive of National Agency of Natural Resources. Fier, Albania.

1-OF-08
UDC: 550.348.436.098.64(497.7)"2010/2020"

СЕИЗМИЧНОСТ НА МАКЕДОНИЈА ВО ПЕРИОДОТ 2010-2020 ГОДИНА

Катерина Дрогрешка, Јасмина Најдовска, Драгана Черних, Моника Андрееска, Љубчо Јованов

Сеизмолошка Опсерваторија, Природно-Математички Факултет,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј" во Скопје
Архимедова 3, Скопје, Република Северна Македонија
dcernih@yahoo.com

А п с т р а к т: На основа на сеизмотектонската карта на територијата на Република Северна Македонија со сите случени и лоцирани земјотреси во периодот 2010–2020 г., исцртана на основа на годишните каталози на земјотресите во Сеизмолошката опсерваторија при ПМФ во Скопје, за истиот период напрвена е анализа на целокупната сеизмичност на оваа територија. Според сите овие податоци, на територијата на Македонија во периодот 2010-2020 г.. Вкупно се случиле 15417 земјотреси, со максимални набљудувани локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 5.3$ и максимален епицентрален интензитет до I_o=VIII. Тоа се земјотреси од класата на минорни до умерено силни земјотреси. Забележлива е невооедначена распределба на земјотресите од разгледуваниот регион и период по магнитудни интервали, со изразито голем број на минорни и слаби земјотреси, со локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 3.0$ и тоа во епицентралните подрачја кои според досегашните истражувања на Сеизмолошката опсерваторија се карактеризираат со слаба до умерена сеизмичка активност: епицентрални подрачја Св. Николе–Штип, Делчево–Берово, Струмица и епицентрално подрачје Велес. Нерамномерното ослободување на акумулираната сеизмичка енергија се должи на изложеноста на геотектонските единици на долготрајните тектонски сили на напрегање на територијата на Македонија. Сложувањето на тектонските податоци со сеизмолошките, укажуваат дека територијата на Македонија се наоѓа во режим на зголемена сеизмичка активност.

Клучни зборови: сеизмичност, земјотрес, епицентрално подрачје

SEISMICITY IN THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA DURING THE PERIOD 2010–2020

A b s t r a c t: An analysis of the overall seismicity for the territory of the Republic of Northern Macedonia in the period 2010-2020y was performed according to the seismotectonic map, with all occurred and located earthquakes from the annual catalogs from the Seismological Observatory at the Faculty of Natural Sciences in Skopje. Total of 15,417 earthquakes of the class of minor to moderately strong earthquakes with maximum observed local Richter magnitudes $M_L \leq 5.3$ and maximum epicenter intensity I_o = VIII were consider. There is an uneven distribution of earthquakes in the examined region and period of magnitude intervals, with a very large number of minor and weak earthquakes, with local Richter magnitudes $M_L \leq 3.0$ in the epicentral areas which according to the current study of seismic activity are characterized with week to moderate activity −epicentral area St. Nikole-Stip, Delchevo-Berovo, Strumica and Veles. The uneven release of the accumulated seismic energy is due to the exposure of the geotectonic units to the long-lasting tectonic forces on the territory of Macedonia. The combination of tectonic data with seismological data indicate that the territory of Macedonia is in a regime of increased seismic activity.

Key words: seismicity, earthquake, epicentral area

ВОВЕД

Територијата на Македонија има богата геолошка и тектонска историја и претставува своевиден геолошки мозаик, во кој што се застапени речиси сите видови на магматски, седиментни и метаморфни карпи. Во тектонска смисла, таа е еден од источните делови на Медитеранската област на Алпско-Хималајскиот ороген појас кој се карактеризира со висока сеизмичка активност, последица на интерактивните сили на напрегање во времето на постојана колизија помеѓу три големи тектонски плочи: Евро-азиската, Арабиската и Африканската.

Територијата на Македонија, за време на палеотектонскиот развој била изложена на постојани сили на компресија со правец од северо-исток-југозапад до исток-запад. Источниот дел бил изложен на страничните притисоци од дејството на Родопската маса и Карпато-Балканидите, додека западниот дел бил изложен на страничните притисоци од страна на Динаридско–

Хеленидскиот ороген лак (Dumurdžanov et al., 2004, 2005).

Крајот на дејството на постојаните сили на компресија на кои што биле изложени геотектонските единици на територијата на Македонија е всушност почеток на пенепле-низација и формирање на денудациони зарамнини, која траела се до крајот на епохата долен миоцен, кога започнала неотектонската етапа. Тогаш доаѓа до промена на геодинамичките услови во централниот Балкански регион, на којшто припаѓаат и терените на Македонија, така што овој регион бил зафатен со режим на екстензија.

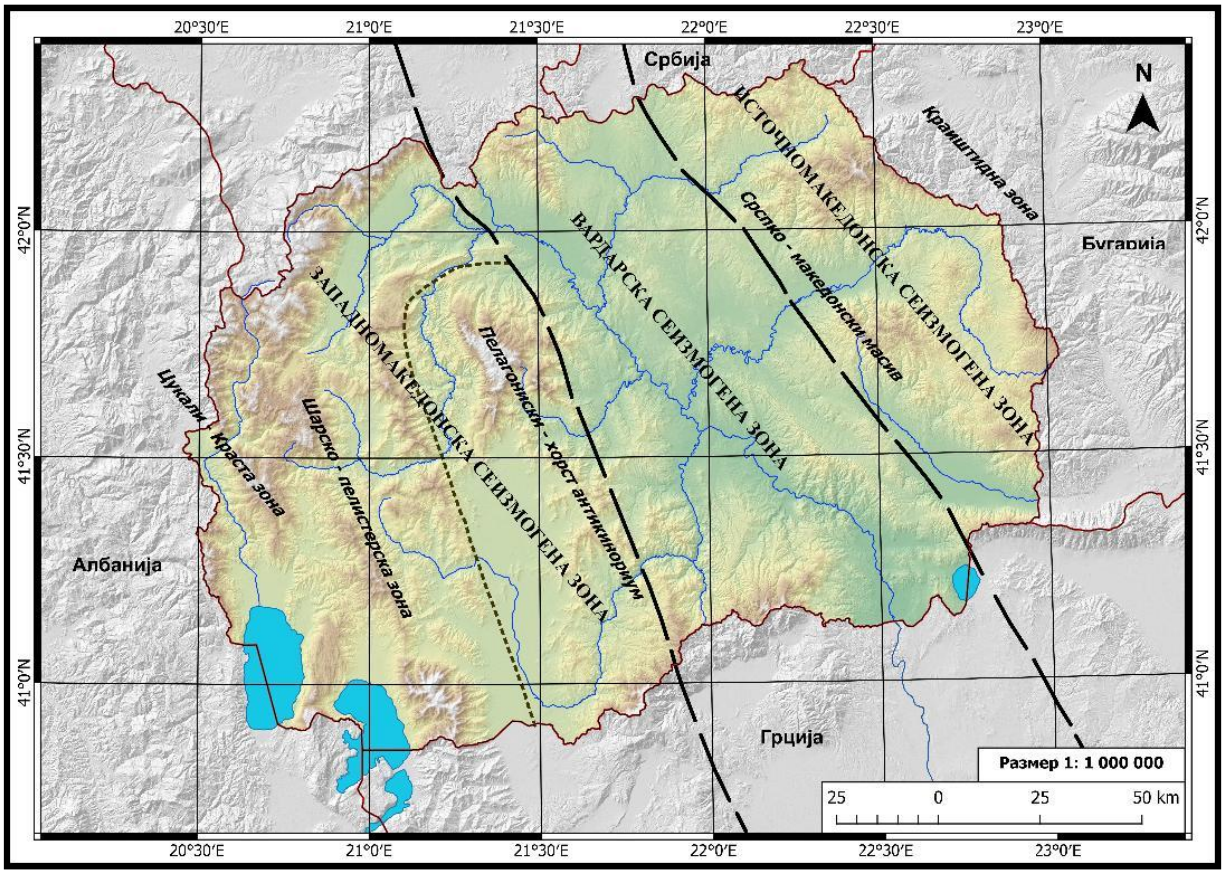
Западните делови од Западно-македонската зона, останале под влијание на субдукцијата помеѓу Јадранската тектонска плоча и Динаридите, што создава сили на компресија со соодветно напрегање, што продолжува и денес, од запад кон исток (Carminati et al., 2004).

Останатиот дел од Балканот, особено централниот, бил под дејство на сили на растегање долж правецот север-југ и соодветно напрегање, па територијата на Македонија се нашла во режим на јужна екстензија. Оваа екстензија продолжува и денес, а со неа се зафатени и блиските простори на Р. Бугарија и Р. Грција (Dumurdžanov et al., 2005).

Резултатите од GPS мерењата покажу-ваат дека целата територија се движи кон југ-југоисток со брзина 2–4 mm годишно (Burchfiel et al., 2006).

Интеракцијата помеѓу јужната екстен-зија и брзината на движењето на терито-ријата на Македонија е услов, потенцијал за акумулирање на енергија во сеизмичките извори, но и создавање на тектонски земјотреси, преку активирање на нормалните раседни дислокации.

Во рамките на главните тектонски зони егзистираат сеизмогените зони со раседи од различен карактер и насока на протегање, долж кои настануваат земјотресите. Појавата на карактеристичната сеизмичка тектонска активност, во смисла на честотата на земјотресите со одредена јачина, распоредот на земјотресните жаришта како и нивната поврзаност со геолошките и тектонските структури, укажува на можноста на дефинирање на три главни сеизмогени зони: Западно–македонска, Вардарска и Источно–македонска сеизмогена зона (слика 1).



Сл. 1. Главни сеизмогени зони и неотектонски единици на територијата на Македонија

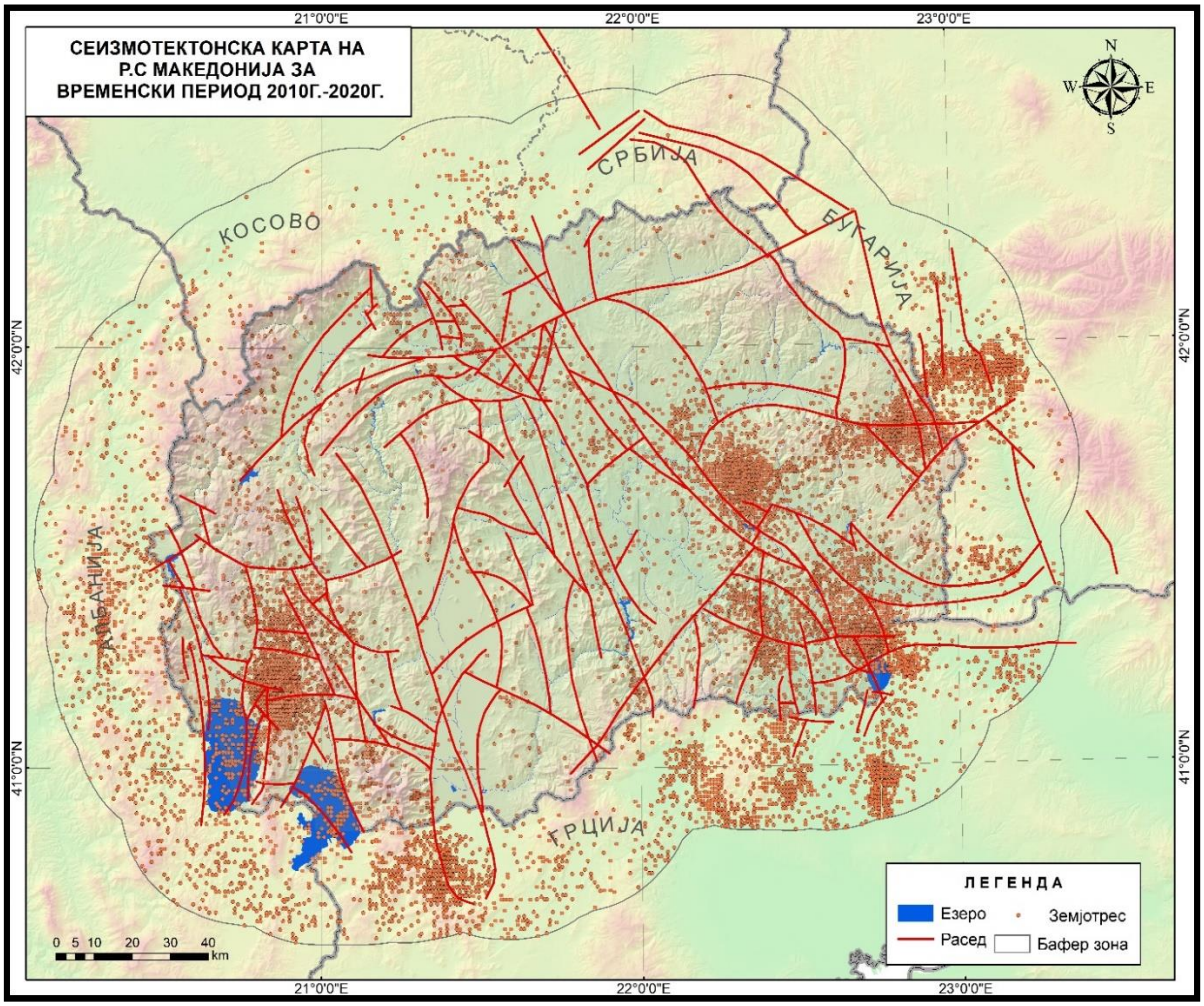
Взаемноста помеѓу набљудуваната сеизмичност и тектонските карактеристики на територијата на Македонија и пограничните предели ги дава сеизмотектонските карактеристики според кои во рамките на сеизмогените зони се јавуваат подрачја во кои што се концентрираат епицентрите на земјотресите – епицентрални подрачја.

АНАЛИЗА НА СЕИЗМИЧНОСТ НА ТЕРИТОРИЈАТА НА МАКЕДОНИЈА ВО ПЕРИОДОТ 2010–2020 ГОДИНА

Според многубројните сеизмолошки истражувања, набљудуваната историска и современа сеизмичка активност на територијата на Македонија и блиските погранични предели (оддалеченост од границата на Р. С. Македонија околу 30 km), главно е тектонска, со исклучок на извесен број на слаби урвински земјотреси.

Долготрајната акумулација на силите на напрегање на кои што се изложени тектонските единици, односно напрегањата врз стенските маси, создава енергетска нерамнотежа до еден одреден момент кога истата се ослободува. Последица на овие нерамнотежни енергетски состојби се процесите на раседувањето кои создаваат земјотрес.

Од сеизмотектонската карта на сликата 2, добиена на основа на годишните каталози на земјотресите во Сеизмолошката опсерваторија, каде се прикажани сите случени и лоцирани земјотреси на територијата на Македонија и блиските погранични подрачја, во разгледува-ниот период 2010–2020 година се врши анализа на целокупната сеизмичност на оваа територија во дадениот период, не разгледувајќи ги макросеизмичките ефекти од земјотресите на територијата на Македонија.



Сл. 2. Сеизмотектонска карта на територијата на Р. С. Македонија и блиските погранични подрачја за период 2010–2020 година

При анализата на сеизмичноста се разгледуваат и земјотресите чии епицентри припаѓаат на блиските погранични подрачја не подалеку од 30 km, бидејќи најголемиот дел од нив со локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 4.0$ предизвикуваат макросеизмички ефекти врз територијата на Македонија.

Периодот на кој што се однесува ова истражување, 2010–2020 година, опфаќа регистрација и локација на вкупно 15417 земјотреси од кои 4 се со Рихтерова локална магнитуда $M_L \geq 5.0$. Тоа се земјотреси од класата на умерено силни до силни, прикажани во Табела 1.

Т а б е л а 1

Најсилните земјотреси во периодот 2010 – 2020 година

Датум	Време			Локација			Магнитуда	Интензитет	Епицентрално подрачје
	h	min	s	φ(°)N	λ(°)E	*H* (km)	M_L	I_o	
11. 9. 2016	13	10	5	42.00	21.50	3.7	5.3	VII-VIII	Скопје
03. 7. 2017	11	18	18	41.12	20.87	1.7	5.0	VII-VIII	Охрид
11. 11. 2020	3	54	14	41.62	20.86	15.0	5.0	V	Тетово-Гостивар
11. 11. 2020	14	25	12	41.60	20.87	11.8	5.0	V-VI	Тетово-Гостивар

Анализата на сеизмотектонската карта (Слика 2), укажува на забележителна групираност во распределбата на епицентрите на земјотресите со $M_L \leq 3.0$, односно концентрацијата на земјотресите е во поединечни подрачја, долж раседните дислокации, што може да се сметаат за изолирани извори на сеизмичка енергија.

Тоа се епицентралните подрачја кои според досегашните истражувања на Сеизмолошката опсерваторија се карактеризираат со слаба до умерена сеизмичка активност: епицентрално подрачје Св. Николе–Штип, Делчево–Берово, Струмица и епицентрално подрачје Велес.

Епицентралните подрачја Охрид, Скопје, Дебарца–Плакенска Планина и Тетово–Гостивар во разгледуваниот период 2010–2020 година, го задржуват трендот на епицентрални подрачја со многу честа појава на слаби земјотреси $M_L \leq 2.9$, но и со честа појава на земјотреси со магнитуди во интервалот $3.0 \geq M_L \leq 5.0$ чии периоди на повторување се од неколку децении до неколку стотици години.

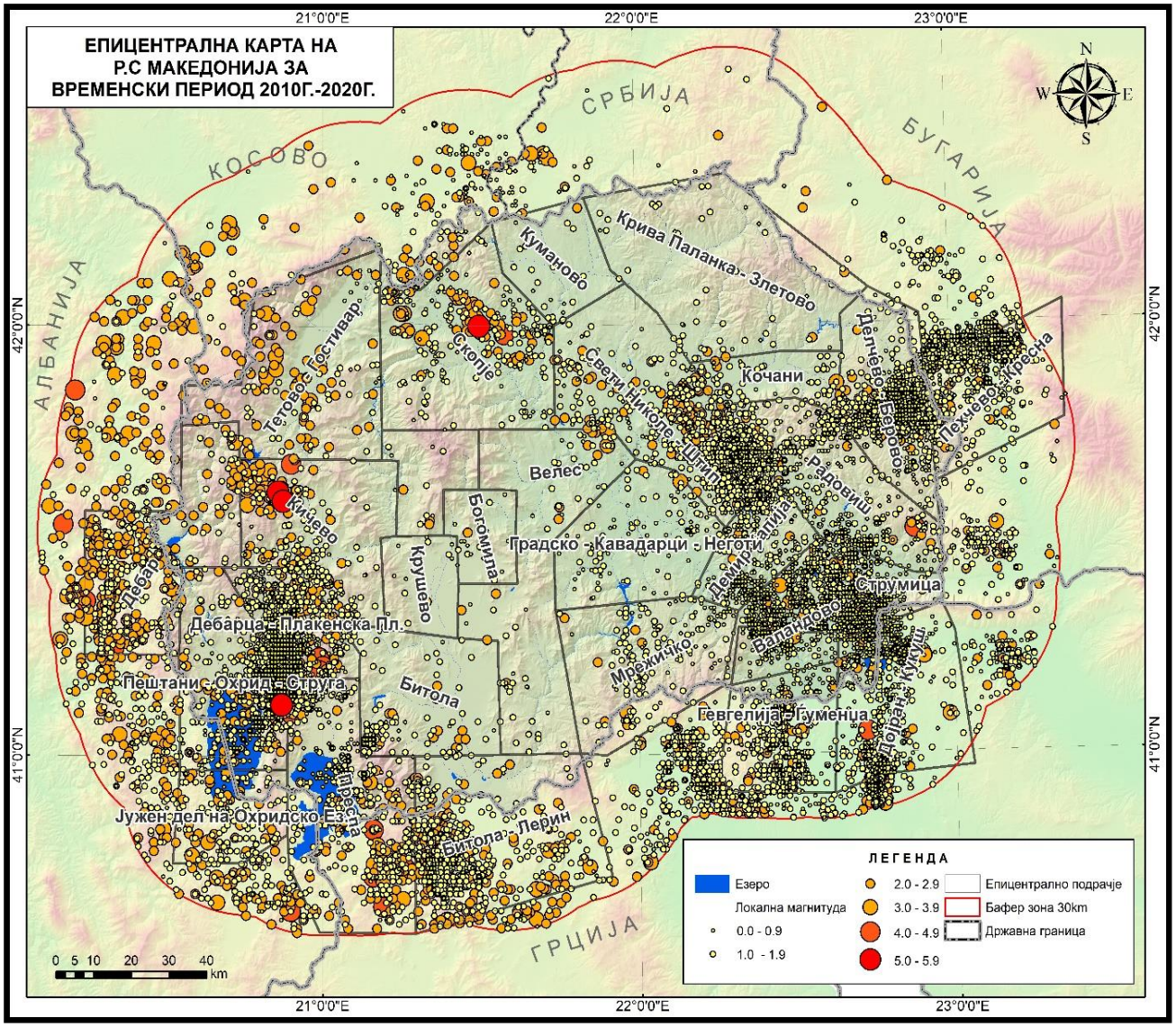
Исклучок претставува подрачјето на Пелагониискиот хорст–антиклинориум, кој иако реликт од прекамбриската Земјината кора на Динаридите–Хелинидите, иако од исток и запад ограничен со длабински донеотектонски регионални раседи, иако испресечен со донеотектонски раседи, овој хорст, покажува одредена слаба сеизмичка активност, во разгледуваниот период 2010–2020 г. Оваа ситуација се должи на еднаквите издигања на деловите на хорстот од дамнина.

Сите земјотреси од разгледуваниот период се прикажани на епицентралната карта (Слика 3).

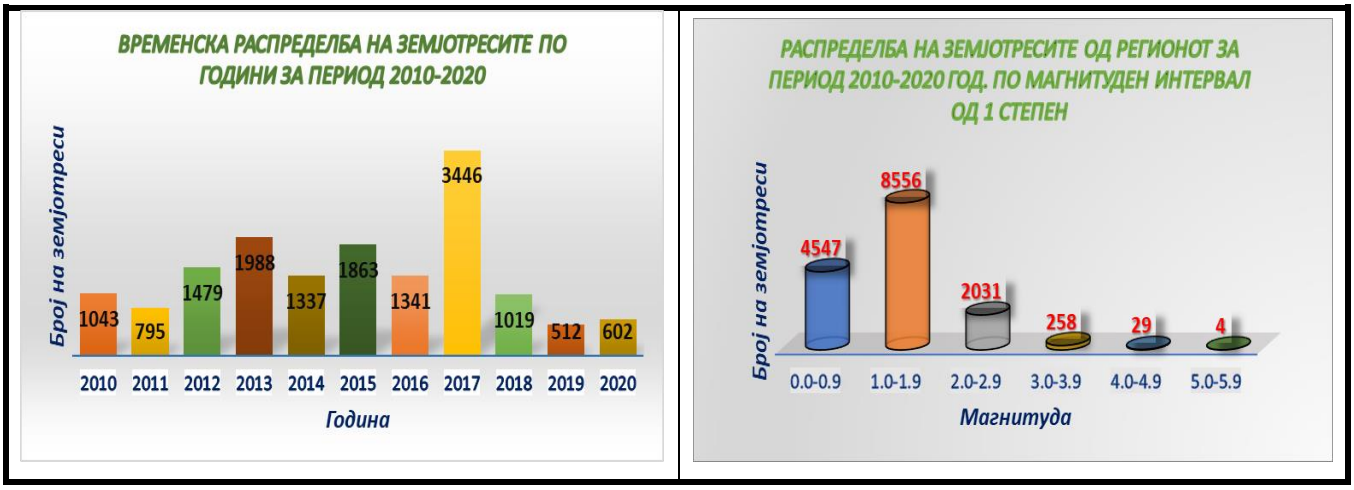
Временска распределба на земјотресите од регионот по години за период 2010–2020 година и нивната распределба по магнитуден интервал од по еден степен според Рихтеровата скала, претставена е на сликата 4.

Во регионот за време на разледуваниот период од вкупно 15471 земјотреси, најголем е бројот на земјотреси со магнитуди $1{,}0 \leq M_L \leq 1{,}9$, вкупно 8556, а потоа бројот на земјотресите со магнитуди 0,1 $M_L \leq 0{,}9$, вкупно 4547. Се случиле вкупно 4 силни земјотреси, со $5{,}0 \leq M_L \leq 5.9$. Очигледно е опаѓање на бројот на земјотресите со зголемувањето на магнитудата.

Од хистограмската презентација од сликата 4 лево, следува дека бројот на земјотреси во поодделните години на разгледуваниот период е различен и се движи од 512 до 3446. Забележливо е дека изразито помал број на земјотреси (512 и 602) постојат во 2019 и 2020 година што укажува на умерена сеизмичност. Во другите години бројот на земјотреси, со исклучок на 2017 година, е прилично изедначен и во просек изнесува над 1000 земјотреси годишно. Треба да се напомене дека, време-траењето на придружната активност на силните земјотреси (форшоковите и афтершоковите) се одредени од типовите на раседите – жаришта на силни земјотреси, како и од геолошко-тектонските структури на кои овие раседи припаѓаат.



Сл. 3. Епицентрална карта на територијата на Р. С. Македонија и блиските погранични подрачја во период 2010–2020 година

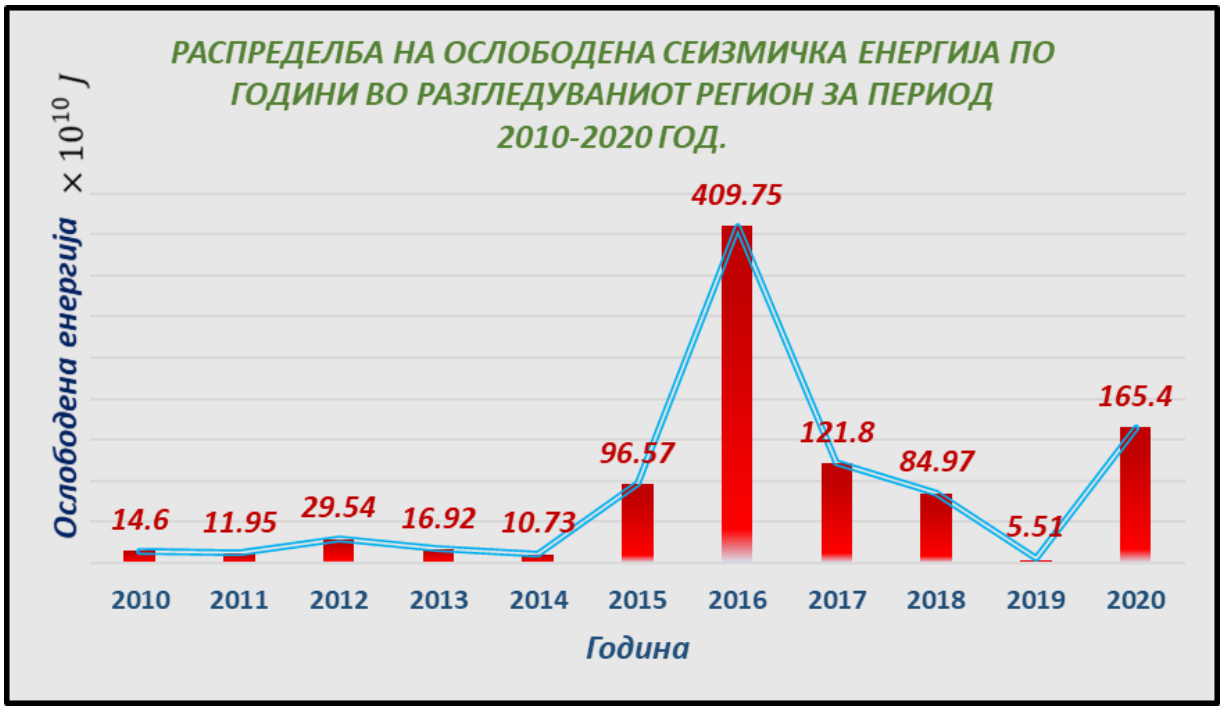


Сл. 4. Временска распределба на земјотресите од разледуваниот регион и период по години и магнитуден интервал од еден степен

Ова следи од тоа што ослободувањето на сеизмичката енергија акумулирана од долготрајните напрегања во стенските маси е карактеристично за секоја раседна дислокација, односно е нерегуларна појава. Така, силните земјотреси понекогаш се придружени само со афтершокови, односно сеизмичка активност што го следи главниот земјотрес, понекогаш и од форшокови (сеизмичка активност непосредно пред главниот земјотре) и од афтершокови, при што овие придружни земјотреси имаат најразлични магнитуди, помали од магнитудата на главниот земјотрес. Во 2017 година, земјотресот на 3 јули во 11 h 18 min 18 s (UTC) со локална Рихтерова магнитуда $M_L = 5{,}0$ и епицентрален интензитет I_o = VII–VIII EMS-1998 (епицентрално подрачје Пештани–Охрид-Струга), беше придружуван со послаба форшокова но изразена афтершокова сеизмичка активност која во времетраењето на серијата предизвика земјотреси чии магнитуден интервал се движеше од $0{,}1 \leq M_L \leq 5{,}0$. Оттаму потекнува и големиот број на земјотреси 3446 како и ослободена сеизмичка енергија $121{,}8 \times 10^{10}$ J во разгледуваниот регион и период. Во текот на 2016 година од активноста на неколку раседни дислокации кои предизвикаа повеќе од десетина земјотреси со магнитуда $4{,}0 \leq M_L \leq 5{,}9$ се ослободи најголема сеизмичка енергија од $409{,}75 \times 10^{10}$ J.

Од епицентралната карта на територијата на Македонија и нејзините блиски гранични подрачја, во разгледуваниот период 2010–2020 година, јасно се воочува групирањето на земјотресите односно нивната концентрација е во поедини епицентрални подрачја. Некои од нив може да се сметаат за изолирани извори на сеизмичка енергија: епицентралното подрачје Св. Николе–Штип, Делчево–Берово, Струмица и епицентралното подрачје Велес. Но епицентралните подрачја Скопје, Пештани–Охрид–Струга, Тетово–Гостивар и Дебарца–Плаченска Планина имаат очекувана сеизмичка активност чии периоди на повторување на умерено силни земјотреси $M_L \geq 5.0$ (периоди на максимално очекуван интензитет од неколку десетици години) се совпаѓаат со максималните набљудувани интензитети на случените земјотреси во разгледуваниот период 2010–2020 година.

На сликата 5 прикажан е хистограмот на вкупната сеизмичка енергија ослободена по години. Најголемо количество на сеизмичка енергија е ослободено во 2016 година, што се должи на 1341 земјотрес, од кои најсилниот е со Рихтерова локална магнитуда $M_L = 5{,}3$ но и на сериите на земјотреси од другите сеизмички жаришта. Очигледно е и дека токот на ослободување на сеизмичка енергија го следи појавувањето на силните земјотреси заедно со последователните односно афтершоковата сеизмичка активност.



Сл. 5. Распределба на ослободената сеизмичка енерија во регионот по години за периодот од 2010–2020 година

Во однос на хипоцентралната длабочина на регистрираните и лоцираните земјотреси, преовладува плитката распределба на хипоцентрите на земјотресите, од 1 km до 20 km, а најчесто од 5 km до 15 km. Ова укажува дека сеизмичноста на разгледуваниот регион, односно територијата на Македонија е поврзана со деформациите во горните делови на литосферата, поточно со деструкцијата на Земјината кора условена од тектонските движења.

ЗАКЛУЧОК

Терените со многу сложена геолошка градба, односно различни по старост, генеза и состав на стенските маси, најчесто се одликуваат и со висок степен на сеизмичност.

Оваа сложеност на геолошката градба на територијата на Македонија е предзнак за присуство на интензивни тектонски движења во геолошката еволуција на дадениот простор која продолжува и денес. Просторната положба на раседните дислокации како и влијанијата на геотектонските услови, ја определуваат распределбата на сеизмичката енергија расеана во време и простор како и нејзиното влијание на околните терени.

Интеракцијата помеѓу јужната екстензија и брзината на движењето на територијата на Македонија е услов, потенцијал за акумулирање на енергија во сеизмичките извори, но и создавање на тектонски земјотреси, преку активирање на нормалните раседни дислокации.

Епицентрите на случените земјотреси во разгледуваниот регион и период покажуваат тенденција на просторно групирање. Во таа смисла, сеизмичноста во епицентралните подрачја кои досега се карактеризираа со слаба сеизмичка активност: епицентрално подрачје Св. Николе–Штип, Делчево–Берово, Струмица и епицентрално подрачје Велес во разгледуваниот период 2010–2020 година покажуваат тенденција на зголемена сеизмичка активност со значајна зачестеност на минорните и слаби земјотреси $M_L \leq 3{,}0$.

Се очекува добиените резултати да бидат солидна основа во истражувањата на современата и очекуваната сеизмичност на територијата на Р. С. Македонија и погранич-ните предели.

ЛИТЕРАТУРА

SORM – Сеизмолошка опсерваторија при Природно-математичкиот факултет во Скопје, 2010–2020, *Каталози на земјотресите во Република Македонија и пограничните подрачја за годините 2010–2010*, Фонд на Сеизмолошката опсерваторија при Природно-математичкиот факултет–Скопје.

Арсовски, М. (1996): *Тектоника на Македонија*, Штип, Рударско-геолошки факултет.

Dumurdžanov, N., Serafimovski, T., and Burchfiel, B. C. (2004)Ч *Evolution of the Neogene-Pleistocene basins of Macedonia*: Geological Society of America Digital Map and Chart Series 1 (accompanying notes).

Dumurdžanov N., Serafimovski T., and Burchfiel B. C. (2005): Cenozoic tectonics of Macedonia and its relation to the South Balkan extensional regime, *Geosphere*, **1**, 1–22.

Burchfiel, B. C., Todosov, A., King, R. W., Kotzev, V., Dumurdžanov, N., Serafimovski, T., and Nurce, B. (2006): GPS results for Macedonia and its importance for the tectonics of the southern Balkan Extensional regime, *Tectonophysics*, 413, 239–248.

Carminati E., Doglioni, C., Argniani, A., Carrara, G., Dabovski, Ch., Dumurdžanov, N., Gaetani, M., Georgiev, G., Maufret, A., Nazai, Sh., Sarfori, R., Scionti, V., Scrocca, D., Seranne, M., Toreli, L., and Zarorchev, I. (2004): The TRANSMED ATLAS. The Mediterranea Region from Crust to Mantle. TRANSMED TRANSECT III: Massif Central-Provence-Gulf of Lion-Provencal Basin-Sardinia-Tzrrhenian Basin-Southern Apennines-Apulia-Adriatic Sea-Albanian Dinarides-Balkans-Moesinian Platform, Mediteranian consortium for the 32 nd International Geological-Congress, Firenca, Italia.

Јордановски, Љ., Пекевски, Л., Чејковска, В., Черних, Д., Христовски, Б. и Василевски, Н. (1998): *Основни карактеристики на сеизмичноста на територијата на Република Македонија,* Скопје Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Природно-математички факултет, Сеизмолошка опсерваторија.

Дрогрешка.,К. (2018): *Примена на теоријата на дислокации во дефинирањето на епицентралните подрачја и тектонските услови на територијата на Република Македонија,* докторска дисертација, Сеизмолошка опсерваторија при Природно-математички факултет, Скопје,

1-OF-09
UDC: 551.8.07:551.435.12.072(497.11)

PALEOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MOLLUSCS OF THE PLEISTOCENE CORBICULA BEDS IN THE SAVA RIPARIAN AREA IN BELGRADE (SERBIA)

Barbara Radulović[1], Draženko Nenadić[2], Katarina Bogićević[1], Slobodan Knežević[2]

[1]*University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Department of Palaeontology, Kamenička 6, 11000 Belgrade, Serbia,*
[2]*University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Department of Regional Geology, Kamenička 6, 11000 Belgrade, Serbia,*
barbara.radulovic@rgf.bg.ac.rs

A b s t r a c t: Pleistocene alluvial deposits of the Sava riparian area at Belgrade have a significant thickness, and because of the presence of clams of the genus *Corbicula* they were known as "beds with *Corbicula fluminalis*". Freshwater bivalves (clams) of the genus *Corbicula* have considerable distribution and great climato-stratigraphic significance in the alluvial Quaternary deposits of the Sava River at Belgrade. The two morphotypes of these clams are present: Pleistocene *Corbicula* are connected to palaeoflows of the "pre-Sava", while remains of contemporary *Corbicula* are spatially limited to the recent courses of the Sava River. Both of them are very successful invasive species which colonized most of European rivers. Based on the data from the investigated borehole, it can be concluded that in Pleistocene alluvial deposits *Corbicula* is not the dominant species, but that the largest number of specimens belong to the species *Litoglyphus naticoides*.

Key words: *Corbicula* beds, Pleistocene, paleoecology, Sava riparian area.

ПАЛЕОЕКОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕКОТЕЛИ ОД ПЛЕИСТОЦЕНСКИТЕ CORBICULA НАСЛАГИ ВО КРАЈБРЕЖНАТА ОБЛАСТ НА РЕКАТА САВА ВО БЕЛГРАД (СРБИЈА)

Квартерните седименти на крајбрежната област на реката Сава во Белград имаат значителна дебелина. Податоци за постари квартерни формации можат да се добијат само преку длабоки дупнатини (односно истражно дупчење). Плеистоценските алувијални седименти во оваа област имаат значително распространување и големо биостратиграфско и економско значење. Помеѓу најзначајните мекотели видови во интерглацијалните квартерни алувијални седименти на реката Сава во Белград се плеистоценските школки *Corbicula*, детерминирани како *Corbicula fluminalis*. Како топло-водни видови, со наидувањето на ладните климатски фази во среден Плеистоцен, *Corbicula* школките се повлекле кон потопли области, населувајќи се во помлад Плеистоцен и Холоцен, во јужните делови на Каспискиот Басен, централна Азија, Индија и потоплите региони на Американскиот континент (Меијер и Прис, 2000; Ненадиќ и др., 2019). Видот *Corbicula* е автохтон во рецентно време во тропските и субтропските региони во Африка, Азија, Малезискиот полуостров, Филипини, Нова Гвинеја и источна Австралија (Мортон, 1986). Испитуваниот фосилен материјал е земен од дупнатина во седименти од Плеистоценска старост, кој се наоѓа на левиот брег на ррката Сава (Белград, Србија). Дупнатината RB 53/P-1 има вкупна длабочина од 28.20 m (GPS координати RB 53/P-1: 44°48'34''N; 20°26'38'E', надморска височина 76.08 m). Географската положба на дупнатината е прикажана на слика 1.

Клучни зборови: *Corbicula* наслаги, плеистоцен, палеоекологија, крајбрежна област Сава

INTRODUCTION

Quaternary sediments of the Sava riparian area at Belgrade have a relatively large thickness. Data on older Quaternary formations can only be obtained from deep boreholes (by exploration drilling). Alluvial sediments of the Pleistocene age in this area have considerable distribution, great biostratigraphic and economic importance.

Among the most important molluscs species from the interglacial Quaternary alluvial deposits of the Sava River at Belgrade is Pleistocene *Corbicula*

clams usually identified as *Corbicula fluminalis*. As a warm-living species, with arrival of cold climatic phases in the Middle Pleistocene, *Corbicula* withdrew to warmer areas, settling, in younger Pleistocene and Holocene, southern parts of the Caspian Basin, central Asia, India and warmer regions of the American continent (Meijer & Preece, 2000; Nenadić et al., 2019). The *Corbicula* species is in recent days autochthonous in tropical and subtropical regions of Africa, Asia, the Malaysian Archipelago, the Philippines, New Guinea, and Eastern Australia (Morton, 1986).

The investigated fossil material comes from the borehole of the Pleistocene age located at the left bank of the Sava River (Belgrade, Serbia). Borehole RB 53/P-1 has the total depth of 28.20 m (GPS coordinates RB53/P-1: 44º48'34''N; 20º26'38'E', altitude 76.08m). Geographical position of the borehole is presented on Fig. 1.

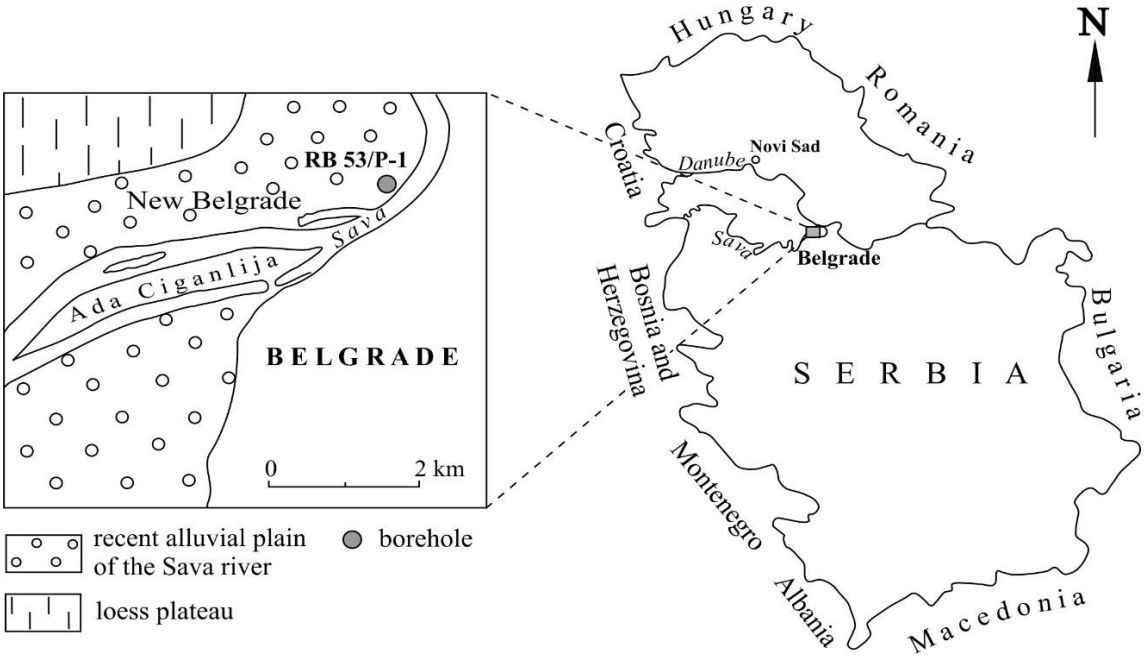


Fig. 1. Geographical position of the borehole RB 53/P-1

METHODS OF INVESTIGATION

The research has been realized by use of the following methods: palaeontological and palaeo-ecological analyses, sedimentological-petrological and classical stratigraphical principles of super-position.

The sediment from the borehole is processed in laboratory using finemesh screens with several sievs (0.10 to 0.60 mm). The fossil material (bivalves and gastropods) were determined and number of individuals of each species is counted following the depth of drilling of drillhole.

RESULTS AND DISCUSSION

Lithologically, the Pleistocene *Corbicula* beds are clastic fluvial sediments, among which prevail sandy gravels and gravelly sands (riverbed deposits), which alternate with fine-grained silts and clays (floodplain deposits). These sediments in the riparian area of the Sava at Belgrade are mainly deposited over palustrine-lacustrine deposits of Plio-Pleistocene age or Upper Miocene deposits of the Pannonian and Pontian age (Nenadić & Gaudenyi, 2013; Knežević et al., 2018).

Based on the data from the borehole RB 53/P-1 the researched deposits contain three species of bivalves: *Corbicula fluminalis* (Müller), *Unio crassus* (Philipsson), *Dreissena polymorpha* (Pallas), and six species of gastropods: *Lithoglyphus naticoides* (Pfeifer), *Holandriana holandrii* (Pfeifer), *Microcolpia daudebartii acicularis* (Ferrusac), *Theodoxus danubialis* (Pfeifer), *T. transversalis* (Pfeifer), and *Viviparus acerosus* (Bourguignat).

Out of nine samples, presence of *Corbicula* specimens is confirmed in seven, with the total number of twelve *Corbicula* specimens.

The most abundant species in a sample from the borehole is Litoglyphus naticoides, followed by Microcolpia daudebartii acicularis, Holandriana holandrii, and Theodoxus danubialis (Figype 2).

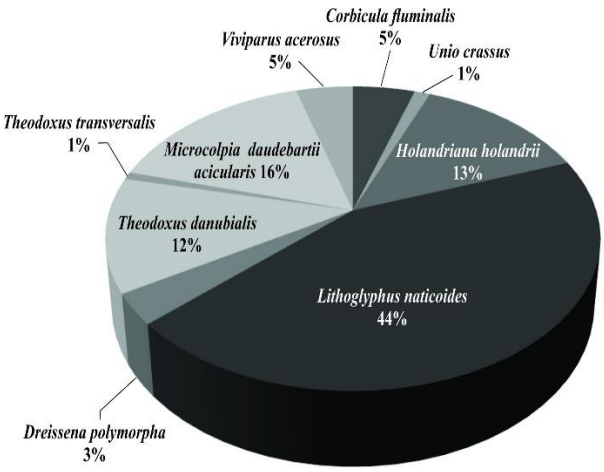


Fig. 2. Total percentage of specimens of *Corbicula* and associated species from borehole RB 53 P-1.

Most of the freshwater bivalve and gastropod species that are found in the investigated Quarternary sediments are also present in the recent ecosystems and therefore provides us with possibility to make comparative quantitative analysis.

Based on the palaeoecological characteristics of the present species, it can be inferred that the environment in which they lived was fluvial to lacustrine, moderate to occasionally fast-flowing, mostly with muddy, sandy and sometimes rocky riverbed. Some species, such as *Dreissena polymorpha*, also inhabit moving objects (boats, rafts and shells of other bivalves), but can also be found in underground channels and water pipes.

Although the Pleistocene *Corbicula* is not the dominant species in the studied segment of the area, it is undoubtedly of great biostratigraphic importance, and therefore it allows separation of lithologically almost identical Pleistocene and Holocene alluvial deposits in this area.

The dimensions of *Corbicula* shells diminish during Pleistocene, juvenile forms are wider and more rounded, connected to finer sediments (silts and clays), with small hydraulic energy, while the adult ones are more elongated and with thicker shells that define high energy of the habitat in which individuals grew (Gulyás et al., 2013).

Judging from analogy with recent *Corbicula*, this species lived in rivers in which summer temperatures varied between 22°C and 23°C, so it can be said that deposits with the Pleistocene *Corbicula* can be defined as climato-stratigraphical unit of warm fluvial phases (Gaudenyi et al., 2015).

CONCLUSION

Based on the data from borehole RB 53 / P-1, it can be concluded that in the Pleistocene deposits of the Sava riparian at Belgrade, known as the *Corbicula* beds, the dominant species is not *Corbicula fluminalis*, but *Lithoglyphus naticoides*. However, there is no doubt that the presence of *Corbicula fluminalis* has great biostratigraphic and palaeoclimatological significance.

Corbicula fluminalis is used in biostratigraphic research as characteristic, i.e. “index” fossil, for the age determination and correlation of the Pleistocene sediments. Also, deposits with Pleistocene *Corbicula* can be defined as climato-stratigraphical unit of warm fluvial phases.

Over the last few decades it has been established that clams of the genus *Corbicula* inhabit again the vicinity of Danube in northern Serbia and in the neighbouring countries (Paunović et.al, 2007, 2012; Nenadić et al., 2019). Because of its characteristics which enable a successful colonizing, and its rapid spread through the European rivers, the taxon acquired status of invasive species. Although the cause of their return is not yet clear enough, it is considered, among other factors, that anthropogenic factor played a major role in this.

Compared to Pleistocene *Corbicula*, recent *Corbicula* are significantly more numerous in alluvial deposits. As far as the measurements of fossil and recent representatives of the *Corbicula* specimens are concerned, fossil *Corbicula* is smaller in size than its recent representatives.

According to data documented by DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories Europe, 2009) they are one of the most invasive species in fresh waters of Europe, with a markedly negative impact on the existing river ecosystem and its biodiversity. Although the cause of their return is not yet clear enough, it is considered, among other factors, that anthropogenic factor played a major role in this.

Acknowledgments. This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technological

Development of the Republic of Serbia, project numbers 176015 and 177023. The authors are very thankful to the reviewer whose suggestion improved the paper.

REFERENCES

DAISIE (2009): Handbook of Alien Species in Europe. *Invading nature–Springer Series in invasion Ecology*, **3**, 1–381. Springer, Dordrecht.

Gaudenyi, T., Nenadić, D., Stejić, P., Jovanović, M., Bogićević, K. (2015): The stratigraphy of the Serbian *Corbicula* beds. *Quaternary International*, **357**, 4–21, https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.050.

Gulyas, S., Sumegi, P., Szaloki, Z., Nenadić, D. (2013): Assessing the morphological variability of the invasive thermophylous Asian clam (*Corbicula fluminalis* Muller 1774) from the Pleistocene fluvial deposits of the Carpathian basin using geometric morphometric techniques**.** *In:* Geiger, J., Pál-Molnár, E., Malvić, T. (Eds.), *Theories and applications in geomathematics*, Geolitera Publishers, Szeged, pp. 37–48.

Knežević, S., Nenadić, D., Radulović, B., Bogićević K., Zarić J. (2018): Stratigraphic characteristics of Quaternary deposits on the left bank of the Sava River near Belgrade. *Geološki anali Balkanskoga poluostrva*, **79** (1), 21–30.

Nenadić, D., Gaudenyi, T. (2013): *Stratigraphical position of Pleistocene fluvial polycyclic deposits of Serbia. Neogene and Quaternary stratigraphy, actual terminology and nomenclature*, Serbian Geological Society, 20th September, Belgrade, 44–47.

Nenadić D., Knežević S., Bogićević K., Radulović B. (2019): Stratigrafski i paleoekološki značaj školjaka roda *Corbicula* u kvartarnim naslagama Srbije. *2. Kongres geologa Bosne i Hercegovine, Zbornik radova 6, knjiga sažetaka, Laktaši 2-4. Oktobar*, 173–177.

Meijer, T., Preece, R. C. (2000): A review of the occurrence of *Corbicula* in the Pleistocene of North-West Europe. – Geologie en Mijnbouw, *Netherlands Journal of Geosciences* **79** (2/3): 241–255.

Morton, B. (1986): *Corbicula* in Asia – an updated synthesis. *American Malacological Bulletin*, Special Ed.: pp. 113–124.

Paunović, M., Csányi, B., Knežević, S., Simić, V., Nenadić, D., Jakovčev-Todorović, D., Stojanović, B., Cakić, P. (2007): Distribution of Asian clams *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) and *C. fluminalis* (Müller, 1774) in Serbia. Aquatic Invasion, **2** (2): 99–106.

Paunović, M., Tomović, J., Kovačević, S., Zorić, K., Žganec, K., Simić, V., Atanacković, A., Marković, V., Kračun, M., Hudina, S., Lajtner, J., Gottstein S., Lucić A. (2012): Macro-invertebrates of the Natural Substrate of the Sava River – Preliminary Results. Water Research and Management, **2** (4): 33–39.

1-OF-10
UDC: 551.73:552.582.08(497.733)

МИКРО И НАНОФОСИЛНА АСОЦИЈАЦИЈА ОД ПАЛЕОГЕНИТЕ СЕДИМЕНТИ ВО КОЧАНСКАТА КОТЛИНА, РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

Виолета Стојанова, Гоше Петров, Виолета Стефанова

Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип
Бул.. Крсте Мисирков 10-А, п. фах 210, 2000 Штип, Република Северна Македонија
violeta.stojanova@ugd.edu.mk

A b s t r a c t: Во овој труд се презентирани резултатите од микропалеонтолошкото истражувања на фораминиферна фауна и нанофосилна флора пронајдени во олигоценските седименти од дупчотините К-1, К-2, Р-5, Р-7 во Кочанската котлина. Колекцијата на фораминиферна фауна од палеогените седименти на дупчотините К-1, К-2, Р-5, Р-7 е претставена со 26 вида, кои се однесуваат на 23 родови, и нанофосилна флора претставена од 36 вида, кои се однесуваат на 20 родови.

Клучни зборови: фораминифери; нанофосили; палеоген; дупчотини; Кочанска котлина

MICRO AND NANOPHOSYLIC ASSOCIATION OF PALEOGENIC SEDIMENTS IN THE KOČANI VALLEY, REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA

A b s t r a c t: This paper presents the results of micropaleontological research of foraminiferal fauna and calcareous nannofossils found in the Oligocene sediments established in K-1, K-2, P-5, P-7 drill holes in the Kocani valley. The collection of foraminiferal fauna from the Paleogene sediments of the holes K-1, K-2, P-5, P-7 represented by 26 species belonging to 28 genera, and calcareous nannofossils represented by 36 species belonging to 20 genera.

Key words: foraminifera; nannofossils; Paleogene; drill holes; Kočani valley

ВОВЕД

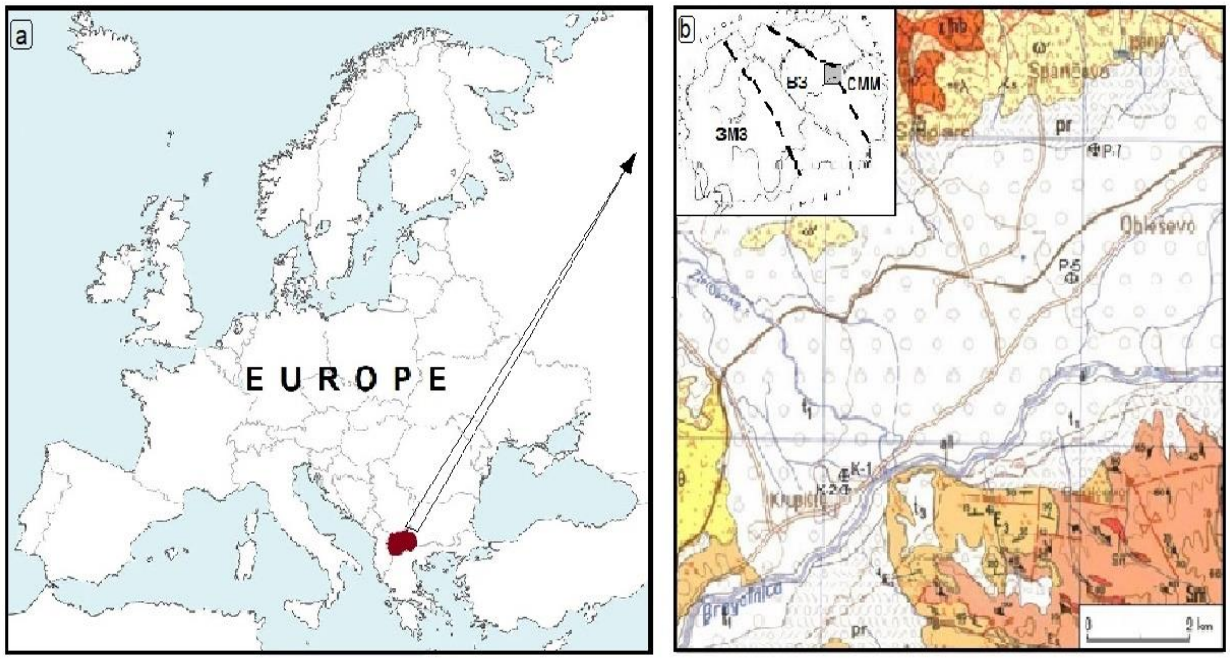
Кочанската котлина се наоѓа во источниот дел од Република Северна Македонија, односно во граничниот појас помеѓу две крупни геотектонски единици: Српско-Македонскиот масив и Вардарската зона, со генерална орјентација З-И. Кочанската котлина припаѓа на Овчеполскиот палеогенски басен со орјентација СЗ-ЈИ правец. Од структурен аспект Кочанската котлина претставува грабенска структура. Грабенот почнал да се создава во среден миоцен и како слатководен басен егзистирал до горен миоцен кога бил напрупан со пирокластичен материјал, вулкански бречи и изливи на лава. Во плиоцен езерската средина била повторно обновена во некои делови на грабенот се наталожени груби чакали и песоци.

Староста на палеогените седиментите (горен еоцен – долен олигоцен) во Овчеполскиот басен, како и нивната литологија, дебелина и просторни односи, беа дискутирани во повеќе трудови (Stojanova et al., 2012; Valchev et al., 2013, Stojanova, Petrov, 2014, 2016, 2018, 2019).

Истражувачкото дупчење е направено во периодот од 1980 до 1983 година во подрачјето на Кочанската котлина, со цел да се процени можноста за искористување на термалната вода на локалитетот Крупиште (Verbovšek et al., 1982, 1983). Со цел да се добијат нови сознанија за геолошката старост на палеогените седименти на Кочанската котлина добиени од дупчотините К-1, К-2, Р-5, Р-7, се направени микропалеонтолошки истражувања на фораминиферна фауна и нанофосилна флора.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДИ

Со микропалеонтолошко истражување на фораминиферната фауна и нанофосилната флора на палеогените седименти на Кочанската котлина се опфатени четири дупчотини К-1, К-2, Р-5, Р-7 (слика 1).



Сл. 1.а) Локација на Република Северна Македонија во Европа, **b)** Геолошка карта на Кочанската котлина
al – алувиум, t_1 – пониска речна тераса, *pr* – пролувиум, t_3 – стара речна тераса, *ω'* – андезитски бречи, *αhb* – хорнблендаугит-биотитски андезити *Θ* – андезитски туф, E_3^4 – горна зона на флишот: глинци и песочници, *Sn* – метаморфозирани кварцпорфири, *Sm* – микашисти и лептинолити, Θ -дупчотини

20 проби се анализирани и се добиени позитивни резултати за фораминиферна фауна и нанофосилна флора. Фораминиферни и нанофосилни анализи се направени во лабораторијата на Институтот за палеонтологија на Универзитетот во Љубљана.

ЛИТОСТРАТИГРАФИЈА НА ПАЛЕОГЕНИТЕ СЕДИМЕНТИ ВО КОЧАНСКАТА КОТЛИНА

Кочанската котлина се наоѓа во источниот дел од територијата на Македонија, и припаѓа на Овчеполскиот палеогенски басен кои главно распространение има во источната вардарска субзона (слика 1).

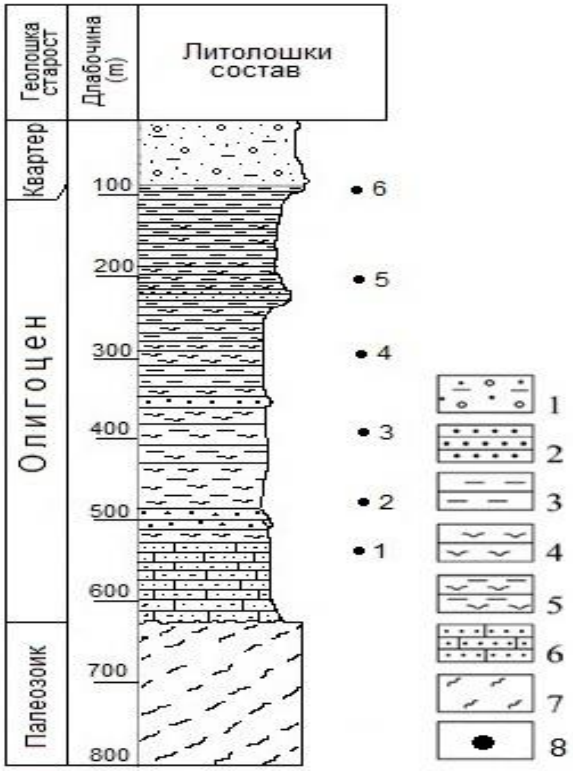
Во геолошката градба на Кочанската котлина учествуваат геолошки единици различни по старост, од најстари прекамбриски до најмлади плиоценско-квартерни седименти. Седиментната маса е малку откриена, но истата е пресечена со повеќе истражни дупчотини (најдлабока дупчотина до (1–100 m) на геотермална вода и истата литостратиграфски е добро проучена. Палеогените наслаги во Кочанската котлина лежат трансгресивно преку постарите формации од палеозоик, и се претставени со финозрнести седименти, лапорци и глини. Миоценската и плиоценската формација ја градат базата на неогените седименти, додека квартерните седименти се развиени по периферијата на грабенот и се претставени со алувијално-пролувијални тераси (слика 1).

Профил – дупчотина К-1

Дупчотините К-1 и К-2 се наоѓаат на приближно 900 m североисточно од селото Крупиште, околу 17 km североисточно од градот Штип (Rakičević, et al., 1976). Литолошкиот профил на дупчотината К-1 и дупчотината К-2 се слични. Профилот е претставен со квартерни седименти (интервал од 0 до 3 m), палеогени седименти (интервал од 83 до 630 m) и палеозојски кристални карпи (интервал од 630 до 793 m).

Квартерот е застапен со крупнозрнест чакал, песок и прашина од големи размери. Палеогенскиот седиментен комплекс е претставен од зеленикави глиновито-варовнички слоеви со алтерации на прослојки од песокливи и лапоровити глини со дебелина до неколку метри, додека палеозојските карпи се претставени од микашисти и гнајсеви (слика 2).

Од дупчотината К-1 (интервал од 83 до 547 m) се земени шест проби, а од дупчотината К-2 (интервал од 95 до 550 m) се земени пет проби, и се направени микропалеонтолошки испитувања на фораминиферна фауна и нанофосилна флора.



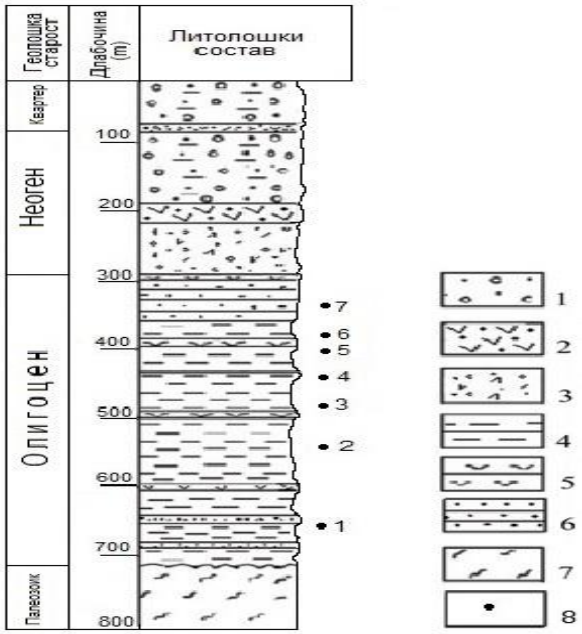
Сл. 2. Геолошки профил на дупчотината К-1
1) квартер, 2) песочници, 3) лапорци, 4) глинци, 5) глиновито-лапоровити седименти, 6) песокливи варовници, 7) гнајсеви, 8) проба

Профил - дупчотина Р-5

Дупчотината Р-5 е издупчена 2 km југозападно од селото Облешево (Rakičević, et al, 1976). Литолошкиот состав на дупчотината е направена врз основа на анализа на примероците кои се земени од јадрото на дупчотината и каротажните мерења. Профилот е претставен со квартерни седименти (интервал од 0 до 79 m), неогени седименти (интервал од 79 до 277 m) палеогени седименти (интервал од 277 до 710 m) и палеозојски карпи (интервал од 710 до 800 m).

Квартерот е претставен со неврзани глиновити-прашинести седименти (30 m длабочина). Во интервалот од 30 до 79 m, помеѓу глиновитите седименти се појавува во повеќе слоеви крупнозрнест чакал со песок, со дебелина до 7 m. Неогените седименти се застапени со глина, чакал и песок (во интервалот од 79 до 189 m), додека во интервал од 189 до 277 m се јавува кристалокластичен туф од биотитски трахит.

Палеогените седименти (интервалот од 277 до 349 m) се претставени со тенки слоеви на песочници, песочнички туф и гранит. Серија на лапорци се појавуваат на длабина од 349 до 674.5 m. Хомогената серија е претставена од лапорци, и во неа се појавуваат тенки, до неколку десетина сантиметри дебели слоеви на ситногранулиран песок. Слоевите од компактен песочник се добиени на длабочина од 665 до 696 m и 674.5 до 684 m. На длабина од 684 до 710 m се појавува темносива карбонатна глина со парчиња од слабозаоблен песочник. Границата помеѓу седиментите и метаморфната подлога е на длабина од 710 m. Длабинскиот интервал од 710 до 738 m е претставен со делумно изменет шкрилец (Verbovšek et al., 1981). Во профилот на дупчотината Р-5 е направено микропалеонтолошко опробување, се анализирани 7 проби, земени од карбонатен лапорец, на длабочина од 350 до 660 m (слика 3). Во пет примероци се пронајдени микрофосилни остатоци од фораминифера фауна, додека нанофосилната флора е добро сочувана и е добиена практично во сите јадра.



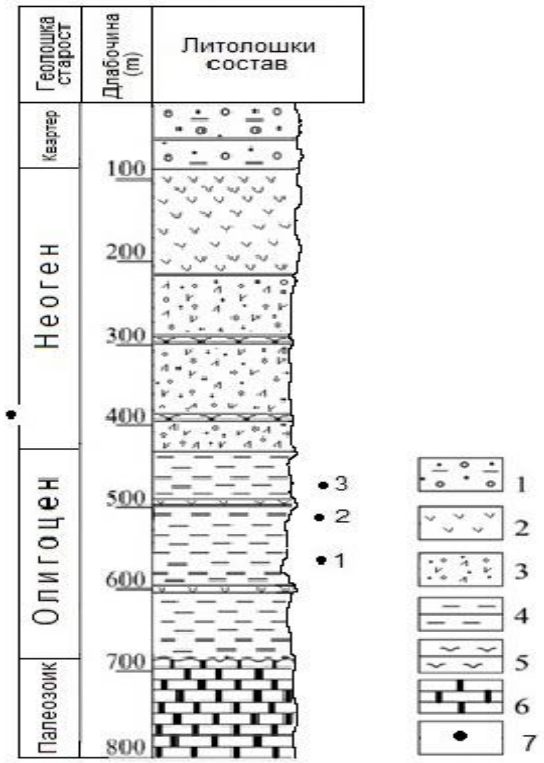
Сл. 3. Геолошки профил на дупчотината Р-5
1) квартер, 2) андезит, 3) туф, 4) лапорци, 5) глинци, 6) песочници, 7) гнајсеви, 8) проба

Профил – дупчотина Р-7

Дупчотината Р-7 е издупчена околу 1,5 km југоисточно од селото Спанчево. Литолошкиот профил на дупчотината Р-7 е претставен со квартерни седименти (интервал од 0 од 75 m), неогени седименти (интервал од 75 од 428 m), палеогени седименти (интервал од 428 од 675 m) и палеозојски карпи (интервал од 675 од 752.2 m). Квартерните седименти се претставени со неврзани седименти, составени од прашина, песок и

чакал. Неогените седименти се застапени со биотитски андезит (интервал 75 до 218 m), пирокластични седименти (218 – 428 m) со ретки прослојки на глина со дебелина од 1 до 5 m.

Кластичните седименти се претставени со темносиви услоени лапорци во интервал од 428 до 675 m. Во овој интервал се наоѓаат бројни интеркалации на варовнички бречи со лапоровито врзиво со дебелина до 6 m. На длабина од 675 m, е пресечена метаморфната подлога од серицитско-кварцен мермер а крајот на дупчотината е 752,2 m (Verbovšek, R., et al., 1983). На длабина од 475 до 580 m од лапоровите глини се земени 3 проби за микропалеонтолошка анализа (слика 4)



Сл. 4. Геолошки профил на дупчотината P-7
1) квартер, 2) андезити, 3) туфови, 4) лапорци, 5) глинци, 6) серицитско-кварцен мермер 7) проба

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Со микропалеонтолошко истражување се опфатени палеогените седименти од 4 дупчотини (K-1, K-2, P-5, P-7) во Кочанската котлина, при што се земени 21 проба и добиени позитивни резултати за фораминиферна фауна и нанофосилна флора.

Колекцијата на пронајдената и определена фораминиферна фауна од палеогените седименти на дупчотините K-1, K-2, P-5, P-7 е претставена со 26 вида кои се однесуваат на 23 родови.

Фораминиферната фауна е застапена од бентосни и планктонски фораминифери. Бентосната асоцијација е претставена од типот на аглутинирани, поцелановидни и хиалилни видови, кои се застапени во сите 4 дупчотини. Планктонската фораминифера е застапена само со еден вид. Фораминиферите се застапени со следните родови претставници: *Bathysiphon cf. taurinensis* Sacco, *Spiroplectammina carinata* (d'Orbigny), *Pyrgo sp.*, *Spiroloculina sp.*, *Quinqueloculina sp.*, *Glandulina laevigata* d'Orbigny, *Lenticulina cf. limbosa* (Reuss), *Lenticulina sp.*, *Marginulinopsis sp.*, *Almaena ex gr.osnabrugensis* (Roemer), *Sphaeroidina bulloides* d'Orbigny, *Bolivina sp.*, *Cibicidoides ungerianus* (d'Orbigny), *Melonis sp.*, *Melonis soldanii* (d'Orbigny), *Chiloostomella sp.*, *Anomalina affinis* (Hantken), *Anomalinoides granusosus* (Hantken), *Vaginulinopsis pseudodecortata* Hagn, *Glomospira charoides* (Parker et Jones), *Heterolepa dutemplei* (d'Orbigny), *Gyroidinoides sp.*, *Biloculina sp.*, *Planulina sp.*, *Uvigerina sp.*, *Globigerina sp.* (слика 5).

Species \ Section	K-1	K-2	P-5	P-7
Bathysiphon cf. taurinensis	●	●	●	
Spiroplectammina carinata	●	●	●	●
Pyrgo sp.	●	●	●	
Spiroloculina sp			●	
Quinqueloculina sp	●	●	●	
Glandulina laevigata	●	●	●	
Lenticulina cf. limbosa			●	
Lenticulina sp.	●	●		●
Marginulinopsis sp.				●
Almaena ex gr.osnabrugensis				●
Sphaeroidina bulloides	●	●	●	●
Bolivina sp.				●
Cibicidoides ungerianus	●	●	●	
Melonis soldanii	●			●
Melonis sp		●	●	
Chiloostomella sp.		●	●	
Anomalina affinis				●
Anomalinoides granusosus	●	●	●	●
Vaginulinopsis pseudodecortata		●	●	
Glomospira charoides	●		●	
Heterolepa dutemplei	●	●		●
Gyroidinoides sp.	●	●	●	●
Biloculina sp.			●	
Planulina sp.	●	●	●	
Uvigerina sp		●	●	●
Globigerina sp.	●	●	●	

Сл. 5. Распространетост на фораминиферни видови од палеогените седименти во Кочанската котлина

Како критериум за одредување на староста на слоевите е видот *Almaena ex gr.osnabrugensis* (Roemer) од бентосната фораминиферна асоцијација од палеогените седименти на профилот P-7. Овој вид има вертикално стратиграфско распространение од долен олигоцен до горен олигоцен. Пронајдената фораминиферна асоцијација во во седиментите на дупчотина P-7 (длабински

интервал 475 – 580 m) покажува на олигоценска геолошка старост на слоевите. Додека другите стратиграфски видови *Vaginulinopsis pseudodecortata* Hagn, *Anomalinoides granusosus* (Hantken), *Glomospira charoides* (Parker et Jones) пронајдени во седиментите на сите профили, се карактеристични за горните делови на горен еоцен и долен олигоцен.

Фораминиферната асоцијација од дупчотините P-7, P-5, K-1, K-2, во корелација со фораминиферната асоцијација од олигоценските слоеви во Словенија, се совпаѓа, и геолошката старост на седиментите од дупчотините P-7 (интервал 475 – 580 m), P-5 (интервал 452 – 593 m), K-1 (интервал 106 – 495 m), K-2 (интервал од 95 до 550 m) се потврдува како долен олигоцен.

Од нанофосилните истражувања на седиментите од дупчотините P-5 (интервал од 350 m до 660 m), P-7 (интервал 475 – 580 m), K-1 (интервал 106 – 495 m), K-2 (95 до 550 m), е пронајдена богата и разновидна нанофосилна асоцијација, претставена од добро сочувани примероци од 36 вида, кои се однесуваат на 20 родови. Нанофосилната асоцијација е застапена со следните родови претставници: *Cyclicardolithus floridanus* (Roth et Hay), *Cyclicargolithus abisectus* (Müller), *Dictyococcites bisectus* (Hay, Mohler et Wade), *Dictyococcites scrippsae* Bukry et Percival, *Lanthernithus minutus* Stradner, *Braarudosphaera bigelowi* (Gran et Braarud), *Ericsonia muiri* (Black), *Ericsonia subdisticha* (Roth et Hay), *Ericsonia eopelagica* (Bramlette et Riedel), *Cycloplacolithella formosa* (Kamptner), *Sphenolithus predistentus* Bramlette et Wilcoxon, *Sphenolithus distentus* Martini, *Sphenolithus moriformis* (Brönniman et Stradner), *Sphenolithus radians* Deflandre, *Pontosphaera multipora* (Kamtner), *Pontosphaera latelliptica* (Baldi-Beke), *Orthozygus aureus* (Stradner), *Reticulofenestra sp.*, *Reticulofenestra umbilica* (Levin), *Reticulofenestra abisecta* Müller, *Reticulofenestra bisecta* (Hay, Mohler et Wade), *Reticulofenestra lockeri* Müller, *Braarudosphaera bigelowi* (Graan et Braarud), *Micrantholithus articulatus* Bukry et Percival, *Coccolithus eopelagicus* (Bramlette et Riedal), *Coccolithus pelagicus* (Wallich), *Zygrablithus bijugatus* (Deflande), *Cribrosphaerella ehrenbergi* (Archangelsky), *Pontosphaera sp.*, *Helicopontosphaera compacta* (Bramlette et Wilcoxon), *Helicopontosphaera cf. seminulum* (Bramlette et Wilcoxon), *Helicopontosphaera obliqua* (Bramlette et Wilcoxon, *Helicopontosphaera euphratis* (Haq), *Helicopontosphaera truncata* (Bramlette et Wilcoxon), *Dictyococcites scrippsae* Bukry et Percival, *Cyclococcolithus formosus* Kamptner (слика 6).

Species \ Section	K-1	K-2	P-5	P-7
Cyclicargolithus floridanus	●	●	●	●
Cyclicargolithus abisectus	●	●		
Dictyococcites bisectus	●	●		
Lanthemithus minutus	●	●	●	
Braarudosphaera bigelowi	●	●	●	
Ericsonia muiri			●	
Cycloplacolithella formosa			●	
Sphenolithus predistentus	●	●		●
Sphenolithus radians	●	●		
Sphenolithus distentus	●	●		
Sphenolithus moriformis	●	●	●	●
Pontosphaera multipora			●	●
Pontosphaera latelliptica			●	
Orthozygus aureus			●	
Reticulofenestra umbilica	●	●	●	
Reticulofenestra sp.	●	●	●	
Reticulofenestra lockeri	●	●	●	●
Reticulofenestra abisecta			●	
Reticulofenestra bisecta			●	
Micrantholithus articulatus			●	
Ericsonia subdisticha	●	●		
Ericsonia eopelagica	●	●		
Coccolithus eopelagicus			●	
Coccolithus pelagicus	●	●	●	●
Zygrablithus bijugatus	●	●	●	●
Cribrosphaerella ehrenberg			●	
Pontosphaera sp.	●	●		
Helicopontosphaera compacta	●	●		●
Helicopontosphaera obliqua			●	
Helicopontosphaera euphratis			●	
Helicopontosphaera truncata			●	
Helicopontosphaera cf. seminulum				●
Dictyococcites scrippsae			●	
Cyclococcolithus formosus	●	●		

Сл. 6. Распространетост на нанофосилни видови од палеогените седименти во Кочанската котлина

Нанофосилни видови распространети во палеоген: *Cyclicargolithus abisectus* (Müller), *Helicopontosphaera obliqua* (Bramlette et Wilcoxon), *Reticulofenestra lockeri* Müller, *Sphenolithus distentus* Martini, *Sphenolithus predistentus* Bramlette et Wilcoxon, *Zygrablithus bijugatus* Deflandre, *Orthozygus aureus* (Stradner), *Micrantholithus articulatus* Bukry et Percival и др.

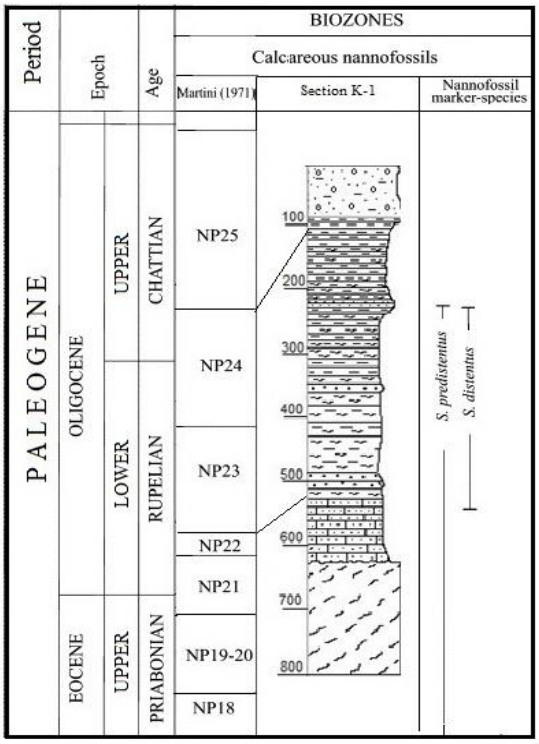
Транзитни видови на граница палеоген – неоген: *Braarudosphaera bigelowi* (Gran et Braarud), *Coccolithus pelagicus* (Wallich), *Cyclicargolithus floridanus* (Roth et Hay), *Reticulofenestra bisecta* (Hay, Mohler et Wade), *Helicopontosphaera euphratis* (Haq), *Sphenolithus moriformis* (Brönniman et Stradner), *Pontosphaera multipora* (Kamtner).

Присутните стратиграфски нанофосилни видови во опишаните профили на Кочанската

котлина можат да се класифицираат на: видови распространети само во палеоген, транзитни видови на граница палеоген – неоген (видови кои се појавуваат во палеоген и живеат подоцна и во неоген), видови кои живееле порано од палеоген. Стратиграфски се значајни видовите кои имаат распространение само во палеоген.

Видови кои живееле порано од палеоген: *Cribrosphaerella ehrenbergi* (Archangelsky).

Врз основа на резултатите од стратиграфското распространение на нанофосилната асоцијација со карактеристичните видови *Sphenolithus distentus* Martini и *Sphenolithus predistentus* Bramlette et Wilcoxon, седиментите припаѓаат на нанофосилната зона со стратиграфско опфаќање од NP23 - NP24 (Martini, 1971) од дупчотините К-1, К-2 и Р-7, а геолошката старост на палеогените седименти се потврдува како горен дел на долен олигоцен (слика 7).



Сл. 7. Нанофосилни зони (Martini, 1971) на палеогените седименти од дупчотина К-1

Присуството на одредени видови *Lanthernithus minutus* Stradner и *Braarudosphaera bigelowii* (Gran et Braarud) и отсуството на претставници на родот *Discoaster* Tan од пронајдената микрофосилна асоцијација во седиментите на дупчотините К-1, К-2, Р-5, укажува на сублиторална водена средина на седиментација на овој простор.

ЗАКЛУЧОК

Врз основа на асоцијацијата на фораминиферна фауна и нанофосилна флора пронајдена во седиментите од дупчотинате К-1, К-2, Р-5, Р-7 во Кочанската котлина, овозможи да се идентифицира една нанофосилна зона со стратиграфско опфаќање од NP23 - NP24 (Martini, 1971), а староста на палеогените седименти се одредени како долен олигоцен.

Микрофосилната асоцијација пронајдена во дупчотинате К-1, К-2, Р-5, Р-7 укажува на сублиторална водена средина на седиментација. После создавањето на овие седименти настанал прекин на седиментацијата, предизвикан најверојатно од интезивниот Алпскиот ороген циклус.

ЛИТЕРАТУРА

Думурџанов Н., и др., (2002): *Генеза на неогенско-квартерните депресии и нивни формациско-стратиграфски карактеристики на територијата на Македонија*. Рударско-геолошки факултет, Штип.

Martini, E. (1971): Standard Tertiary and Quaternary calcareous nanoplankton zonation. *Proceedings II Plankt. Conf., 2. Roma*, 739–785.

Rakičević, T., Dumurdžanov, N., Petkovski, P. (1976): Tolkuvač za Osnovna Geološka Karta na SFRJ. Scale 1:100 000. List Štip. Skopje, Geološki Zavod, 1–70.

Stojanova, V. (2008): *Evolution and Stratigraphy of the Paleogene in the Territory of the Republic of Macedonia*. PhD Thesis. Štip, 196 p. (in Macedonian).

Stojanova, V., Petrov, G., Stefanova, V. (2012): Biostratigraphy of the Ovče Pole Paleogene basin, R. Makedonija. *Geologica Macedonica*, 26, 2, 53–63.

Stojanova, V., Petrov, G. (2014): Biostratigraphic correlation of the Paleogene sections in the Ovče Pole Basin, Republic of Macedonia. In: *Proceedings of National Conference "GEOSCIENCES 2014". Sofia*, BGS, 67–68.

Stojanova, V., Petrov. G. (2016): Nannofossil assemblages from the Paleogene Nemanjici section, Republic of Macedonia. In: *Proceedings of National Conference "GEOSCIENCES 2016". Sofia*, BGS, 129–130.

Stojanova, V., Petrov, G. (2018): Paleogene nannofossil assemblages from the Krupište site in Kočani valley, Repubic of Macedonia. *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, **79**, 3, 101–102.

Stojanova, V., Petrov, G. (2019): Paleogene micro- and nanofossil assemblages from the Obleševo site in Kočani valley, Republic of North Macedonia. *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, **80**, 3, 131–132.

Valchev, B., Stojanova, V., Juranov, S. (2013): Paleogene hyaline benthic foraminifera (Lagenina and Rotalina) from the Republic of Macedonia. *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, **74**, 1–3, 81–110.

Verbovšek, R., Ravnik, D., Sadnikov, J. (1981): *Izveštaj o istražnim bušenju bušotina P-4 (G. Podlog) i P-5 (Obleševo)*. Ljubljana, Geološki Zavod, 35 p. (in Serbo-Croatian).

Verbovšek, R., Ravnik, D., Sadnikov, J. (1982): *Izveštaj o istražnim bušotinama P-7 (Spancevo) i P-8 (D. Podlog) I i II del)*. Ljubljana, Geološki Zavod, 40 p. (in Serbo-Croatian).

Verbovšek, R., Ravnik, D., Sadnikov, J. (1983): *Izveštaj o istražnim bušotinama K-1 i K-2/83 kod Krupišta (Štipsko). Ljubljana*, Geološki Zavod, 25 p. (in Serbo-Croatian).

2. ИНЖЕНЕРСКИ ДЕЛ

Инженерска геологија и геотехника

Применета геофизика

Урбана геологија

Хидрогеологија и геотермија

2-ID-01
UDC: 550.822(497.734)

ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА НА ЛОКАЛИТЕТОТ БАЛТАШНИЦА – САСА, МАКЕДОНСКА КАМЕНИЦА

Орце Петковски*, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски, Елена Ангелова, Наташа Неделковска

Геохидроконсалтинг ,
Ул. Манапо бр. 7 1000 Скопје, Р. С. Македонија,
orce.geohidro@gmail.com

А п с т р а к т: При изработката на Елаборати за детални геолошки истражувања и испитувања на метални минерални суровини сите истражувачи се придржуваат кон Правилникот за класификација и категоризација на резервите на цврсти минерални суровини и водење на евиденција за нив („Службен лист на СФРЈ“ бр. 53/79). Со тоа се дефинираат квалитативните и квантитативните карактеристики на истражуваните минерални суровини, а за комплетно дефинирање на физичко-механичките особини на сите застапени карпи потребно е да се изработи и инженерскогеолошки елаборат за истиот истражуван простор. Со инженерскогеолошкиот елаборат се утврдуваат состојбите на дисконтинуитетите и јакосните карактеристики на сите застапени карпи на доделениот концесиски простор (истражен простор). Во овој труд ќе се прикажат дел од извршените детални инженерскогеолошки истражувања и испитувања применети на локалитетот “Балташница – Саса”, општина Македонска Каменица.

Клучн зборови: метални минерални суровини, концесиски простор, дисконтинуитети, физичко-механички особини, резерви

ENGINEERING-GEOLOGICAL INVESTIGATIONS AND TESTS AT LOCALITY BALTAŠNICA – SASA, MAKEDONSKA KAMENICA

A b s t r a c t: During the preparation of Elaborates for detailed geological investigations and tests for metallic mineral resources all investigators follow the Rulebook on classification and categorization of reserves of solid mineral resources and keeping records for them („Official Gazette of SFRJ“ No.. 53/79). It defines the qualitative and quantitative properties of the investigated mineral resources, while for complete definitition of the physico-mechanical properties of all present rocks it is needed to prepare engineering-geological elaborate for the same investigated area. The engineering-geological elaborate determines the conditions of discontinuities and strength properties of all present rocks at the assigned concession area (investigation area). This paper presents part of the performed detailed engineering-geological investigations and tests for locality “Baltašnica – Sasa”, Municipality of Makedonska Kamenica.

Key words: metallic mineral resources, concession area, discontinuities, physico-mechanical properties, reserves

1. ВОВЕД

На локалитетот “Балташница – Саса”, општина Македонска Каменица извршено е детално инженерскогеолошко (ИГ) картирање на теренот, мерења со Шмитов чекан, а земени се монолитни парчиња на карпи за лабораториски испитувања од површината на теренот и од изваденото јадро од истражните дупнатини.

Основна цел за изработка на Инженерско-геолошкиот Елаборат е, врз основа на теренските истражувања и лабораториските испитувања да се дефинираат условите на теренот како природна средина, односно реално да се предвидат сите можни видови на интеракција помеѓу природната средина и идните рударски објекти. Исто така, задача е да се дефинираат составот, карактеристиките и состојбата на застапените материјали во склоп на теренот во природна состојба.

Во склоп на сите активности кои се преземени од страна на истражувачот за потребите да се потврдат геолошко-геотехничките услови пред почнување со експлоатација е и потребата од обезбедување на инженерско-геолошки подлоги. За таа цел извршени се инженерско-геолошки истражувања и испитувања на локалитетот “Балташница – Саса”, Македонска Каменица кои што се прикажани во изработениот Инженерско-геолошки елаборат.

Притоа анализирана е градбата на теренот од инженерско-геолошки аспект, со што се дефинирани основните параметри на застапените литолошки формации потребни за фазата на проектирање на идниот рудник за површинска или за подземна експлоатација.

2. ПРИМЕНЕТИ ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА

При изработка на овој Инженерско-геолошки Елаборат, сублимирани се податоците од сите досега изведени инженерско-геолошки истражувања и испитувања.

Со инженерско-геолошките истражувања и испитувања е започнато од 2016 – 2017 година, со изведување на повеќе теренски истражувања и лабораториски испитувања. Овие истражувања и испитувања се сконцентрирани на локалноста од истражниот простор "Балташница – Свиња Река – Сокол" и помеѓу паралелните профили 1050–1050' и 2650–2650' (ИГ карта дадена во Елаборатот). Инженерско-геолошките истражувања и испитувања спроведени во 2017–2018 год., се надополнети со изведба на: ИГ картирање на теренот со формирање на мерни места (М10 до М24), мерењата со Шмитов чекан, изведба на 13 ИГ истражни дупнатини, нивно фотографирање и ИГ картирање и земање на 48 примероци за лабораториски испитувања.

Со сите преземени теренски, лабораториски и канцелариски активности во периодот октомври – ноември 2018 е допринесено за дефинирање на однесувањето на застапените карпи по површината и во длабина пред преземање на инженерските активности во нив. Со ова е овозможено и издвојување на повеќе квази-хомогени зони, односно зони со слични вредности за одредени параметри, зони со сличен квалитет на карпеста маса, услови за ископ, заштита и сл.

На концесискиот простор за истражување главно се застапени цврсто сврзани каменити карпи од типот на: гнајсеви, кварц-графитични шкрилци и дацити од кои што се земени монолитни парчиња на карпи од површината на теренот и во длабина од јадрото на истражните дупнатини изведени во 2016 и 2017–2018 год. Од извршените лабораториски испитувања на примероците и добиените резултати од 2017 и 2018 год., може да се заклучи дека карпестиот масив се карактеризира со релативно широк дијапазон на физичко-механички параметри за различните типови на карпи. Исто така големо внимание е посветено на RQD квалитетот кој е различен за сите типови на карпи и наизменично се менува како во хоризонтала така и во вертикала.

Со изведените мерни места комплетно се дефинирани состојбите на дисконтинуитетите на застапените карпести маси кои се искористени како влезни податоци при пресметките на квалитетот на карпестата маса, според познатата формула на Palstrom (1982) кои се дадени во табела 1.

– *RQD* (%) – квалитет на карпа, пресметана според Palstrom (1982)
– $RQD = 115 - 3.3 \times Jv$
– *Jv* (j/m^3) – број на пукнатини на единица волумен.

Т а б е л а 1

Резултати од мерни места и анализа на степенот на испуканост

Литолошка единица	Мерно место и година на изведба	Густина GP_1 (j/m')	Густина GP_2 (j/m')	Густина GP_3 (j/m')	Усвоено J_V (j/m^3)	RQD (%)
Гнајс (Gbm)	М1 (2017 год.)	6	4	4	14	68,8
Гнајс (Gbm)	М2 (2017 год.)	4	3	3	10	82
Гнајс (Gbm)	М3 (2017 год.)	5	3	3	11	78,8
Кварц-графитичен шкрилец (Sgr)	М4 (2017 год.)	18	8	5	31	12,7
Кварц-графитичен шкрилец (Sgr)	М5 (2017 год.)	8	4	4	16	62,2
Гнајс (Gbm)	М6 (2017 год.)	5	3	3	11	78,8
Кварц-графитичен шкрилец (Sgr)	М10 (2018 год.)	7	5	5	17	58,9
Гнајс (Gbm)	М11 (2018 год.)	5	4	4	13	72,1
Дацити (xq)	М12 (2018 год.)	3	3	3	9	85,3
Гнајс (Gbm)	М17 (2018 год.)	7	3	3	13	72,1
Кварц-графитичен шкрилец (Sgr)	М24 (2018 год.)	15	3	6	24	35,8

Од презентираните резултати во табелата за испуканоста на карпите и добиените вредности за квалитетот на карпестата маса на основа на изведените мерни места може да се констатира дека мерните места M2 и M12 имаат највисоки вредности за RQD квалитетот од 82–85,3%, мерните места M1, M3, M5, M6, M11 и M17 од 62,2–78,8% и за M4 и M10 најмали вредности за RQD квалитетот од 12,7–58,9%. Ова прегледно може да се види на графичките прилози на картите на изолинии за степенот на испуканост, а дел од истата е даден на следната слика каде од посветлата кон потемната боја се зголемува вредноста за RQD.

Сл. 1. Исечок од картата на изолинии, каде од посветла кон потемна боја се зголемува RQD квалитетот

Во длабина пак исто така со картирањето на јадрото од изведените инженерскогеолошки дупнатини е одреден квалитетот на карпестата маса (RQD) кој е во директна зависност од степенот на испуканоста на карпата. Во оваа фаза на истражувањето анализирани се податоците добиени од изведените инженерско-геолошки дупнатини од 2016, 2017 и 2018 година, кај кои со картирањето на изваденото јадро од дупнатините е одреден RQD параметарот.

Од дадениот прилог за поединечните инженерскогеолошки профили и фотографии може да се забележи дека сите застапени карпи имаат променливи вредности во различни интервали и истите наизменично се сменуваат. Детално измерените вредности за RQD квалитетот се дадени на поединечните инженерскогеолошки профили, валидни за локацијата на дупнатината и пресекот со хоризонтот во длабина. Квалитетот на карпестата маса е многу значаен параметар за инженерскогеолошките и геотехничките класификации на карпите.

Од друга страна пак квалитетот на карпестата маса е директно поврзан со застапените пукнатински системи на масивот со кои што се овозможува добра проценка на условите на стабилност при изведба на рударските работи. Се напоменува дека и тектониката која се одвивала во минатото е мошне значајна како за појавата на орудувањата, така и за променливоста на квалитетот на карпестата маса за сите типови на карпи.

3. ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКА КЛАСИФИКАЦИЈА НА КАРПИТЕ

Генерално може да се забележи дека истражуваниот простор е изграден од средини кои се изградени од цврсто сврзани карпи кои на мали потези се препокриени со несврзани карпи (дробински материјал). Површински издвоените различни типови на карпи и сите забележани ИГ типови на карпи во длабина со изведбата на истражните дупнатини од 2016 , 2017 и 2018 год. од инженерскогеолошки аспект можат да се сврстат во групата на цврсто сврзани карпи.

Во групата на цврсто сврзани каменити карпести маси се сврстуваат следниве видови на карпи: гнајсеви, албит-епидот-хлоритски шкрилци, кварц-графитични шкрилци и дацити. Гнајсевите и дацитите според начинот на нивното појавување како масивни, доста цврсти и застапената блоковска системска испуканост се сврстуваат во групата на цврсто сврзани карпи и подгрупата на каменити карпи. Додека претставниците од типот на: албит-епидот-хлоритски шкрилци и кварц-графитични шкрилци во најголем дел можат да се третираат како каменити или пак

истите како полукаменити поради обликот на нивното појавување како тенколистести и добиените мали вредности за јакоста на притисок (σ_p < 50 MPa). Начинот на појавување на карпестите маси во вид на изданоци по површината на теренот и изведбата на мерни места и голем број на истражни дупнатини условува нивно комплетно дефинирање.

Исто така со земањето на доволен број на проби за лабораториски испитувања од сите типови на карпи се одредува нивното физичко-механичко однесување.

Во наредната табела 2 се дадени дијапазоните во кои се движат параметри за физичко-механичките карактеристики за карпите од типот на: гнајсеви, кварц-графитични шкрилци и дацити.

Т а б е л а 2

Резултати од испитувања на физичко-механичките карактеристики на карпите од 2017 г.

Литолошки состав	Дијапазони за физичко-механичките параметри					
	Индекс на точкасто оптоварување Js(50) (MPa)	Едноакс. јакост на притисок σp (MPa)	Јакост на затегање σz (MPa)	Волуменска тежина (γ) kN/m^3	Специфична тежина (γ_s) kN/m^3	Порозност *n* (%)
Биотитско-мусковитски гнајсеви	3,2 – 5,5	64,4 – 126,6	9,65 – 21,3	25,5 – 27,7	26,7 – 29,1	4,80
Карц графитични шкрилци	2,5 – 2,7	54,1 – 59,8	3,7 – 4,0	25,9 – 26,0	/	/
Дацити	3,3 – 3,4	72,4 – 150,0	4,9 – 13,2	25,3 – 26,6	27,8	/

Т а б е л а 3

Резултати од испитувања на физичко-механичките карактеристики на карпите од 2018 г.

Литолошки состав	Дијапазони за физичко-механичките параметри					
	Индекс на точкасто оптоварување Js(50) (MPa)	Едноакс. јакост на притисок σp (MPa)	Јакост на затегање σz (MPa)	Волум. тежина (γ) kN/m3	Спец. тежина (γs) kN/m3	Порозност n (%)
Биотитско мусковитски гнајсеви	1,7 – 6,7	37,6 – 147,8	2,6 – 13,2	26,1 – 28,0	27,0 – 27,4	1,06 – 4,74
Кварц графитични шкрилци (⊥)	2,5 – 5,5	54,1 – 125,5	3,7 – 8,2	26,6 – 27,6	27,8 – 28,6	3,46 – 4,24
Кварц графитични шкрилци (||)	0,25 – 2,1	5,5 – 46,8	0,4 – 3,2			
Дацити	1,6 – 9,7	35,2 – 213,8	2,4 – 22,7	26,0	27,6	3,01

Од претходните табели може да се види дека лабораториски испитаните вредности од 2017 и 2018 год. варираат во широки рамки кои што од една до друга зона се разликуваат и зависат од многу фактори, како на пример од промените во составот (присутност или отсутност на минерали, жили, пукнатини, алтерации), како и од користените коефициенти на корелација при емпириски пресметаните јакост на притисок и јакост на затегање од индексот на јакост.

За споредба на овие добиени резултати за јакоста на притисок направени се мерења на отскок со Шмитов чекан, каде средните вредности за отскок кај гнајсевите се движат од 36 – 44, кај дацитите од 35,0 – 51,6, додека за кварц-графитичните шкрилци и шкрилците (зелени шкрилци) се добиени помали средни вредности кои се движат од 25,7 до 37,5. Ако се елиминираат екстремните вредности може да се забележи дека за гнајс средните вредности на отскок се движат во опсегот од 30 до 35, потоа за дацит 35 – 40, додека за кварц-графитичните шкрилци и зелените шкрилци се од 20 до 25. Земајќи ја во предвид усвоената волуменска тежина за овие типови на карпи, од графиконот на слика 2 добиени се следните вредности за јакост на притисок преку опитот со Шмитов чекан:

– биотит-мусковитски гнајсеви:

σp = 65 – 80 MPa;

– кварц-графитични шкрилци:

σp = 40 – 50 MPa;

– дацити: σp = 70 – 90 MPa.

Врз база на релативно малиот фонд извршени лабораториски испитувања на примероците и со анализа на добиените резултати од испитувањата и мерењата на јакоста по пукнатини со Шмитов чекан, генерално за целиот истражуван простор може да ги усвоиме следниве вредности на физичко-механичките параметри за различните типови на карпи и тоа:

– гнајсеви:

σp = 65 – 120 MPa;

σz = 5,50 – 13,0 MPa;

γ = 25,5 – 28,0 kN/m^3;

γs = 26,7 – 29,0 kN/m^3;

n = 1,0 – 4,8 %;

– кварц-графитични шкрилци:

$\sigma p(\perp)$ = 55 – 80 MPa,

$\sigma p(||)$ = 25 – 40 MPa,

$\sigma z(\perp)$ = 4,0 – 7,0 MPa;

$\sigma z(||)$ = 2,0 – 3,0 MPa;

γ = 26,0 – 27,6 kN/m^3;

γs = 27,8 – 28,6 kN/m^3;

n = 3,46 – 4,24 %;

– дацити:

σp = 70 – 150 MPa;

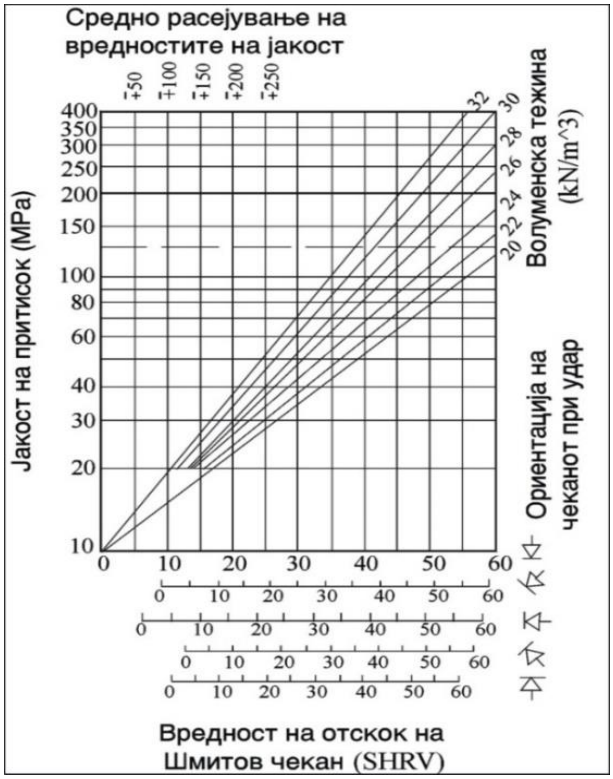
σz = 5,0 – 13,0 MPa;

γ = 26,0 kN/m^3;

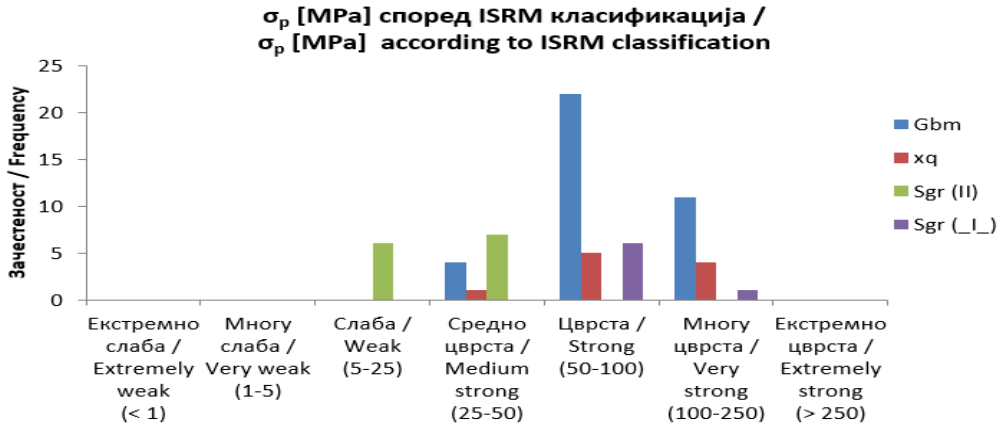
γs = 27,6 kN/m^3;

n = 3,0 %.

За добиените вредности за јакост на притисок за испитаните типови на карпи, направена е анализа на застапеноста на резултати според класификацијата за јакост на карпите предложена од ISRM (Меѓународно Друштво за Механика на Карпи). Ова е прикажано на следната слика и може да се констатира дека гнајсевите и дацитите се цврсти до многу цврсти карпи, додека кварц-графитичните шкрилци во зависност од правецот на оптоварување може да бидат од слаби до средно цврсти карпи за паралелно оптоварување и цврсти за нормално оптоварување.



Сл, 2, Графикон за корелација на SHRV и јакоста на притисок на карпата



Сл, 3. Класификација на карпи според ISRM

4. ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКО МОДЕЛИРАЊЕ ПО ПАРАМЕТРИ ПОТРЕБНИ ЗА ПРОЕКТИРАЊЕ

Врз основа на детално истражениот простор од инженерскогеолошки аспект може да се забележи дека наоѓалиштето за метални минерални суровини претежно е изградено од цврсто сврзани карпи. Тие се простираат по целата површина на истражуваниот простор со мали исклучоци на потези по површината со дробински материјал и незначителни димензии и влијание на површинската и подземната експлоатација. Скоро по целата површина и во длабина главно се распространети цврсто сврзани карпи и затоа кон нив е даден посебен осврт, а врз основа на нивните слични инженерскогеолошки и геотехнички карактеристики за различни литолошки единици се смета дека литологијата не би имала некое позначајно влијание при усвојувањето на инженерскогеолошките параметри. Единствено можеби со нешто послабите инженерскогеолошки особини се издвојуваат кварц-графитичните шкрилци, каде што се очекува дека ќе се потребни различни и помали количини на експлозив при минирањето во однос на останатите типови на карпи и посебен пристап и внимателност кон изведбата и заштитата во нив.

За инженерскогеолошкото моделирање како мошне значаен фактор се издвојува квалитетот на карпестата маса (RQD), кој што се разликува за различните типови на карпи. Во претходните поглавја посебен осврт е даден кон пресметката на квалитетот на карпата по површината и во длабина од каде може да се забележи дека тој е многу променлив (даден на графичките прилози и документационен материјал во елаборатот).

Проектирањето и издвојување на овие квазихомогени зони уште во оваа фаза на инженерскогеолошката истраженост на наоѓалиштето во голем дел го олеснува следниот процес и допринесува за поекономично и попрактично поставување на сите наредни фази на истражувањата и испитувањата кои следат. Исто така и за финалната фаза на експлоатација и површинското или подземното отварање на наоѓалиштето на одредените висински хоризонти на пресекот на микролокациите на дупнатините се претпоставува дека ќе се потврдат овие зони и притоа соодветно се преземат сите мерки на претпазливост посебно на деловите издвоени со помал квалитет на карпестата маса од 25%, како и во околината на раседните структури.

Инженерскогеолошкиот склоп на теренот и издвоените зони со различен RQD квалитет се мошне значајни и за двата можни типа на експлоатација и истите имаат одредени поволности и неповолности кои меѓусебно се поврзани. Овде пред се се мисли на квалитетот на карпестата маса и можната примена на методот на ископ и преземањето на мерки за заштита кои што вообичаено во практиката се спротивни (кај карпите со послаби карактеристики се применува поволна послаба метода на ископ со помала количина на експлозив и сл, но овде е потребна поголема заштита).

Врз основа на резултатите за RQD квалитетот на изваденото јадро од дупнатините направено е зонирање и пресметка на рејтингот на карпестата маса според Bieniawski (1989). Овие добиени вредности за RMR и RQD се прикажани на поединечните инженерскогеолошки профили од истражни дупнатини: Б-2, Б-3, Б-11 и Б-12.

Класификацијата на застапените карпести маси според Bieniawski 1989 е прикажана на карактеристичните инженерскогеолошки профили 1350 и 1650 (прилог бр. 4 во Елаборатот), каде според добиениот рејтинг се издвоени три квазихомогени зони и тоа: зона IV за RMR=20-41, зона III за RMR=41-60 и зона II за RMR=61-80). Приказ на дел од ИГ профил 1350 е даден на сликата 4.

Овие зони се издвоени како најзначајни за проектирањето на идниот подземен рудник и кај истите се преземат исти или слични методи на ископ и заштита. Притоа во предвид се земени и пукнатините кои што се застапени на единица волумен во карпестиот масив и нивниот тип и карактер. Овие издвоени зони во наредните подглавја на елаборатот се искористени за пресметка на можен начин на подграда при идна подземна експлоатација.

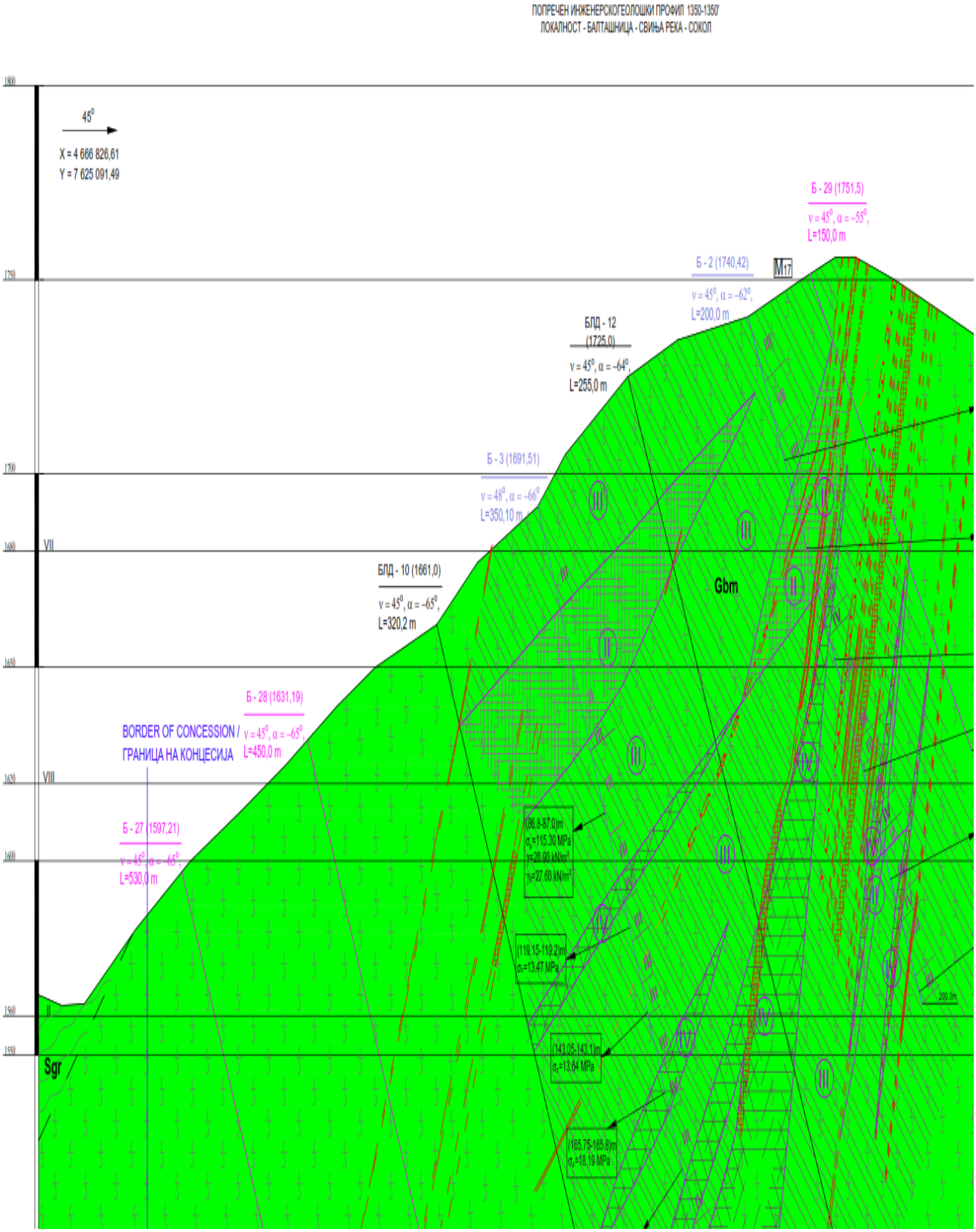
Ако се земе во предвид дека на еден поголем простор со изведбата на истражните дупнатини, значајни количини и тип на орудувања се забележани од површината на теренот и на длабини од околу 40,0 m, ние во понатамошните поглавја даваме осврт кон примената на површинска експлоатација.

5, ВЛИЈАНИЕ НА ДИСКОНТИНУИТЕТИТЕ ВРЗ ТЕХНОЛОГИЈАТА НА ПРОЕКТИРАЊЕ

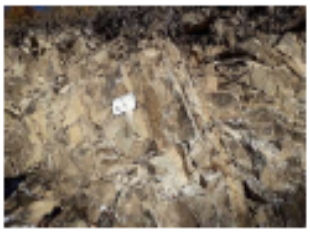
Многу е важно овде да се нагласи дека од инженерскогеолошки и геотехнички аспект за стабилноста на идниот површински коп (повеќе етажи во длабина) во средини изградени од цврсто сврзани и каменити карпи голема улога ќе имаат измерените системи на пукнатини (Документационен материјал, образец за инженерскогеолошко картирање) (слика 5).

Дел од изгледот на образецот од инженерско-геолошкото картирање прикажан во елаборатот е даден на сликата 5. Овие податоци за дисконтинуитетите се мошне значајни за сите понатамошни анализи на стабилност, а самиот објект е комплексен од инженерска гледна точка

затоа што експлоатацијата се предвидува да се одвива на комбиниран начин со површински и подземен ископ. Овде посебно внимание обраќаме кон површинскиот тип на експлоатација и влијанието на дискунтиуитетите за стабилноста на косините.



Сл. 4. Издвоени квазихомогени зони (IV, III и II) кај ИГ профил 1350–1350’

	ОБРАЗЕЦ ЗА ИГ КАРТИРАЊЕ / FORM FOR EG MAPPING				ГЖК-ГЕ-ЗП-01 Ревизија/Revizion 3 датум/date 01/2017 страна/page 1
Назив на објектот / Name of the project: САСА М. Каменица / SASA M. Kamenica	Местоположба точка бр./Location point no._____			Број на фотографија/no.of photography: DSC 094606	
	Број на мерно место/Number of geomechanical station: M13				
	Координати/Coordinates: X 4 666 318 Y 7 626 024				
Дацити: масивни со карактеристични субвертикални столпчести системски пукнатини и нормални на нив орентирани кон ЈЗ правец, поблаги системски и ретки поединечни пукнатини. / **Dacite:** massive with characteristic sub-vertical rectangular joint sets and perpendicular to them oriented towards SW direction, more gentle joint sets and rare single fractures.					
Проценка на ризик по основ на животна средина / Risk assessment on the basis of the environment:					
Елементи на пад / Dip elements: азимут и паден агол/azimuth and dip angle	ЕП $_1$ = 77/72	ЕП $_2$ = 355/60	ЕП $_3$ = 317/42	ЕП = _____	ЕП = _____
Број на пукнатини / No. of fractures (на/at m')	4	3	4		
Должина на пукнатини / Length of fractures (m)	5	3	3		
Отвор на пукнатините / Opening of fractures (mm)	mm отвори / mm openings	стиснати / squeezed	1-2 mm отвори / 1-2 mm openings		
Заполнител на пукнатините / Filling of fractures	без / without	без / without	без / without		
Видливост и вид на површина на пукнатини / Visibility and type of surfaceof fractures	еден крај видлив / one end visible	еден крај видлив / one end visible	еден крај видлив / one end visible		
1.Скалеста / Scales 2. Брановидна / Wavy 3. Рамна / Flat	3	3	3		
Шмитов чекан / Schmitt's a hammer		35	32		
		26	52		
		39	53		
		33	48		
		36	33		
		37	44		

Сл, 5. Исечок од образец за ИГ картирање кај мерно место М13

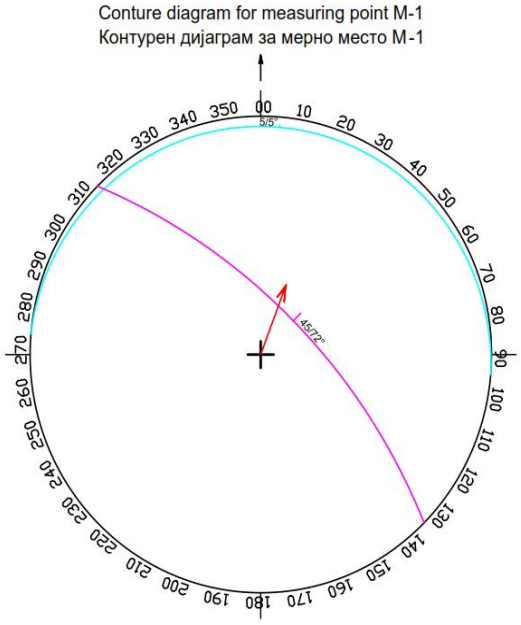
За површинската експлоатација на наоѓалиштето се извршени прелиминарни анализи на стабилност (за прогнозно дадени наклони на косини) кои според својата суштина припаѓаат на методи на анализа на дисконтинуална средина и методите на гранична рамнотежа. Притоа во зависност од специфичностите на градбата на одделните делови од теренот и од орентацијата на

ИГ профили за двата типа на метаморфни карпи (гнајсеви и кварц-графитични шкрилци) применет е методот на анализа на системските пукнатини по фолијацијата на местата каде што постои можност за појава на нестабилност во вид на планарни рамнини, анализирани со програмот Roc Plane.

Во анализата се употребени податоци за ориентацијата на главниот структурен елемент – фолијацијата врз основа на изведените мерни места и добиените резултати од лабораториските испитувања на конкретната локација, а изводи од добиените резултати се прикажани во документациониот материјал од елаборатот (Анализи на стабилност).

Со програмот Roc Plane за карпите од типот на гнајсеви и кварц-графитични шкрилци ги анализиравме попречните инженерско-геолошки профили во правец од десно кон лево или од лево кон десно во зависност од тоа дали на тој дел фолијацијата има неповолен пад во однос на прогнозно проектираната косина на површинскиот коп. Притоа на дадените инженерско-геолошките профили прогнозно се предвидени косини со кои што се опфатени оруднувањата, а анализи се направени за длабини максимум. до 10,0 m и наклони на косините под агол од 72°, односно наклон 3v:1h. Во овие анализи се земани вредностите на утврдените привидни падови во однос на профилите на основа на измерениот паден агол за ЕПф од изведените мерни места. Овде даваме пример на анализа кај профил 1050, каде што е изведено мерно место М1 и неповолната ориентација на фолијацијата на гнајсевите во правец од лево кон десно во однос на дадената косина на етажата. Според измерените ЕП на фолијацијата со изведеното мерно место М1 прикажани на ИГ карта може да се види дека гнајсевите на попречниот профил 1050 паѓаат под агол од 5° од лево кон десно. Со направената поправка на падниот агол е утврден привиден пад на агол од 3° кој е неповолен за левата страна на косината. Притоа добиените резултати за факторот на сигурност (F_s) со помош на програмот Roc Plane се дадени на сликата 6.

На сликата 6 е прикажан и контурниот дијаграм кај мерно место М1 со сина боја трасата на фолијациската пукнатина, а со розова боја трасата на косината и со црвена стрелка неповолниот правец на пукнатината кон прогнозната косината. Да напоменеме дека овие фактори на сигурност важат единствено на микролокациите за мерните места и за прогнозно усвоените правци и наклони на косината за приповршинскиот дел на теренот. Со напредување на етажите во длабина слични анализи можат да се применат кај усвоените правци и наклони на косини за сите типови на карпи и за конкретно издвоени микролокации каде што ќе има услови за изведба на мерни места.



Dip elements of fracturing at profile 1 050 / Елементи на пад на фолијацијата на профил бр. 1050			
Azimuth of prognose inclination of the slope / Азимут на прогнозен наклон на косина	45 / 72°	Unit weight / Волуменска тежина ([t/m³])	Geological strength index (GSI) / Геолошки индекс на јакост (GSI)
Dip elements of foliation / Елементи на пад на фолијација	5 / 5°	2.70	35
Determined apparent dip in relation to the profile / Утврден привиден пад во однос на профилот	3°		
Slope of bench- slope face / Наклон на берма - косина	3 : 1		
Height of bench-slope face / Висина на берма	10.0m		
Factor of safety / Фактор на сигурност		Dry contition / F_s за сува состојба	F_s= 20.99
		Fractures filled with water 30% / F_s за заполнетост со вода 30%	F_s= 20.74
		Fractures filled with water 50% / F_s за заполнетост со вода 50%	F_s= 20.29
		Seismic conditions & no water in fractures / F_s за сеизмичко дејство 0,15 и без вода	F_s= 5.40
		Seismic conditions and water in fractures 30% / F_s за сеизмичко дејство 0,15 и присуство на вода 30%	F_s= 5.34
		Seismic conditions and water in fractures 50% / F_s за сеизмичко дејство 0,15 и присуство на вода 50%	F_s= 5.22

Сл. 6. Анализа за можноста за формирање на рамнински лом

6. ЗАКЛУЧОК

Со изработениот инженерско-геолошки елаборат за наоѓалиштето за метални минерални суровини „Балташница – Саса“ се добиени многубројни податоци за физичко-механичките параметри на карпите кои можат да најдат широка примена во рударството и градежништвото со понатамошниот развој на наоѓалиштето.

Според основната инженерско-геолошка класификација на карпите застапените типови на карпи се сврстени во групата на цврсто сврзани каменити карпи.

Со анализа на добиените резултати од испитувањата и мерењата на јакоста по пукнатини со Шмитов чекан, генерално за целиот истражуван простор може да ги усвоиме следниве вредности на физичко-механичките параметри за различните типови на карпи и тоа:

Гнајсеви: σ_p = 65 – 120 MPa;
σ_z = 5,50 – 13,0 MPa;
γ = 25,5 – 28,0 kN/m^3;
γ_s = 26,7 – 29,0 kN/m^3;
n = 1,0 – 4,8 %;

Кварц-графитични шкрилци:
$\sigma p(\perp)$ = 55 – 80 Mpa;
$\sigma p(\|)$ = 25 – 40 Mpa;
$\sigma z(\perp)$ = 4.0 – 7,0 MPa;
$\sigma z(\|)$ = 2,0 – 3,0 MPa;
γ = 26,0 – 27,6 kN/m^3;
γ_s = 27,8 – 28,6 kN/m^3;
n = 3,46 – 4,24 %;

Дацити: σ_p = 70 – 150 MPa;
σ_z = 5,0 – 13,0 MPa;
γ = 26,0 kN/m^3;
γ_s = 27,6 kN/m^3;
n = 3.0 %.

На карактеристичните инженерско-геолошки профили 1350 и 1650 врз основа на повеќе параметри се издвоени квазихомогени зони, односно зони со исти класи на карпи според Bieniawski (1989).

За дел од попречните инженерскогеолошки профили кои поминуваат низ метаморфни карпи од типот на гнајсеви и кварц-графитични шкрилци во кои што постои можност за создавање на планарен лом извршена е процена за можноста за формирање на рамнински лом со помош на програмот Roc Plane. При тоа се анализирани проценетите потенцијални места и страни со услови за појава на овој тип на нестабилност при површинска експлоатација и прогнозен начин на поставување на етажите (нормално на ИГ профили). Сепак за да можат со етажите на површинскиот коп да се опфатат голем дел од оруднувањата (наклони на косини и тип на експлоатација се предвидува од страна на проектантот на главниот рударски проект).

За користење на овие анализи и примена на анализи со слични софтверски пакети од програмот Rocscience многу се значајни мерењата со геолошки компас и формираните мерните места. Секако притоа е потребно истите да се спроведат за дефинирани правци и наклони на косини за различни типови на објекти.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Боев, Б., Стојанов, Р.: *Петрографија,* Рударско-Геолошки Факултет, Штип, 1994 г;

[2] Думурџанов, Н. , Петров, Г.: *Геолошко Картирање,* Штип, 2005 г;

[3] Ивановски, Л. (2018). *Хидрогеолошки карактеристики на полиметаличното наоѓалиште „Луке“ Крива Паланка*, Магистерски труд, ФПТН Универзитет Гоце Делчев Штип;

[4] Јовановски, М., Гапковски, Н., Пешевски, И., Аболмасов, Б. (2012). *Инженерска геологија,* Градежен факултет Скопје;

[5] Петковски, О. (2017). *Извештај за геомеханичките својства на карпите на локалитетот “САСА”*, општина М. Каменица, Геохидроконсалтинг ДООЕЛ Скопје;

[6] Серафимовски, Т., Александров, М. (1995). *Наоѓалишта и појави на олово и цинк во Република Македонија*. Рударско-Геолошки факултет, Штип;

[7] Серафимовски, Т., Јеленковиќ, Р. (1997). *Наоѓалишта на метални минерални суровини*. Рударско-геолошки факултет Штип;

[8] Серафимовски, Т., Александров, М., Петров, Г., Ѓоргиев, Л. *Геолошка карта на концесијата “САСА”,* Балташница 1:1000, М. Каменица;

[9] Серафимовски, Т., Александров, М., Петров, Г., Ѓоргиев, Л. *Попречни геолошкипрофили на концесијата “САСА”, Балташница 1:2500*, М. Каменица;

[10] Христов, С., Карајовановиќ, М., Јанчевски, Ј., Иванова, В. (1976) *Толкувач за ОГК 1:100 000 лист Кратово и Ќустендил*. Сојузен Геолошки Завод, Белград;

[11] Министерство за Економија на Р. М. (2007). *Правилник за содржина на геолошка документација за вршење на детални геолошки истражувања*. („Службен весник на РМ“ бр. 24/07), Скопје.

2-ID-02
UDC: 550.822:553.04/.07(497.7)

ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ И ГЕОТЕХНИЧКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА ВО ФУНКЦИЈА НА РУДАРСТВОТО ВО МАКЕДОНИЈА

Игор Пешевски[1], Јован Папиќ[1], Бојана Неделковска[2], Тамара Јовановска[3], Марија Манева[4], Сеад Абази[1]

[1]Градежен факултет – Скопје, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје,
[2]Геодизајн Инженеринг – Скопје
[3]Страбаг- АГ, Подружница – Скопје
[4]АД ЕСМ, Пордужница РЕК Битола
pesevski@gf.ukim.edu.mk

А п с т р а к т: Инженерско-геолошките и геотехничките истражувања и испитувања се сметаат за едни од најзначајните аспекти при планирањето, отварањето, експлоатацијата и затворањето на рударските капацитети. Во овој контекст, согласно на постојната законска регулатива во Македонија, компаниите кои вршат истражувања или експлоатација на минерални суровини се обврзани да вршат соодветен обем и на ваков тип на испитувања за различни цели. Во трудот се презентирани одредени сознанија од бројни истражувања и испитувања на инженерско-геолошките и геотехничките карактеристики на карпестите маси во поголем број на наоѓалишта и рудници за метални и неметални суровини во Македонија во последните неколку години, прикажани се воспоставени корелации помеѓу одредени геотехнички карактеристики на карпестите маси, и дадени се одредени искуства од фазите на геотехнички мониторинг и контрола

Клучни зборови: инженерскогеолошки и геотехнички својства; наоѓалишта; корелации; искуства

ENGINEERING-GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS IN FUNCTION OF MINING IN MACEDONIA

A b s t r a c t: Engineering-geological and geotechnical investigations and tests are considered to be one of the most important aspects in the planning, opening, exploitation and closure of mining facilities. In this context, in accordance with the existing legislation in Macedonia, companies that conduct investigations or exploitation of mineral resources are obliged to perform an appropriate scope of this type of investigations for different purposes. In the paper are presented certain findings from numerous investigations and tests of engineering-geological and geotechnical characteristics of rock masses in a number of deposits and mines for metallic and non-metallic raw materials in Macedonia in the last few years, established correlations between certain geotechnical characteristics of rocks masses, as well as certain experiences from the phases of geotechnical monitoring and control of materials.

Key words: engineering-geological and geotechnical properties; deposits; correlations; experiences

1. ВОВЕД

Инженерскогеолошката и геотехничката карактеризација на карпестите маси во рудниците и каменоломите претставува многу важен сегмент во целокупното нивно работење. Од овие својства на карпите зависат многубројни услови на работа, како на пример: стабилноста на површински или подземни ископи, носивоста на теренот, ефикасноста на методот на откопување и примарната преработка на суровината, транспортот, аспектите на безбедност и здравје при работа, итн. Кај неметаличните минерални суровини кои се користат за градежни цели, геотехничките својства се од првостепено значење и од нив е условено за кои цели може да се применува суровината. Не навлегувајќи во многу детали, во трудот се презентирани искуствата, резултати и корелации од инженерскогеолошки и геотехнички истражувања, испитувања и набљудувања за повеќе активни рудници во Македонија, како и наоѓалишта во фаза на истражување.

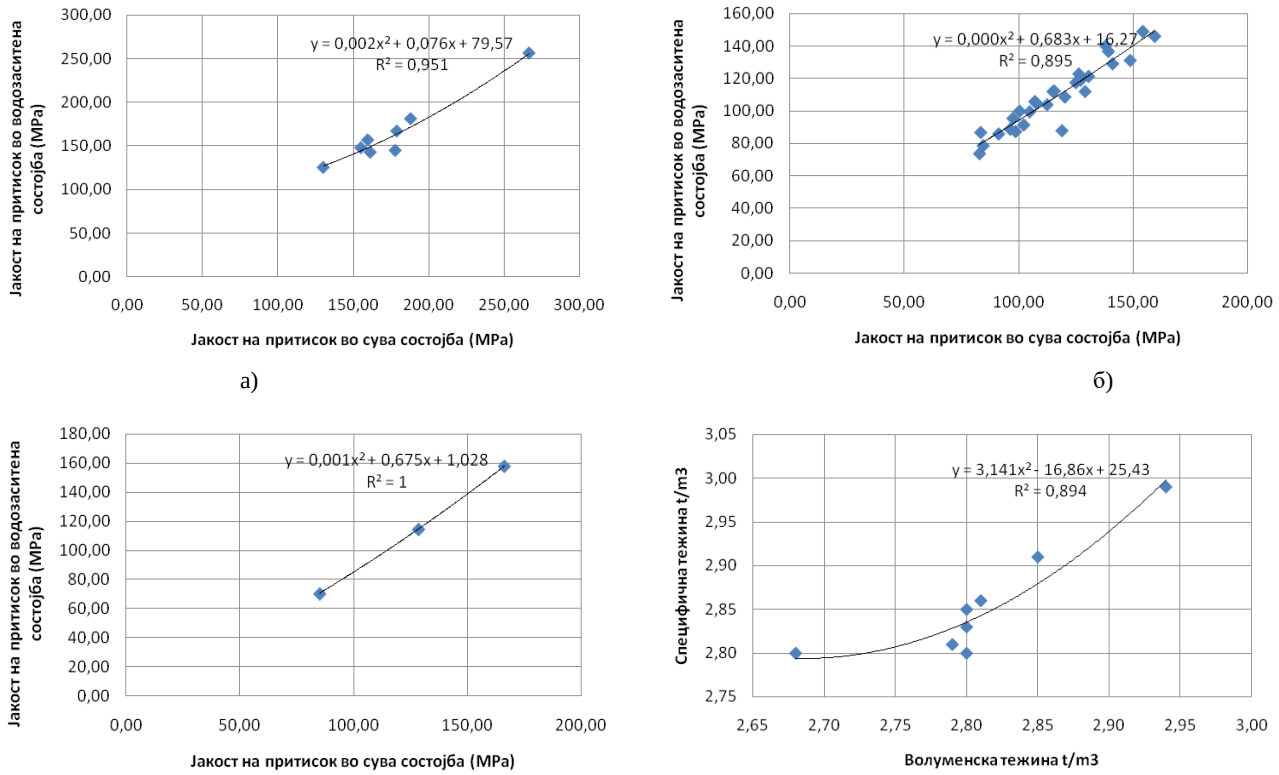
2. ИСКУСТВА И РЕЗУЛТАТИ ОД ИНЖЕНЕРСКОГЕОЛОШКИ И ГЕОТЕХНИЧКИ ИСПИТУВАЊА ВО ФУНКЦИЈА НА РУДАРСТВОТО ВО МАКЕДОНИЈА

Во продолжение се дава краток осврт на реализирани истражувања и испитувања, научни анализи и сознанија кои се добиени за целите на геотехничка карактеризација на наоѓалишта на

минерални суровини, активни рудници, одлагалишта и околната работната средина (инфраструктурни објекти, пристапни патишта, системи за транспорт на руда), каде учествувале авторите на трудот. Најголемиот дел од истражувањата и испитувања се реализирани во рамки на Катедрата за геотехника при Градежниот факултет во Скопје за потребите на истражување на поголем број на наоѓалишта од различни генетски групи.

2.1. Инженерскогеолошки истражувања за неметални минерални суровини (градежно технички камен)

Авторите на трудот учествувале во изработка или ревизија на инженерскогеолошка документација за целите на карактеризација на карпите во активни каменоломи низ државата. Документацијата е изготвувана пред сè за целите на изработка на елаборати на прекатегоризација на рудни резерви. Може да се констатира дека изведениот обем на испитувања треба да биде доста поголем во однос на реализираниот. Имено, во склоп на контролните испитувања на материјалите, концесионерите секоја година ги одредуваат нивните физичко-механички ка (за целите на утврдување на квалитетот за користење како суровина за добивање на агрегат за асфалт и бетон, филер итн.), најчесто без посочување на местото на земање на пробите за самите испитувања. Од друга страна, обемот на инженерскогеолошки истражувања и испитувања за целите на дефинирање на условите на стабилноста на коповите се сведува на минимум. Генерален заклучок е дека за утврдување на параметрите на јакоста на смолкнување и одредување на состојбата на испуканоста (од аспект на стабилноста на етажните и завршни косини) на карпестите маси треба да се посвети повеќе внимание, а преку реализација на теренски и лабораториски опити, додека на одредени локалитети треба да се реализира и геотехнички мониторинг со инклинометри. На слика 1 се презентирани воспоставени корелациони зависности помеѓу основни физичко-механички карактеристики на карпите, како пример за можен начин на искористување на резултатите за појасна геотехничка класификација и категоризација на карпестите маси во каменоломите.

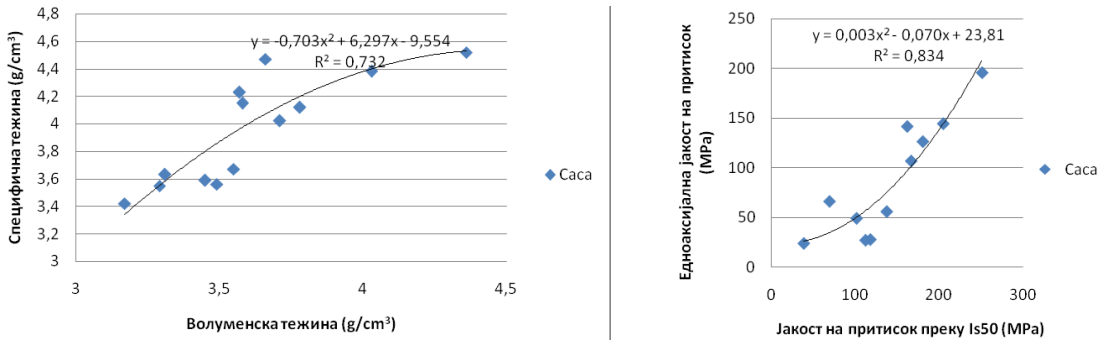


Сл. 1. Корелациони зависности на физичко-механички параметри кај градежно-технички камен.
а) базични магматски карпи, б) мермери и варовници, в) метаморфни карпи, г) базични магматски карпи (Ефнушев, 2017)

2.2. Инженерскогеолошки истражувања за метални минерални суровини

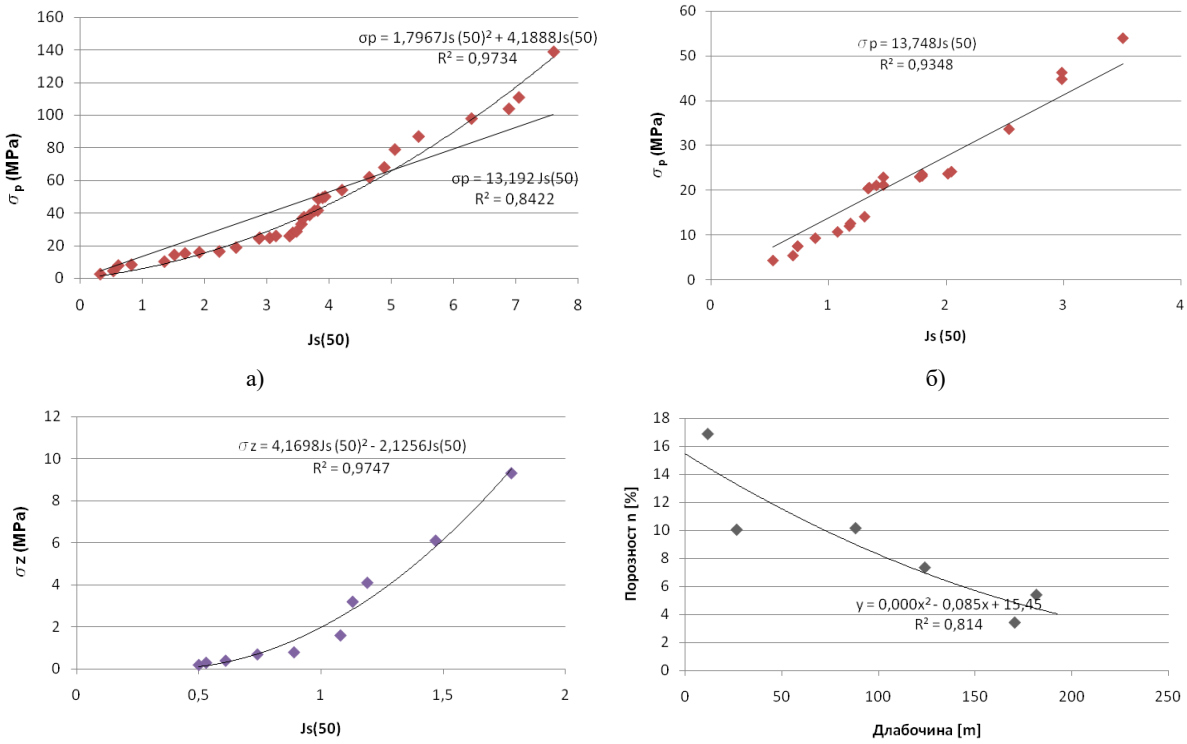
Како составен дел во рамки на геолошки истражувања и доистражувања на повеќе локалитети на метални минерални суровини се прибрани голем број на податоци за физичко-механичките својства на карпестите маси. Достапни се податоци од наоѓалиштата Иловица, Плавица, Казандол, Кадиица, Боров дол, Бучим.

Главна констатација во поглед на обемот на инженерскогеолошките истражувања и испитувања е дека на нив во одредени случаеви се посветува многу помало внимание од потребното. Ова се однесува како на основните физичко-механички особини (на пр., специфична и волуменска тежина), така и на јакосно-деформабилните параметри. Со формирање на неколку бази на податоци, сите достапни податоци се систематизирани и генерирани се одреден број на зависности (слики 2, 3, 4)..



а) б)

Сл. 2. Корелациони зависности на физичко-механички параметри кај наоѓалиште Саса, а) корелација на волуменска, и специфична тежина, б) корелација помегу јакост на притисок преку индекс на јакост и стандарден опит на едноаксијална јакост (Јовановски и др., 2017)

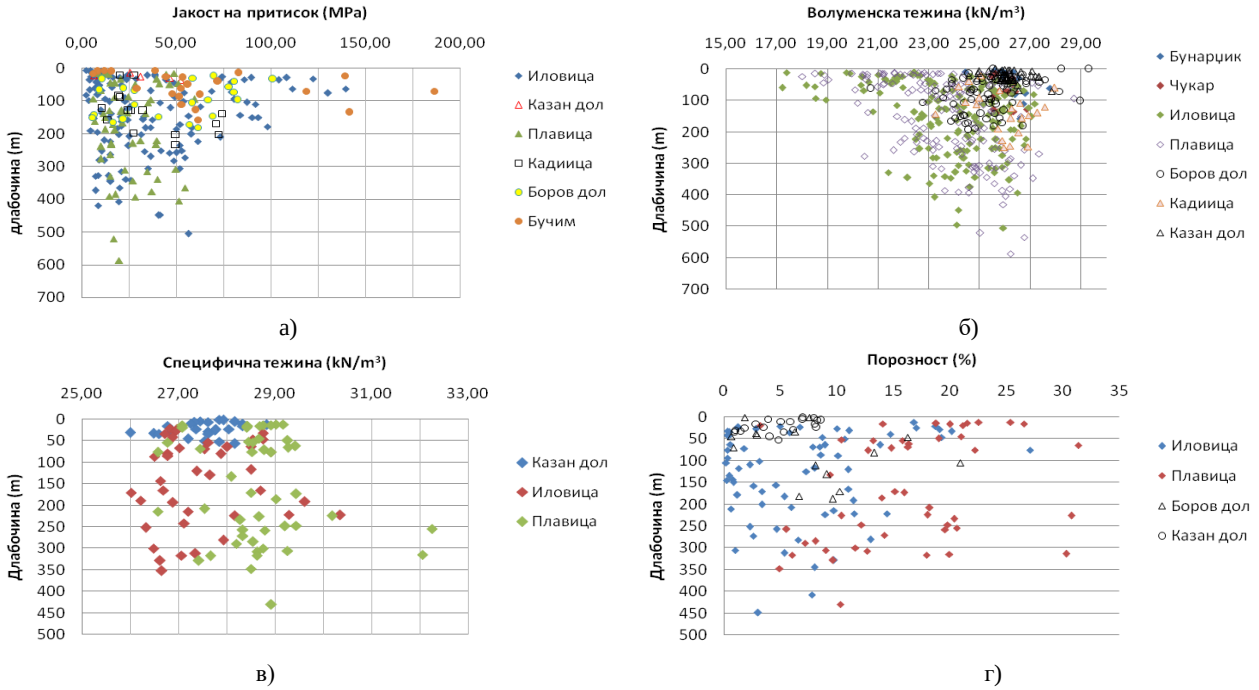


а) б)

в) г)

Сл. 3. Корелациони зависности на физичко-механички параметри кај наоѓалишта на метални минерални суровини – наоѓалиште Иловица.

а) гранодиорит, б – дацит, в. дацитска бреча, г. – гранодиорит
(Јовановска, 2016)

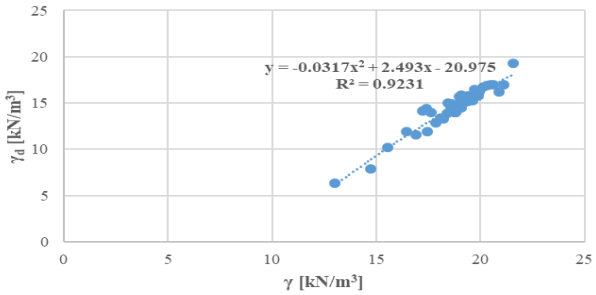


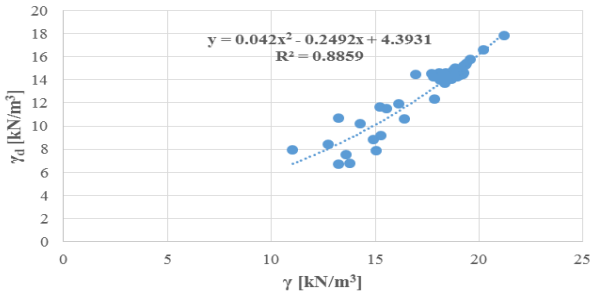
Сл. 4. Корелациони зависности на физичко-механички параметри и длабочина кај наоѓалишта на метални минерални суровини. **а)** јакост на притисок-длабочина, **б)** волуменска тежина-длабочина, **в)**. специфична тежина-длабочина, г) порозност-длабочина (Пешевски и др., 2017)

Од воспоставените корелации е јасно дека со помош и на поедноставни статистички анализи, може да се изврши поврзување помеѓу различните параметри на средината, да се прогнозираат и интерполираат во рамки на помал или поширок простор од интерес, да се посочат зони за кои се потребни дополнителни анализи и соодветно искористат при фазата на експолатација и дополнителни активности поврзани со проектирање. Во однос на дефинирање на деформабилните параметри и параметрите на смолкнување вдолж пукнатини, се констатира дека кај најголемиот дел на наоѓалишта не е посветено доволно внимание

2.3. Инженерскогеолошки истражувања за енергетски минерални суровини

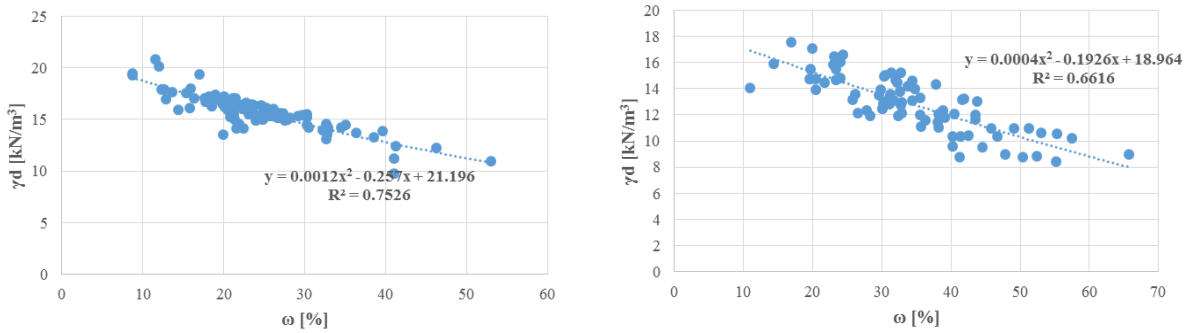
Во фазата на истражување и доистражување на наоѓалиштата за енергетски минерални суровини (кај нас – јаглените) се врши и соодветен обем на инженерско-геолошки и геотехнички истражувања и испитувања. Врз база на достапниот фонд на податоци од повеќе наоѓалишта, изведени се одредени корелациони зависности кои се презентираат на следните дијаграми (слики 5 и 6). За наоѓалиштето Брод-Гнеотино е извршено геотехничко моделирање со примена на современи компјутерски техники (слика 7) од каде може да се согледаат геотехничките услови на наоѓалиштето, а воедно и да се утврди во кои зони не се располага со соодветен обем на податоци, т.е. не е докрај дефинирана работната средина од геотехнички аспект.





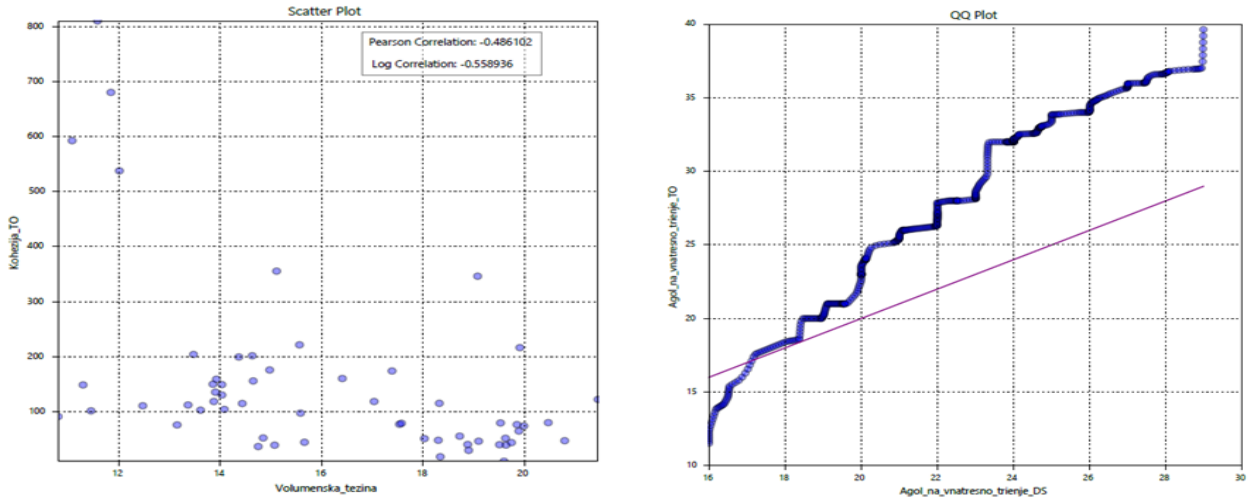
а) б)

Сл. 5. Корелациони зависности на основни физичко-механички параметри кај наоѓалишта на јаглен, а) Волуменска тежина и сува волуменска тежина за глини, б) Волуменска тежина и сува волуменска тежина за прашини (Неделковска 2021)

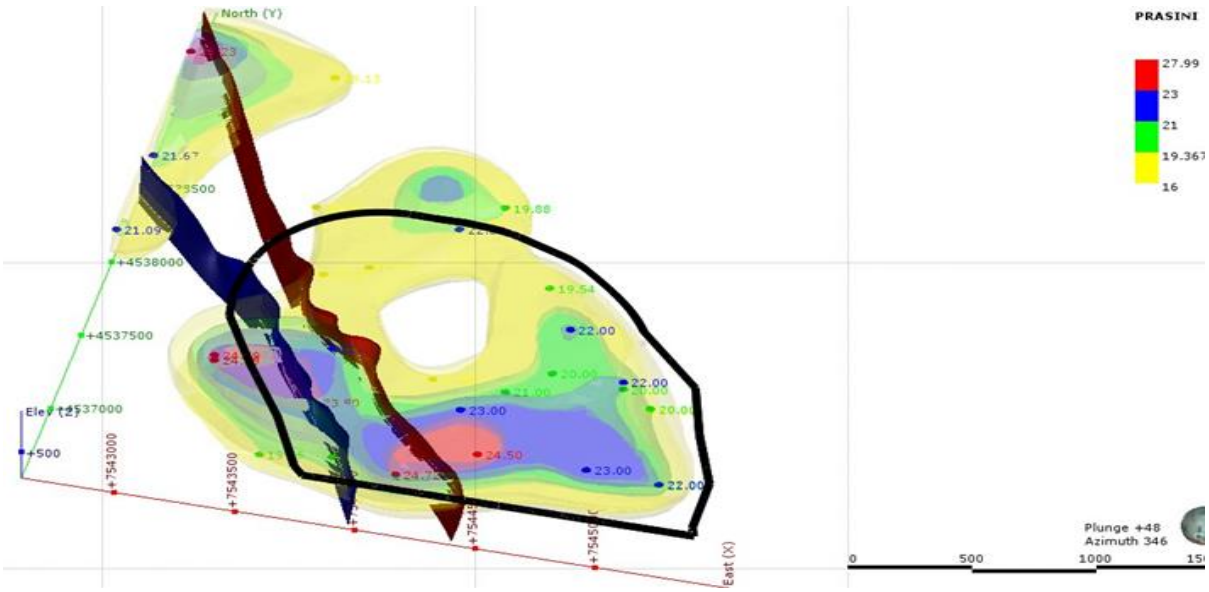


а) б)

Сл. 6. Корелациони зависности на основни физичко-механички параметри кај наоѓалишта на јаглен, а) Влажност и сува волуменска тежина за песоци, б) Влажност и сува волуменска тежина за алевролити, (Неделковска 2021)



а) **б)**

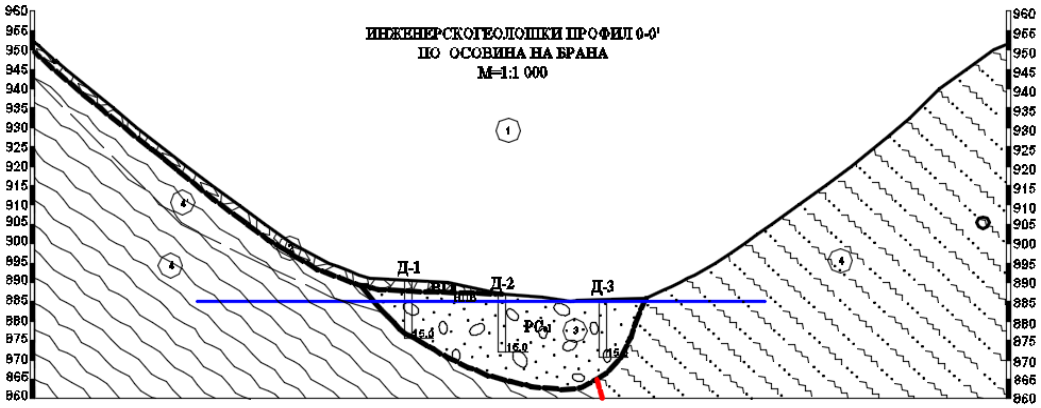


в)

Сл. 7. Геотехничко моделирање на наоѓалиштето Брод Гнеотино со примена на софтвер,
а) дијаграм на споредба на податоците за волуменска тежина и кохезијата одредена со триаксијален опит;
б) дијаграм на споредба на податоците за аголот на внатрешно триење одреден со опитот на директното смолкнување и триаксијалниот опит; **в)** 3Д изглед на геотехничките домени на аголот на внатрешно триење на прашините одреден со опитот за директно смолкнување, (Манева 2021)

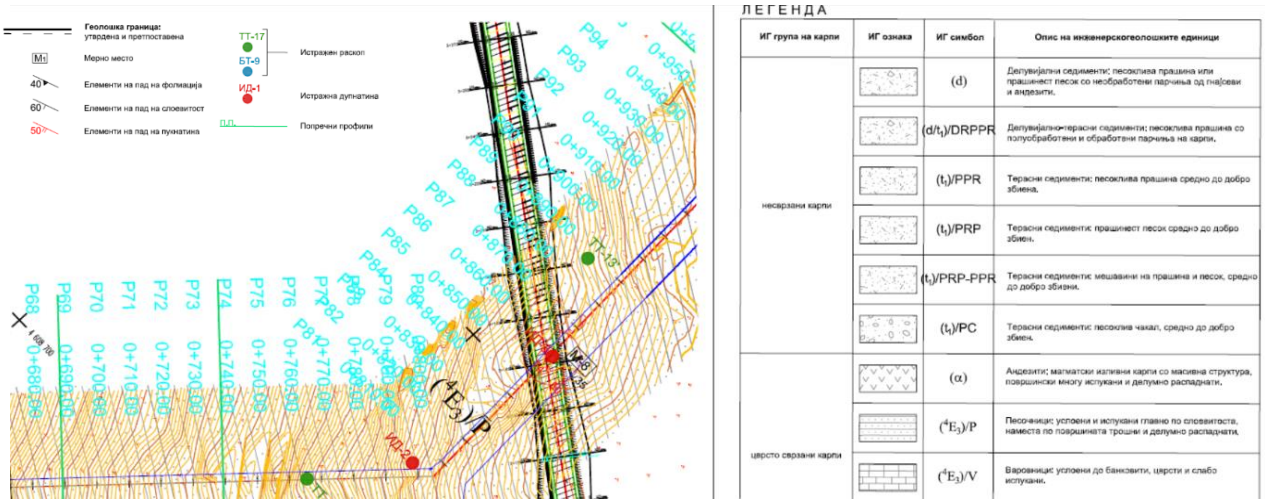
2.4. Геотехнички истражувања за рудничка инфраструктира, испитувања на рудници отпад и геотехнички мониторинг

Како неминовен дел од рударската активност е и создавањето на соодветни предуслови за добивање и преработка на минералната суровина. Тоа подразбира изградба на разновидни типови на градежни објекти: пристапни патишта и транспортни системи, капацитети за преработка на руда, машински работилници, помошни микроакумулации, преливни органи, тунели, хидројаловишта и јаловишта од крупнозрн јалов материјал итн. Некои од објектите, пред сè хидројаловиштата како најопасни по околината, побаруваат редовен мониторинг од аспект на контрола на стабилноста и варијабилноста на геотехничките својства на материјалите од кои се градат. Искуствата покажуваат дека доста често се јавува и потреба од геотехнички истражувања и испитувања за преместување на одредени објекти, поради современи геолошки појави или пак проширување на експлоатационите полиња, додека посебна проблематика е анализирањето на можностите за потенцијална надградба на активни јаловишта / хидројаловишта. Во продолжение се презентираат неколку слики на кои се дадени резултати од инженерско-геолошки и геотехнички истражувања и мониторинг за различни цели во рударството.



Материјал	Вол.тежина γ (kN/m³)	Потопена γ (kN/m³)	Кохезија c (KPa)	Агол на внатр. триење φ (°)	Модул на стисл. KPa или Деформаб. D	Порозност n (%)	Поасонов коефициент (ν)	Коеф. на филтрација K (m/s)
1.графитичен шкрилец (предбрана)	21.68-29.94	10.50-11.00	5-10	30.00-32.00	33.000-40.000	23.00-25	0.33	$1*10^{-6}$
2.висш во лев бок	– 21.00	11.50-12.00	0	33.00-34.00	20.000-22.000	–30.00	0.32	$1*10^{-4}$
3.Алувијален наос	21.00-21.30	10.50-11.00	0	37.00-39.00	35.000-40.000	20.00-22.00	0.32	$1*10^{-5}$
4.Основна карпа	25.60-26.80		300-350	39.00-42.00	3.900.000-4 500.000	2.00-5.00	0.27	$1*10^{-7}$

Сл. 8. Инженерскогеол. профил на хидројаловиште бр.4 на рудник Саса (**Ѓорѓевски 2014)**



Сл. 9. Извадок од инженерскогеолошка карта за пристапен пат и транспортен систем за рудник Боров Дол (Јовановски 2017)

При контрола на материјалите вообичаено се изведуваат лабораториски опити за определување на гранулометриски состав, специфична и волуменска тежина, природна влажност, јакост на смолкнување, модул на стисливост и коефициент на водопропусност, со кои се констатираат осцилации во износите. Дополнително, поради трусноста на регионот, во последните години спроведени се и обемни теренски и лабораториски работи за проверка на стабилноста при сеизмички побуди и испитување на потенцијал за ликвифакција. Истите опфаќаат опити на стандардна SPT и конусна CPT пенетрација (на пр., изведени на круната и во езерото на хидројаловиштата), тестови за водопропусност и земање на примероци за лабораториски испитувања, врз кои се спроведени класификациони опити и тестови за определување на јакосно-деформабилни параметри. Резултатите од теренските опити SPT и CPT се толкувани со критичка примена на препораки во релевантна литература и Еврокод 7–2 (EC 7–2), а испитани се и воспоставени корелации помеѓу теренски и лабораториски резултати, кои наоди се споделени на меѓународни конференции (Velkovska, Papić, Abazi (2019); Velkovska, Papić (2019); Papić, Velkovska (2021)).

Истражувањата се спроведувани паралелно од аспект на воспоставување на корелации помеѓу теренски и лабораториски испитувања, како и воспоставување на корелации помеѓу два различни типа на теренски тестови или лабораториски испитувања. Ова од причина што во повеќето формули присутни во литературата, постоечките корелации се поставени за природен ситнозрн песок, а не се проверени за песок од хидројаловиште. Поради тоа, целта беше тие да се проверат и подобрат, т.е. да бидат функционални за овакви средини во кои преовладува ситен и прашинест материјал, добиен со преработка на рудни минерали. Од SPT опиттот се добиваат информации за вид на материјал, збиеност, агол на внатершно триење, индиректно се пресметува потенцијал за ликвифакција, а благодарение на материјалот земен со цилиндерот за изведба на SPT, лабораториски се утврдуваат влажноста, волуменската тежина и гранулометриски состав. Од мерењата, пак, извршени со CPT (отпор на конус, триење на обвивка и порен притисок), направени се класификации на материјалот според (стандардизирана и нестандардизирана) табели на Robertson et al, кои наоди главно одговараат на лабораториските резултати, при што речиси и да нема разлика помеѓу заклучоците од овие две табели.

Од табелите на класификација на тло според Robertson et al. се добиваат и информации за коефициентот на водопропусност k, каде со одредување на видот на тлото се одредува и доменот во кој истиот се движи: со оглед дека станува збор за песок, со релативно типични утврдени вредности за k, може да се даде препорака за нејзина примена и кај хидројаловишни песоци. Воедно, направена е и корелација помеѓу лабораториски испитан k и гранулометриски состав со иновирана равенка, при што е постигната мошне добра зависност!

За одредување на аголот на внатрешно триење преку резултати од CPT, користени се предлози на неколку автори, а износите се споредувани со резултатите добиени во лабораторија. Најблиску до нив се вредностите од изразите на Kulhawy-Mayne, потоа оние од равенката на

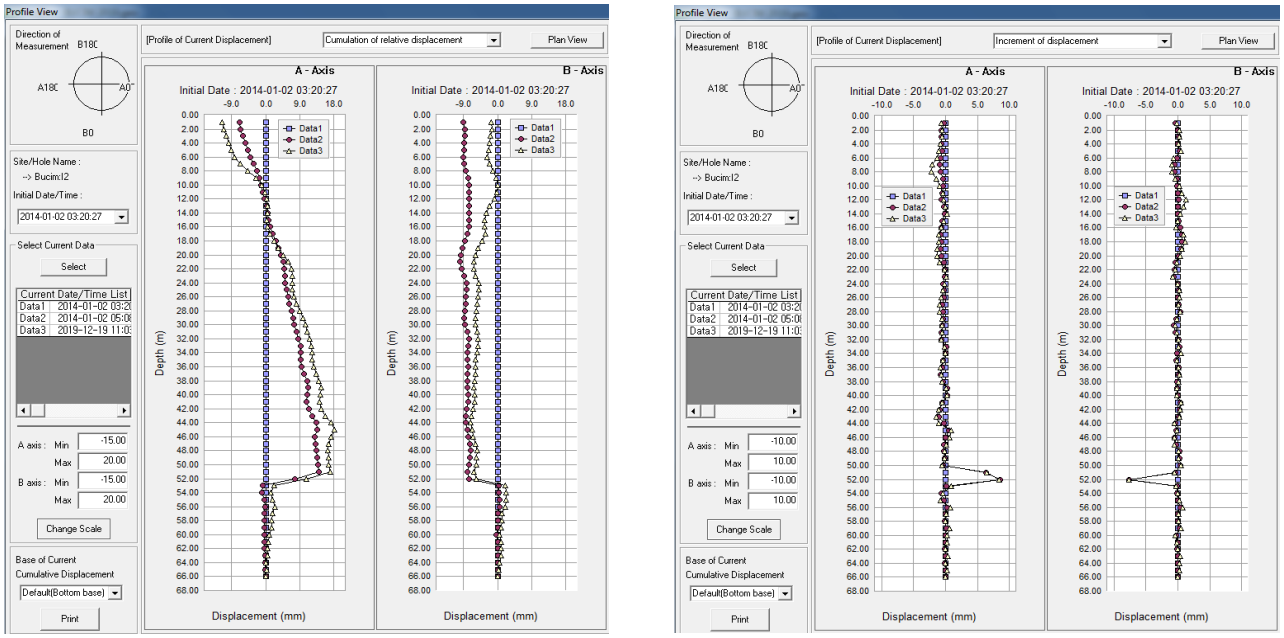
Jefferies-Been, а прифатливи се и препораките од EC 7-2 за овој тип на објекти и материјал. Кога станува за одредување на аголот преку SPT, се чини дека се коректни само препораките од EC 7-2.

Исто така, извршено е и споредување на резултати од едометарски опит и соодветни корелации со SPT и CPT. Со нив е утврдено дека изразот на Bowles дава солидна врска помеѓу лабораториски испитувања и SPT, додека множење на отпор на конус при CPT со 1,5 ќе даде вредности на страна на сигурноста за модул на стисливост за песок од хидројаловиште.

На оваков начин, се придонесува кон значителна редукција на времето за избор на формули кои се применуваат за пресметка на геомеханички параметри потребни за проектирање и контрола на објекти од оваков тип. Овака формираната база на податоци на геомеханички параметри дава мошне добра основа за квалитетно извршување на нумеричките анализи, вклучувајќи и за утврдување на потенцијал за ликвифакција во услови на силен земјотрес. Впрочем, позитивната пракса за редовно контролирање на геомеханичките карактеристики на јаловинскиот песок е значајна за потврдување и калибрација на влезните параметри при нумеричките напонско-деформациски анализи и пресметките на стабилност, вклучувајќи ги и косините, како и за следење на состојбата на хидројаловиштето во целост, и континуирано се реализира кај нашите активни хидројаловишта.

Сл. 10. Изведба на опит на стандардна пенетрација на хидројаловиште Тополница за проценка на потенцијал за ликвифакција (Велковска 2019)

Оскултацијата на хидројаловиштата подразбира визуелни набљудувања и мерења, а со кои се опфаќаат геодетски, геотехнички и земјотресен мониторинг (Пешевски и др. 2017). За таа цел, се вградуваат инструменти за набљудување, како што се, на пр., пиезометри (за мерење на ниво на подземна вода и на порни притисоци) и инклинометри (за следење на просторна и временска распределба и развој на поместувањата). Така, на хидројаловиштето Тополница, чија височина изнесува 134 m (највисоката брана во Македонија, Козјак, има висина од 126 m), веќе десет години има воспоставено комплексен систем за набљудување, а што е во согласност со „Правилникот за минимално потребните работи и мерки за техничко набљудување на браните чии акумулации и хидројаловишта се над населени места или стопански објекти од општ интерес“. Главната цел е да се добијат доверливи податоци за поместувањето и притисоците кои би се развиле во хидројаловиштето и тие да се споредат со пресметаните. Исто така, отчитувањата од мерењата можат да имаат важна второстепена функција во обезбедувањето на јасна основа за анализите за било кои потешкотии што можат да се појават при работата на хидројаловиштето и да се преземат соодветни мерки. Трета и многу важна цел е да се унапреди техниката на проектирањето на хидројаловиштата преку добиените сознанија за однесувањето на браните преку овие мерења. На пр., од инклинометрите може да се констатира дека сигнализираат поместувања, кои варираат како по длабочина, така и по локација: поедини се со занемарливи поместувања, додека други покажуваат поизразени деформации на материјалот во хидројаловиштето (слика 11).



Сл. 11. Приказ на релативни (лево) и инкрементални (десно) поместувања во инклинометар

2.5. Осврт кон ефектот на изложеност на карпите на атмосферски услови

При истражувањата, кај дел од наоѓалиштата на метални минерални суровини се забележува промена на физичко-механичките својства на карпите после нивно изложување на атмосферата (забележано на јадро од истражни дупнатини кај наоѓалишта во фаза на детални истражувања и отворени работни етажи кај активни површински копови). Ваквата појава наметнува потреба од вршење на дополнителни анализи, и тоа од аспект на присутните алтерации, нивното влијание врз одредување на параметрите како јакост и деформабилност, волуменска и специфична тежина, и пред се дефинирање како овие карпи ќе се однесуваат во тек на време и до која длабина ќе се случуваат овие промени.

3. ЗАКЛУЧОЦИ

Преку анализа на достапни податоци за одреден број активни рудници во Светот се констатира дека со редовно вршење на инженерскогеолошки и геотехнички истражувања и испитувања, анализи и корелации, се постигнува поголема ефикасност и безбедност во целокупното работење на рудниците. Кај одредени рудници, со изработка и примена на 3Д геотехнички модел, се постигнал позитивен економски ефект со зголемување од 3-8%.

Иако кај нас на оваа проблематика се посветува одредено внимание, може да се констатира дека е потребно поконкретно вклучување на оваа инженерска област, а пред се преку редовно ангажирање на инженери од инженерскогеолошка и геотехничка струка уште во најраните фази од истражување на наоѓалиштата, како и низ целиот период на експлоатација и затворање на рудниците. Одредени согледувања и предлози за обемот со кој треба да се вклучи геотехниката во различни фази од развојот на проектите ќе бидат прикажани во друг труд.

ЛИТЕРАТУРА

Bowles, J. E. (1997): *Foundation analysis and design*, 5th Edition. New York: McGraw-Hill.

Велковска С. (2019): *Корелации помеѓу резултати од теренски и лабораториски геотехнички испитувања на хидројаловишен песок*, магистерска работа, Градежен факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје.

Velkovska S., Papić J., Abazi S., (2019): Ispitivanje primenljivosti korelacija između terenskih i laboratorijskih geotehničkih testova na hidrojalovišnom pesku, *GEO-EXPO, Sarajevo*.

Velkovska S., Papić J., (2019): Applicability of relations between results from field and laboratory tests on sands from tailing dams, *XVI ECSMGE, Reykjavik.*

Ѓорѓевски С., Јовановски М., Јосифовски Ј., Папиќ Ј., Пешевски И., Ивановски М. (2014): Техничка документација за градба на хидројаловиште бр. 4 на рудникот Саса – М. Каменица, Градежен факултет – Скопје.

Ефнушев Љ. (2017). *Методологија за анализа на физичко механички карактеристики кај градежно технички камен*, Магистерски труд, Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип.

Jefferies, M. G. Been, K. (2006): *Soil Liquefaction – A critical state approach*. Taylor & Francis, ISBN 0-419-16170-8 478 pages.

Јовановска Т. (2016): *Корелациони зависности помеѓу геотехнички параметри на карпести маси кај наоѓалишта на метални минерални суровини*, Дипломска работа, Градежен факултет – Скопје.

Јовановски М., Десподов З., Димов Ѓ., Пешевски И., Абази С., Сусинов Б. (2017): Елаборат за геотехнички испитувања на подземен ископ во рудно наоѓалиште за олово и цинк Саса – „Свиња Река“, Градежен факултет – Скопје.

Јовановски М., Пешевски И., Папиќ Ј., Абази С., Сусинов Б., Ѓорѓевски С. (2017): *Елаборат од геотехничките истражувања и испитувања на теренот вдолж трасата на пристапен пат со отклон од магистрален пат Штип – Радовиш ком месност поранешен рудник Дамјан до концесиски простор рудник Боров Дол*, Градежен факултет – Скопје.

Манева М. (2021): *Геотехничко моделирање на наоѓалиштата на јаглен со примена на современи компјутерски техники*, Магистерски труд, Градежен факултет – Скопје.

Nedelkovska, B., Peshevski I., Jovanovski M., Velinov D., Misajlevski Z. (2021): Regression methods in analysis of geotechnical parameters of coal deposits. *IX Seminar of differential equations and analysis and 1st congress of differential equations, mathematical analysis and applications CODEMA 2020*, ISBN 978-608-4904-09-0 UDC: 519.242:553.94.048

Papić J., Velkovska S., (2021): Comparison of results from laboratory tests on materials from mine tailings: permeability case (accepted paper: ISC 6, Budapest)

Peševski, I., Angelova, E., Jovanovska, T., Abazi, S., Papić, J., & Stefanova, V. (2017). Basic geotechnical parameters of metallic mineral deposit in the Republic of Macedonia. Geologica Macedonica, 31(1), 87-99.

Пешевски И., Папиќ Ј., Јовановски М. (2017): Современи методи за геотехнички мониторинг и моделирање кај површинска и подземна експлоатација. Подекс-Повекс 2017. *X-то стручно советување на тема: Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални суровини*. Здружение на рударски и геолошки инженери на Р. Македонија

Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D. and Greig, J. (1986): Use of Piezometer Cone Data. Proceedings of American Society of Civil Engineers, ASCE, *In-Situ 86 Specialty Conference, Blacksburg, 23–25 June 1986*.

F. H. Kulhawy. P. W. Mayne (1990): *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*, Cornell University, Ithaca, New York 306 pgs.

2-ID-03
UDC: 622.283.4/.5.016.2

ПОДГРАДУВАЊЕ И ОСИГУРУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ РУДАРСКИ ПРОСТОРИИ СО ТЕХНИКА НА ПРСКАН БЕТОН

Булент Сулооца[1], Сеад Абази[2]

[1]*Сектор за Урбанизам - Општина Ресен, Ресен, Р. Северна Македонија,*
[2]*Градежен факултет, Универзитет "Св. Кирил и Методиј", Скопје, Р. Северна Македонија,*
bsulooca@hotmail.com // sead@gf.ukim.edu.mk

A b s t r a c t: Подградување и осигурување на подземните рударски простории се исклучително сложен процес во рударството, и тоа од безбедносен и од економски аспект. Еден од методите за подградување и осигурување на подземните рударските простории е техниката на торкретирање односно заштита со примена на прскан бетон кој се користи или како самостоен потпор или што е најчест случај, комбинација со анкери, челична мрежа, сидра, челични рамки и др. Прсканиот бетон се применува самостојно во геолошки-хидрогеолошки услови, како и во простории каде што има деформации со мали контури. Додека се комбинира кога треба да стабилизира карпест масив и да ја зголеми сигурноста. Квалитетно вградување на прскан бетон во подземните рударски простории не бара никаква посебна подготовка за нанесување и само за 2-3 часа постигнува цврстина од 0.8 N/cm² овозможувајќи работа на подградната конструкција. Успешно торкретирање зависи од повеќе фактори: изборот на материјалот што ќе се вградува, машината за вградување на прскан бетон, управувачот на истата, изборот на врзувачките адитиви и други. Како и во другите објекти, така и во рударството, прсканиот бетон се нанесува во два слоја. Но, мора да се внимава на рецептурата на торкретот бидејќи поголема тежина на бетон може да биде доволна за да наснати лом на вградениот материјал. Тука голема улога игра адхезија и кохезијата. Ако површината е премногу сува, може да се исцеди водата од прскан бетон, со што се намалува јакоста на адхезија. Затоа, површината треба да биде во таква состојба која нема ни да ја „укради" водата од смесата, ниту пак вишок вода. Додека за дебелина на торкрет се направени ред анализи за да се определи точната вредност. Но, бидејќи е доста сложена процедура каде содржи многу непрецизирани и непредвидливи работи, оваа бројка најчесто се определува од типот на карпестата маса, како и искуството на инженер-проектант. Така, при изведба на подземни рударски простории во склоп на рудникот Çatalağzı (Турција) се вградува прскан бетон со дебелина од d = 10–15 cm и анкери со должина l = 4–5 m согласно RMR вредноста кој изнесува 26–29. Додека кај нас, во рудникот Саса вградено е над 2.000m³ прскан бетон со дебелина d = 15 cm и анкери SN и IBO анкери со должина l = 3, 6 и 9 m во зависност од местото на вградување.

Key words: адхезија, прскан бетон, рударски простории, челична мрежа

UPGRADING AND SECURING THE UNDERGROUND MINING PREMISES WITH SHOTCRETE TECHNIQUE

A b s t r a c t: Upgrading and securing underground mining facilities is an extremely complex process in mining, both from a safety and from an economic point of view. One of the methods for supporting and securing the underground mining premises is the technique of shotcreting or protection by applying sprayed concrete. This technique is used either as a stand-alone or in most common case, as a combination with anchors, steel mesh, anchors, steel frames, etc. Sprayed concrete is applied independently in geological-hydrogeological conditions, as well as in places where deformations are with small contours. While as a combination with other elements is used when stabilizing a rocky massif and increasing reliability. High-quality installation of sprayed concrete in underground mining premises does not require any special preparation for application and in just 2-3 hours it achieves a hardness of 0.8 N / cm² allowing work on the substructure. But yet, successful shotcreting depends on several factors: the choice of material to be installed, the machine for embedding sprayed concrete, the person who operates it, the choice of binding additives and similar. As in other types of construction works, so does in mining, application of sprayed concrete is done in two layers. Attention has to be put in the shotcrete recipe, because too much concrete in the mixture can be the reason for breakage in the embedded material. Adhesion and cohesion play a big role here. If the surface is too dry, water can be drained from the sprayed concrete, which reduces the adhesion strength. Therefore, the surface should be in such a state that it will not "steal" water from the mixture, nor have excess water. While for the thickness of the torque, a series of analyzes were made to determine the exact value. Since it is quite a complex procedure incorporating a lot of unspecified and unpredictable things, this figure is usually determined by the type of rock mass, as well as by the experience of the engineer-designer. Thus, during the construction of underground mining facilities within the mine Çatalağzı (Turkey), sprayed concrete with a thickness of d = 10-15 cm and anchors with a length of l = 4-5 m were installed, according to the RMR value which is 26-29. In the Republic of North Macedonia, in the premises of Sasa mine, over 2,000m³ of sprayed concrete is installed. The values in this case were: thickness d = 15 cm and anchors SN, using IBO anchors with length l = 3, 6 and 9 m, depending on the installation point.

Key words: adhesion, sprayed concrete, mining premises, steel mesh

1. ВОВЕД

Современите технологии за ископ на цврсти карпести маси имаат големи предности во однос на класичните методи, кои се состојат во: се снижуваат сеизмичките потреси, се добива рамна и мазна површина на завршената контура, се обезбедува стабилноста на завршните контури, комплетно се намалуваат производствено-економските трошоци и друго. Додека кај подземните објекти, вишокот на ископот се сведува на минимум, бидејќи примарната облога многу лесно се оформува, а карпестата маса е во соработка со облогата.

Торкретирање е едно од современите методи за ископи на цврсти карпести маси. Техника на прскан бетон процес каде што бетонската смеса се нанесува врз површината со помош на јак притисок и специјална опрема. Начинот на вградување може да биде: сува метода, при која сува мешавина од цемент и агрегат се пренесува преку црево под притисок, а водата се додава кај млазницата, непосредно пред вградувањето и влажна метода, при која готовата бетонска мешавина се транспортира и се нанесува директно преку млазницата [1].

Оваа техника е флексибилна и има брз начин на вградување, но бара добра механизација и специјализирани и добро обучени работници. Овие карактеристики го издвојуваат прсканиот бетон на врвот на материјали во градежната индустрија. Тој може да се искористи како поединечно, така и во комбинација со анкери, челична мрежа, влакна или друго. Има голема примена градежништвото и тоа во: тунелоградба; рударство; изградба на хидротехнички објекти; заштита на косини; заштита на градежни јами; реконструкција на разни градежни објекти и др. Техниката на прскан бетон исто така е многу погодна за изградба на објекти со необични геометри, како што се базените, објекти со заоблена форма и други.

2. ПОДГРАДУВАЊЕ И ОСИГУРУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ РУДАРСКИ ПРОСТОРИИ СО ТЕХНИКА НА ПРСКАН БЕТОН

Подградувањето и осигурувањето на подземните рударски простории е исклучително сложен проблем во рударството, и тоа од безбедносен и од економски аспект. Во основа пред рударските стручњаци се поставува проблемот како рационално да се градат рударските простории т.е. нивната функционалност за предвиденото време со користење на минимални трошоци. Во детална анализа на работните услови и одржување на постојните рударски простории, како и трошоците за нив, истакната е потребата да му се посвети внимание на ова прашање, што припаѓа на рударската струка. За изведба на подземните рударски простории мора да има квалитетен проект и добра изведба за да не дојде до несакани последици: човечки загуби, материјална штета, застој во работа и слично.

Во почетокот на XX. век, подградувањето и осигурувањето на подземните рударски простории се вршело преку традиционалните метода за поддршка и контрола на тлото, како што се дрвени и/или челични гарнитури, дрвени конструкции со завртки и жичана мрежа и други. Кон средината на минатиот век се развива нова техника за подградувањето и осигурувањето на подземните рударски простории и тоа со торкретирање. Во тој период се користи сувата метода за вградување на прскан бетон, за да во 1980-тите години да се применува влажната постапка, а нанесувањето да се врши преку специјални млазници кои се со далечинско управување [2]. Оваа техника својот подем го доживува во почетокот на XXI век и тоа само во два рудника во Канада се вградени вкупно 14.000 m³. Подградувањето и осигурувањето на подземните рударски простории со техника на торкретирање наоѓа голема примена и во новиот континент т.е. Австралија, со годишна потрошувачка од 500.000 m³.

Во рударската практика, прсканиот бетон се применува или како самостоен потпор, или што е најчесто случај, во комбинација со некоја друга подграда. Од комбинирано подградување често се користат следните комбинации:

* прскан бетон – анкери;
* прскан бетон – челична мрежа;
* прскан бетон – челична мрежа – сидра;
* прскан бетон – челична мрежа – челични рамки и
* прскан бетон – челична мрежа – сидра – челични рамки

Во рударството, прсканиот бетон се применува самостојно во погодни геолошки и хидрогеолошки услови и во просторијата каде што има деформации со мали контури. При ова, подградата од прскан бетон по својата намена може да биде заштитна и носива. Заштитната подграда претставува слој на прскан бетон, со дијаметар од неколку до 5 cm, нанесен по целата површина на ископувачки контури. Ваквата подграда исклучиво е наменета за површинска заштита

на карпестата маса од губење на влага, како и поврзување на помали делови од карпата и спречување на нивното откачување. Додека носечката подлога од прскан бетон има функција на финална подградба, бидејќи е докажано дека со зголемување на обемот на наносењето на растреперен бетон може да се постигне истиот ефект како и при вградување на бетонска подградба, со оглед на тоа што кај подградата од прскан бетон, поврзувањето на бетонски смеси со карпата е појако од 2 до 2,5 пати отколку кај монолитниот бетон, како и тоа дека механичките карактеристики се нешто подобри (Слика 1) [3].

Сл. 1. Вградување на прскан бетон во подземни рударски простории

Основната филозофија на подградување на подземните рударски простории со прскан бетон е базирана на концептот дека карпестата маса што го опкружува ископувачкиот дел од просторијата станува дел од носечката конструкција преку активирање на носечкиот прстен. Статички се однесува како елемент составен од носечки прстен во карпата и подграда.

Карпестата маса е главниот носив елемент во рударската просторија, и како таков се стреми да ја одржи цврстинаташто ја имала пред ископот. Вградената подграда треба да се прави правовремено, не премногу рано или премногу касно, и не смее да биде премногу крута или премногу флексибилна. Крутата и рано вградената подграда предизвикува големо напрегање, а премногу флексибилна или касно вградена подграда предизвикува движење на карпестата маса, што резултира со големи напрегања на подградата. Во квалитетна и добра карпеста маса, ископот може да остане подолго неизграден, а во карпеста маса со слаб квалитет треба да се изврши за што може покус времески период.

Примарната подграда од прскан бетон треба да стабилизира масив, а секундарната – носечка подграда треба да ја зголеми сигурноста. Проблемите со стабилноста на ископот треба да се решаваат со појачување на примарната подградба (како на пример: армирани мрежи, анкери и сл.), а не со зголемување на дебелината на подградата. Секундарната облога на просториите исто така не треба да биде многу „дебела“ и не е препорачливо да се пренесуваат сили меѓу примарната и секундарната облога.

Во Табела 1 се прикажани количини на смесата за прскан бетон кој се користи за вградување во рударството. Низ светот, бетонската смеса која се користи во техниката на торкретирање се комбинира со разни видови на влакна, додека кај нас наместо влакна се кориси арматурна мрежа претежно Q188 [4].

Т а б е л а 1

Количини на материјал за смесата за прскан бетон

Материјал	Количина
Цемент (kg)	460
Агрегат (kg)	1680
Вода (l)	200
Челични влакна (kg)	30–40
Макро-синтетички влакна (kg)	5–8
Суперпластификатори (l)	3
Адитив за контрола на хидратација (l)	2

Прсканскиот бетон не бара никаква посебна подготовка, како што е подготовка на облогата, монтажа и демонтажа на истата. Рамномерно се нанесува и на тој начин се формира облога која по 2 до 3 часа по нанесувањето постигнува цврстина 0,8 N/cm², што овозможува работа на подградната конструкција. Јакоста на прсканиот бетон достигнува до 60 N/cm², додека отпорноста на затезнување изнесува 5–15 N/cm².

Квалитетното вградување на прскан бетон во подземни рударски простори зависи од повеќе фактори: изборот на материјалот што ќе се вградува, машината за вградување на прскан бетон, управувачот на истата и изборот на брзо врзувачките адитиви. Формирањето на слојот од прскан бетон зависи од набивањето на агрегатот. Набивањето се врши рамномерно, од слој до слој. Тенките слоеви создаваат совршен спој на прскан бетон со површина на која се нанесува, а ја зголемува и водонепропустливоста на прсканиот бетон.

Прсканиот бетон може да се нанесува: хоризонтално и вертикално. Ако нанесувањето на прсканиот бетон се врши во повеќе слоеви, потребно е прво да се зацврсти првиот слој, а потоа да се нанесе вториот слој. Не е правилно да се нанесе вториот слој на уште нестабилен слој, бидејќи се добива вибрирање на целиот прв слој и постои опасност првиот слој да се одвои од карпата. Обично вториот слој се нанесува по 12 часа, а тој временски период зависи од тоа колку бетон има на располаѓање и колку врзувачки средства.

При вградување на прсканиот бетон во комбинација со арматура или челична мрежа, постапката е иста како и без арматура, само што треба пред да се монтира арматурата да се нанесе првиот слој на прскан бетон. Овој услов треба да се задоволи поради тоа што арматурата создава одредена пречка на прсканиот бетон и не може правилно да се нанесе на карпата. За да се избегнат сите негативни последици и да се постигне што поголем квалитет, начинот на изведба на прскан бетон со арматура или челична мрежа мора да се запази. Вториот слој се нанесува после 10 до 12 часа од нанесувањето на првиот слој и арматурата [5].

Техниката на прскан бетон ја прави лидер во областа на подградувањето и осигурувањето на подземните рударски простории бидејќи ги има следните позитивни особини:

– поголем развојот на рударството;
– зголемување на безбедноста на вработените;
– помал број интервенции за рехабилитација на подземните простории;
– помала работна сила и др.

Додека за дебелина на торкрет кој се вградува во подземни рударски простории се направени ред анализи за да се определи точната вредност. Но, бидејќи е доста сложена процедура каде содржи многу непрецизирани и непредвидливи работи, оваа бројка најчесто се определува од типот на карпестата маса, како и искуството на инженер-проектант. Така, при изведба на подземни рударски простории во склоп на рудникот Çatalağzı (Турција) се вградува прскан бетон со дебелина од d = 10–15 cm и анкери со должина l = 4–5 m согласно RMR вредноста кој изнесува 26–29 (Табела 2) [6].

Т а б е л а 2.

Споредба на препорачаните и преземени заштитни мерки при градење на тунелот Çatalağzı во зависност од RMR вредностите

RMR вредноста на капреста маса	Препорачана заштита согласно проектот	Превземени заштитни мерки при изведба
I (0 – 21 m) RMR = 58	Прскан бетон со дебелина d = 3-10 cm	Прскан бетон во комбинација на анкери со должина l = 4 m и челична мрежа
II (21 – 265 m) RMR = 65	По потреба од прскан бетон со d = 5 cm	Прскан бетон d = 10 cm во комбинација на анкери со должина l = 4 m (кај отворите)
III (265 – 290 m) RMR = 75	По потреба од прскан бетон со d = 5 cm и анкери	Прскан бетон d = 10 cm во комбинација на анкери со должина l = 4 m (кај отворите)
IV (290 – 558 m) RMR = 71	По потреба од прскан бетон со d = 5 cm и анкери	Прскан бетон со d = 5 cm без анкерување
V (558 – 621 m) RMR = 50	Прскан бетон со дебелина d = 3-10 cm	Прскан бетон d = 10 cm во комбинација на анкери со должина l = 4 m (кај отворите)
VI (621 – 809 m) RMR = 29	Прскан бетон со дебелина d = 10 cm; анкери со должина l = 4-5 m	Прскан бетон во комбинација на анкери со должина l = 4 m и челична мрежа
VII (809 – 885 m) RMR = 26	Прскан бетон со дебелина d = 10-15 cm анкери со должина l = 4-5 m	Прскан бетон во комбинација на анкери со должина l = 4 m и челична мрежа

3. ЗАКЛУЧОЦИ

Подградувањето и осигурувањето на подземните рударски простории е исклучително сложен проблем во рударството, и тоа од безбедносен и од економски аспект. Во детална анализа на работните услови и одржување на постојните рударски простории, како и трошоците за

нив, истакната е потребата да му се посвети внимание на ова прашање, што припаѓа на рударската струка. За изведба на подземните рударски простории мора да има квалитетен проект и добра изведба за да не дојде до несакани последици: човечки загуби, материјална штета, застој во работа и слично.

Во рударската практика, прсканиот бетон се применува или како самостоен потпор, или што е најчесто случај, во комбинација со некоја друга подграда. Од комбинирано подградување често се користат следните комбинации: прскан бетон со анкери; прскан бетон со челична мрежа; прскан бетон со челична мрежа и сидра; прскан бетон со челична мрежа и челични рамки, и прскан бетон со челична мрежа, сидра и челични рамки.

Основната филозофија на подградување на подземните рударски простории со прскан бетон е базирана на концептот дека карпестата маса што го опкружува ископувачкиот дел од просторијата станува дел од носечката конструкција преку активирање на носечкиот прстен. Статички се однесува како елемент составен од носечки прстен во карпата и подграда. Заштитната подграда претставува слој на прскан бетон, со дијаметар од неколку до 5 cm, нанесен по целата површина на ископувачки контури. Ваквата подграда исклучиво е наменета за површинска заштита на карпестата маса од губење на влага, како и поврзување на помали делови од карпата и спречување на нивното откачување. Додека носечката подлога од прскан бетон има функција на финална подградба, бидејќи е докажано дека со зголемување на обемот на наносењето на растреперен бетон може да се постигне истиот ефект како и при вградување на бетонска подградба, со оглед на тоа што кај подградата од прскан бетон, поврзувањето на бетонски смеси со карпата е појако од 2 до 2,5 пати отколку кај монолитниот бетон, како и тоа дека механичките карактеристики се нешто подобри.

Техниката на прскан бетон ја прави лидер во областа на подградувањето и осигурувањето на подземните рударски простории бидејќи ги има следните позитивни особини: поголем развојот на рударството; зголемување на безбедноста на вработените; помал број интервенции за рехабилитација на подземните простории; помала работна сила и др.

За дебелина на торкрет кој се вградува во подземни рударски простории се направени ред анализи за да се определи точната вредност. Но, бидејќи е доста сложена процедура каде содржи многу непрецизирани и непредвидливи работи, оваа бројка најчесто се определува од типот на карпестата маса, како и искуството на инженер-проектант.

4. ЛИТЕРАТУРА

[1] Сулооца Б. (2019). *„Технологија и Практична Примена на Прскан Бетон“*, издавачка куќа Јени Балкан, Скопје, Р. Северна Македонија.

[2] Morgan D. R. and Bernard E. S. (2017), *„A Brief History of Shotcrete in the Underground Industry“,* Shotcrete, Fall, pp. 24-29.

[3] Bernard E. S (2010), *„Shotcreting in Australia, Second Edition“,* Concrete Institute of Australia & Australian Shotcrete Society, Penrith – Australia.

[4] Аџиски В., Десподов З., Мијалковски С., Стојов В. (2016), „Моделирање на Плановите за Изработка на Подземни Рударски Прсотории“, „IX-то Стручно Советување: Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални суровини“, Струмица – Р. Македонија, страна 82-90.

[5] Özarslan, A., Geniş, M., Alkılıç, Ç., Acun, D. (2005): Çatalağzı Termik Santralı Kül İletim Tünelinde Tahkimat Uygulamalarının Değerlendirilmesi, *19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005*, Türkiye, pp 223–232.

[6] https://mk.birmiss.com/

2-ID-04
UDC: 550.822:553.045]:340.13(497.7)

ТРЕТМАН НА ИНЖЕНЕРСКАТА ГЕОЛОГИЈА И ГЕОТЕХНИКАТА ПРИ ИСТРАЖУВАЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ

Игор Пешевски[1], Милорад Јовановски[1], Зоран Панов[2], Јован Папиќ[1], Сеад Абази[1], Александра Николовска Атанасовска[3]

[1]Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р. С,. Македонија
[2]Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце делчев' во Штип
Бул. Крсте Мисирков, 10-А, п. Фах 210, 2000 Штип Р. Е. Македонија
Друштво за Геотехника на Македонија
pesevski@gf.ukim.edu.mk

А п с т р а к т: Во трудот е извршена анализа на достапни закони, правилници, упатства и методологии кои се однесуваат на инженерскогеолошката и геотехничката карактеризација на карпестите маси кај наоѓалишта на минерални суровини во Македонија и Светот. Анализите првенствено ја третираат проблематиката на дефинирање на обемот на истражувања и испитувања од ваков карактер, како и критериумите на прифатливост од аспект на стабилноста на теренот. Посебно внимание е посветено и на дискусијата за обемот на потребни истражувања за инфраструктурните објекти кои се во функција на експлоатацијата на минералните суровини, а кои во суштина претставуваат градежни објекти со поголем или помал ризик по околината. Согласно на сите согледувања, во трудот се дадени препораки за минимален обем на потребни инженерскогеолошки и геотехнички истражувања и испитувања за различни цели. Препораките треба да бидат предмет на дискусија и усогласување, а крајно да бидат внесени во соодветните акти на законската регулатива која ги тангира минералните суровини во Македонија. Преку систематска примена на ваковиот предложен пристап се смета дека ќе се создадат услови за подигнување на степенот на познавање на геотехничките услови во активните и идни потенцијални рудници на повисоко ниво, а истовремено концесионерите ќе постигнат и повисока безбедност и финансиска ефикасност во работењето.

Клични зборови: инженерскогеолошка и геотехничка карактеризација; наоѓалишта; рудници; законска регулатива

TREATMENT OF ENGINEERING GEOLOGY AND GEOTECHNICS IN INVESTIGATION AND EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES

A b s t r c a c t: The paper is considering the law regulations, rulebooks, guidelines and methodologies related to engineering geological and geotechnical characterization of rock masses of mineral deposits in Macedonia and in the World. Analyses cover issues of defining scope of the investigations and tests for such purposes, as well as the criteria for acceptability regarding the stability of the terrain. Special attention is paid on the discussion on scope of investigations needed for the design of supporting infrastructural capacities in function of the exploitation process, which in turn are civil engineering structures with lower or higher risk for the environment. According to all considered facts, in the paper are presented recommendations for minimum scope of needed engineering geological and geotechnical investigations and tests for different goals. The recommendations should be subject of discussion and adaptation, and finally incorporated in the corresponding mineral deposits law regulations in Macedonia. It is considered that by systematic application of the recommended approach will be created conditions for improvement of the knowledge of geotechnical properties in active and future potential mines on a higher level, while, at the same time, the concessioners will achieve also higher safety and financial efficiency in operations.

Key words:: engineering geological and geotechnical characterization; mineral deposits; mines; law regulations

ВОВЕД

Инженерскогеолошката и геотехничката карактеризација на карпестите маси во рудниците претставува важен сегмент во целокупното нивно работење. Инженерскогеолошките и физичко-механичките својства на карпите предодредуваат повеќе аспекти на работењето на рудниците, и тоа почнувајќи дури од најраните фази на прелиминарни истражувања на наоѓалиштата, преку развојот на предфизибилити и физибилити студии, па сè до фазите на изработка на главните и дополнителните рударски проекти. Најчесто, инженерскогеолошките и геотехничките истражувања и испитувања се вршат со цел да се одредат параметри како што се: структурно-тектонските карактеристики на карпестите маси, состојбата на испуканост, јакосни и деформабилни својства на ниво на монолит и карпест масив, трајноста на карпите, волуменска и специфична тежина, порозност на карпите и други. Овие параметри служат за целите на дефинирање на квазихомогени зони, односно т.н. геотехнички домени во рамки на наоѓалиштата. Независно дали станува збор за површинска или подземна експлоатација, податоците од инженерскогеолошки карактер се основен влезен податок во проектирањето на откопните полиња, планирањето на отворањето на наоѓалиштата, дефинирањето на максималните можни наклони на завршни и работни косини кај површинските копови, начинот на подградување кај подземната експлоатација, итн. Покрај самата работна средина во која се врши експлоатацијата на минералната суровина, во зоната на рудниците се гради и неопходната инфраструктура за нивно функционирање. Тука спаѓаат пристапни патишта, различни видови на градежни објекти во функција на преработка на минералната суровина и услови за безбеден престој на работната сила, машински хали, транспортни системи за руда, одлагалишта на јаловина кои може да претставуваат хидротехнички објекти (хидројаловишта) или класични насипни конструкции од крупнозрнест материјал (коповска јаловина, дробина, згура, летечка пепел итн.), тунели, пристапни рампи, усеци, преливни органи, окна и друго. За сите овие видови на објекти е потребно да се извршат соодветен обем на геотехнички истражувања и испитувања, со цел да се утврдат условите на нивно фундирање и функционалност во целосниот период на предвидено користење. Кај одредени видови на објекти во тек на време се јавува потреба од санација, надоградба или „преместување“, што повторно само по себе наметнува потреба од изведба на соодветен обем на геотехнички истражувања и испитувања. Објектите кои се карактеризизираат со особено висок ризик по околината, каде се категоризирани, пред сè, хидројаловиштата и обиколни тунели за истите, бараат редовен геотехнички мониторинг кој се состои од повеќе компоненти на набљудување и контрола на материјалите и околната природна средина.

Во трудот се презентираат анализи на постојни домашни и странски подзаконски акти кои се однесуваат на инженерскогеолошките и геотехничките истражувања, согледувања за обемот на истражувања и испитувања, а дадени се и предлог препораки за подобрување на законската регулатива кај нас на ова поле.

2. АНАЛИЗА НА ЗАКОНСКИ АКТИ КОИ СЕ ОДНЕСУВААТ НА ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ И ГЕОТЕХНИЧКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА ЗА ЦЕЛИТЕ НА ИСТРАЖУВАЊЕ НА НАОЃАЛИШТАТА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВНИ И НИВНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА ВО МАКЕДОНИЈА

Во актуелниот закон за минерални суровини (ЗАКОН ЗА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ „Службен весник на Република Македонија“ бр. 136/12, 25/13, 93/13, 44/14, 160/14, 129/15, 192/15, 39/16, 53/16, 120/16, 189/16 и 7/19, инженерскогеолошките истражувања и испитувања се споменуваат во контекст на геолошки истражувања и испитувања кои се вршат заради „запознавање на развојот, составот и градбата на земјината кора и утврдување на геолошките, хидрогеолошките и геотехничките особини на тлото за потребите на изградба на објекти, просторно планирање, уредување на просторот и заштита и унапредување на животната средина“. Особено е нагласено во делот на детални геолошки истражувања, дека геотехничките особини на тлото е важно да се одредат за потребите на изградба на одредени инвестициони објекти. Во делот од законот кој се однесува на управувањето со отпадот од минерални суровини, посочено е дека треба да се обезбеди „долгорочна геотехничка стабилност за сите хидројаловишта или одлагалишта кои се издигнуваат над површината на земјата, која постоела пред почетокот на работата на инсталацијата за управување со

отпад“. Ова значи дека е потребно целосно познавање на инженерскогеолошките и геотехничките карактеристики на природното тло врз кое се градат овие инсталации за отпад, но, иако не е потенцирано, се подразбира и познавање на геотехничките особини на отпадниот материјалот од кој се градат одлагалиштата.

Во Правилниците за содржината и начинот на изработка на геолошката документација за вршење на основни и детални геолошки истражувања (Сл. весник на Република Македонија 138/2007), пропишана е содржина на Елаборат за инженерскогеолошки истражувања. Од Правилникот кој се однесува на документација на ниво на детални истражувања се констатира дека обемот на истражувања и испитувања од овој карактер не е дефиниран, туку тоа е оставено на слободна проценка на истражувачите. Ваквата констатација важи како за самиот простор на идната работна средина во која ќе се одвива ископот (површинска или подземна експлоатација) така и теренот во зона на идните инфраструктурни објекти во рамки на предвиден рударски комплекс. Оттука, може да се констатира дека Правилникот не е во согласност со современите геотехнички пристапи за целите на проектирање на градежни објекти кои треба да се почитуваат, т.е. Еврокод 7 како воедначени кодови за градење (и геотехничо инженерство). Во овие кодови се дадени соодветни препораки кои се однесуваат на обемот на потребни истражни работи за целите на проектирање на градежни објекти, а во зависност од геолошката сложеност на теренот. Соодветни препораки се дадени подолу.

Согласно актуелниот Правилник за класификација и категоризација на резервите за цврсти минерални суровини и водење евиденција за нив (Сл. весник на СФРЈ бр. 53 од 1979 год.), и за целите на прекатегоризација на рудните резерви, покрај другото, предвидено е да се изврши и соодветен обем на испитувања на физичко-механичките особини на карпестите маси со кои би се утврдило дали го поседуваат потребниот квалитет за нивна примена во стопанството. Во членот 29 од овој Правилник е наведено дека во содржината на Елаборатот за резервите на минерални суровини соодветно внимание треба да биде посветено и на инженерскогеолошките карактеристики на лежиштето. Сепак, и во овој Правилник нема насоки за дефинирање на оптималниот обем на истражувања од инженерскогеолошки карактер кои треба да се реализираат.

Во Правилникот за технички нормативи за подземна експлоатација на метални и неметални минерални суровини (Сл. весник на СФРЈ бр. 24 од 1991 год.), физичко-механичките карактеристики на карпите се споменуваат во контекст на изработка на одредени видови подземни простории и методи на подземна експлоатација, со посочување дека треба да се познаваат „детално“, но без никакви понатамошни конкретни насоки за начинот на нивно одредување, начин на обработка и анализа на податоците, и нивно вклучување во проектирањето.

Во Правилникот за технички нормативи за површинска експлоатација на минерални суровини (Сл. весник на СФРЈ бр. 04 од 1986 год.), се зборува за потреба од одредување на физичко-механичките и геомеханичките осовини на карпите, како подлога за изградба на одлагалишта, каде, пред сè, е посочено дека „лежиштата што ќе се експлоатираат мораат да бидат претходно истражени во поглед на геомеханичките и хидрогеолошките карактеристики на карпестите маси и на корисната суровина“ а пред „отворањето на површинскиот коп мора да се провери геомеханичката стабилност за косините на објектите за отворање на копот, работната и завршната косина на копот, работната и завршната косина на одлагалиштето и носивоста на подлогата на одлагалиштето“. Во однос на обемот на геотехничките испитувања истражувања нема особени насоки, освен еден став кој се однесува на бројот на потребни профили за анализа на стабилноста (дека зависи и од „...побитните промени на геомеханичките карактеристики на земјиштето“) и став кој задолжува детално испитување на земјиштето „со доволен број геомеханички истражни работи“. За јакоста на смолкнување се бара „степен на сигурност од најмалку 75%“!? Се посочува и дека при секоја промена, преместување и сл., потребно е детално да се осознае геотехничката градба на теренот.

Во поглед на критериумите за прифатлив фактор на сигурност се приложени табели (види Табела 1 и Табела 2 во прилог).

Во поглед на начинот на одредување на механичките особености на карпите само е посочено дека треба да се утврдат, но не е посочено на кој начин и со кој обем во однос на големината и спецификите на истражниот простор.

Во Правилникот за технички нормативи за површинска експлоатација на архитектонско-градежен камен (украсен камен), технички камен, чакал и за преработка на архитектонско-

градежен камен ("Сл. лист на СФРЈ" бр. 11/86) се споменуваат инж.гео истражувања; во член 7 се потенцира: аголот на наклонот на работната косина на етажите на откопување јаловина може да изнесува најмногу до 90° ако стабилноста се докаже со испитувања; според член 13 висината на етажите на кои се врши експлоатација на камен мора да се определи во согласност со геолошките и инженерско-геолошките својства на карпата, начинот на откопување и механизацијата што се користи на тој коп; согласно член 14 аголот на наклонот на работната косина на етажата при добивање на блокови може да изнесува до 90°, ако стабилноста на етажата се докаже со испитувања; член 15 условува да неквалитетни делови на карпата смеат да се остават во косините на етажата на добивање блокови само ако се доволно стабилни и ако со тоа не се загрозуваат работите за добивање блокови; Во делот кој се однесува на експлоатација на технички камен, според член 93 работната висина на етажата се определува со проектот, со тоа што се замаат предвид геомеханичките својства на карпената маса и технологијата на добивање и, по правило, изнесува најмногу 30 m . По исклучок од одредбата на став 1 од овој член, се дозволува и поголема висина, ако се утврди со проектот.

Во Правилникот за содржина на рударски проекти (Сл. весник на РМ бр. 128/07) во член 4 се споменуваат геомехнички карактеристики на минералните суровини и придружни карпи; Во член 10 е потенцирано дека „Одредувањето висина на етажни и работни и завршни косини, како и висина на одлагалиштето, и јаловини зависи врз основа на резултатите од физичките и геомеханичките својства на наслагите конструкцијата на откопот и јаловиштата"; Според член 17 секој Дополнителен рударски проект за отворање и експолатација на нови хоризонти, ревири, делови од рудници ги содржи сите елементи утврдени со овој Правилник за главни рударски проекти. За дополнителен рударски проект за нови рударски извозни окна и ветерни окна нема дефинирано таква обврска, а исто важи и за Упростен рударски проект за работа на објектите и постројките во постојните рудници и површински откопи, кои не се опфатени со главниот и рударскиот проект. Од овде произлегува дека и за фазата на изработка на Дополнителни рударски проекти се неопходни соодветни инженерскогеолошки и геотехнички испитувања и анализи.

Во член 22 од истиот Правилник нагласено е дека проектите за изведување на рударски истражни работи ги содржат сите предвидени рударско-геолошки работи, коишто се опфатени со Програмата за вршење на истражување, како и услови кога треба да се заокружи процесот на нови или стари објекти кои треба да се реконструираат или да им се промени намената. Поткопи-хоризонти, вентилациони окна, производни окна, вентилациони ходници и пречници и ходници за одводнување, како и водособирници, раскопи, усеци и други објекти кои сами за себе претставуваат целина.

2.1. Анализа на законски акти кои се однесуваат на инженерскогеолошки и геотехнички истражувања и испитувања за целите на истражување на наоѓалиштата на минерални суровини и нивна експлоатација во Австралија

Со цел да се изврши анализа на актуелните состојби на оваа тема во светот, спроведено е истражување на стручна литература достапна од интернет. Се констатира дека делот на инженерскогеолошките и геотехничките истражувања за целите на карактеризација на карпестите маса во рамки на самите рудни тела или околните карпи постојат само одреден број на достапни правилници или упатства, а обемот на истражувања и испитувања се одредува на различни начини зависно од фазата на истражување, начинот на експлоатација и генетскиот вид на наоѓалиште. За повеќето земји од светот овие правилници и упатства не се јавно достапни, освен за Австралија, па истите подолу се анализираат. Во документот „Geotechnical considerations in underground mines (Guideline)" 1997 Mosbhab – Mines Occupational Safety and Health Advisory Board Approved Document no. ZME723QT, Government of Western Australia, Department of industry and resources, е даден предлог колкав процент од истражното јадро треба да се картира од геотехнички аспект, а во зависност од фазата на истражување (Табела 3).

Авторите на ова Упатство посочуваат дека независно од бројот на геотехнички картирани дупнатини, од основно значење е да дупнатините кои се картирани бидат репрезентативни за условите на теренот во зоната на рудното тело и околните (придружни карпи) на потенцијалното наоѓалиште за експлоатација. Во документот

„Geotechnical considerations in open pit mines (Guideline)“ 1999 Mosbhab – Mines Occupational Safety and Health Advisory Board Approved, Government of Western Australia, Department of industry and resources, ISBN 0 7309 7807 9, е посочено дека размерот и обемот на геотехнички истражувања за целите на проектирање на површински коп треба да биде поголем кога геологијата е покомплексна (кога нивото на геотехничка неизвесност е висока), копот е длабок и има предвиден долг животен век, и/или последиците од лом би биле големи. Се потенцира дека управните тела на рудникот мора да обезбедат дека се осигурани вообичаените барања во поглед на геотехнички податоци за целите на проектирање на отворени копови, соодветно на големината на проектот. Конечниот проект на површинскиот коп треба да се потврди со соодветни геотехнички методи, земајќи ја предвид проценката на ризик, која ги вклучува сите параметри релевантни за стабилноста на тој вид на коп и безбедноста и економичноста на рударската активност. Оттука, произлегува дека за коповите со подолг век на експлоатација се бара повисоко ниво на геотехничка осозненост уште во најраните фази на развој на проектите и за време на работата, со цел да се намали нивото на неизвесност за карпестата маса и со тоа обезбеди подобра контрола/управување со зголемениот ризик.

Во документот Mines safety and inspection act 1994, Mines safety and inspection regulation 1995, ver.6.0, 21.06.2021 год., јасно се посочени сите потребни геотехнички аспекти на кои управувачките структури треба да водат сметка за време на проектирањето на рудниците, во фаза на работа, како и за целите на нивно затворање после завршување на експлоатацијата.

Во документот Geotechnical guideline for terminal and rehabilitated slopes - Extractive industry projects, Victoria State Government, September 2020, посочена е потребата да се изврши целосна геотехничка проценка на предложен проект доколку ископот на било која од завршните косини надминува 15 метри. Проценката треба да ја изврши компетентна личност за време на иницијалното планирање и фазата на проектирање. Во самиот документ се посочува и на друг правилник кој се однесува на геотехничките аспекти при проектирање на јаловишта.

Интересни се наодите во трудот на Murphy and Barnett 2018, кои го третираат проблемот на одредување на обем на истражни работи за геотехничка карактеризација на едно наоѓалиште во фазата на студија на предизводливост, а разгледани се три типа на наоѓалишта: профирски, сулфидни епитермални наоѓалишта на злато и сребро, и наоѓалишта во орогени појаси контролирани од раседни структури. Според овие автори, како минимални потребни работи согласно соодветно изготвена програма за геотехнички испитувања се сметаат:

Ревизија на општата истражна програма за дупчење – Присуство на терен и дискусија со главниот теренски геолог, со разгледување на јадрото и дискусија за прибраните податоци. Важен аспект е запознавањето со алтерациите и нивниот интензитет, и како тие се однесуваат во тек на време (кај набљудуваното јадро). Обемот и типот на раседните структури кои ги пресекува јадрото се важни за да се дефинираат примарните и секундарните структури уште во раната фаза на развој на проектот.

Површинско картирање – доколку постојат доволен број на површински изданоци или засеци за пристапни/сервисни патишта, треба да се спроведе структурно и геотехничко картирање. Во исто време, може да се одредат профилите на распаѓање на карпата и нивната моќност.

Истражно дупчење – Обемот на истражни дупнатини со геотехнички третман треба да се дефинира после согледување на резултатите од ревизијата на општата истражна програма и површинското картирање, како и во консултација со одговорните истражен геолог, металург, геохемичар, минералог.

Преку примена на овој пристап се создаваат услови за подготовка на оптимизирана програма за истражни дупчења која ќе ги даде одговорите на најважните прашања во предфизибилити фазата од проучување на едно наоѓалиште. Во исто време, се постигнува и ефикасност во финансиското работење на концесионерот. Независно од типот на наоѓалиште, авторите ги донесуваат следните заклучоци:

– важно е да се одреди типот на алтерација и интензитетите на поедините алтерации

– важно е да се проучат сите достапни порано изведени истражни дупнатини (структури, алтерации, раседни зони) од фотографии или достапно јадро.

– во зависност од растојанието на дупнатините и сложеноста на наоѓалиштето, да се развие блок модел во кој јасно ќе се дефинираат границите на геотехнички домени на цврсти и меки карпи (за дадениот степен на истраженост).

– да се одреди број на пукнатини и зачестеност на пукнатини. Да се направи обид за дефинирање на основните системи на пукнатини во однос на пократките пукнатини на ладење.

– да се карактеризира интензитетот на микро-пукнатини во различни литолошки, алтерациони и структурни домени и да се направи врска со јакоста на карпата на ниво на монолит.

– да се подготви програма за лабораториско тестирање која ќе овозможи добивање на репрезентативни податоци за јакоста на смолкнување на карпата и нејзината варијабилност во однос на алтерациоиите типови и нивниот интезитет.

Во документот „Guidelines under MCDR (Mineral Conservation and Development Rules) for United Nations Framework Classification of Mineral Reserves / Resources“ дефинирани се основни фази од проектите т.е. кога треба да се спроведе соодветен обем на геотехничките истражувања и испитувања. Сумарно, независно од типот на генетскиот тип на наоѓалиште се дадени насоки да во предфизибилити студиите се соберат основни детали за целите на изградба на објекти, а во физибилити-фазата да се одредат сите услови на работната средина (геотехничко-инженерско-геолошки како за самата зона на ископ на руда, така и за сите инфраструктурни објекти.

Read и Stacey (2009), во публикацијата „Guideline for Open Pit Slope Design“ CRC Press ја даваат Табела 4 за критериум на прифатливост за анализа на стабилност на завршни или рехабилитирани косини.

Произлегува дека кај разгледуваните документи постои одредена неусогласеност во однос на фазноста на реализација на истражувањата од геотехнички аспект, што наметнува само по себе потреба од усогласување и на интернационално ниво. Оваа проблематика е потребно да се анализира во рамки на стручните меѓународни друштва од областа на механиката на карпи, инженерската геологија и рударството.

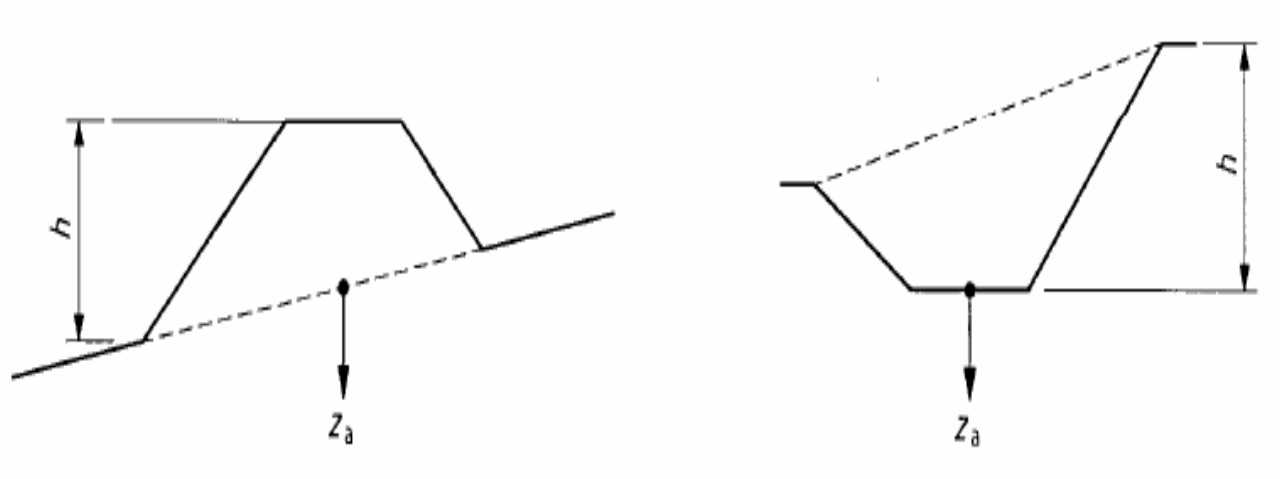
2.2. Препораки за дефинирање на задолжителен минимален обем на инженерско-геолошки и геотехнички истражувања и испитувања за различни цели во рударството

Врз база на стекнатото искуство во учество и изработка на инженерскогеолошка и геотехничка документација за повеќе наоѓалишта од различна генетска група во Македонија, во продолжение се презентирани препораки за дефинирање на минимален обем на теренски истражувања (Табела 6) и лабораториски испитувања кај неметалични, метални и наоѓалишта на енергетски суровини т.е. јаглен (Табели 7, 8 и 9). Се напоменува дека овие препораки треба да бидат предмет на понатамошна дискусија, но се цени дека овозможуваат еден систематски пристап при одредувањето на оптималниот обем на истражувања и испитувања. Секое поединечно наоѓалиште се карактеризира со свои специфики од генетски, морфолошки и квантитативен аспект, па оттука изнесените препораки треба да се почитуваат но и прилагодат на соодветната ситуација. Во однос на истражните дупчења кои се вршат за целите на утврдување на рудните резерви, а кои дупнатини генерално се подлежни на геохемиски испитувања, потребно е да се изврши оптимизација и истите дупнатини да се искористат и за геотехничка карактеризација на карпестата маса.

Со цел да се постигне соодветен квалитет на изработка на инженерско-геолошката и геотехничката документација, во сите процеси на планирање на општите и специјалните истражно-испитателни програми треба уште во најраните фази на развој на проектите да се вклучат специјалисти од соодветните области.

Што се однесува до геотехничките истражувања и испитувања за целите на проектирање на неопходните инфраструктурни објекти, истите треба да се реализираат согласно на препораките од Еврокод 7, дел 2 (ЕК 7-2 Ground investigation and testing) (Табела 5). Тие се однесуваат на т.н. геотехничка категорија 2, каде спаѓаат објекти со релативно стандардна сложеност и во просечни геолошки услови. Поради тоа, и во рамките на ЕК 7-2 се наведува дека за многу големи или многу комплексни проекти, некои од истражните места се водат до поголеми длабочини од наведените. Воедно, поголема истражна длабочина треба да се избере секогаш кога се претпоставуваат неповолни геолошки услови, како што се слаби или стисливи слоеви под слоевите со поголема носивост (Слика 1). Овие елементи, т.е. зависност на обем на истражни работи од геолошка и конструктивна сложеност, се предвидува да бидат подетално опфатени во следната генерација на Еврокод 7, која се планира да се објави во 2022/23 год. Од друга страна, за објекти планирани врз релативно едноставен терен, длабочината на истражување може да

биде z_a = 2 m, но ако геологијата е сложена, тогаш барем една дупнатина треба да се спушти на минимум z_a = 5 m. Ако на местото на планираната основа на конструкцијата се наиде на камена формација, тоа треба да се земе како референтното ниво за z_a. Исто така, ЕК 7-2 дава насока и за земање на предвид и на состојбите на подземните води, како и дека за конструкции што држат вода, z_a треба да се одреди како функција на планираното ниво на зафатената вода, хидрогеолошките услови и методот на градење (Слика 1).



a) насип b) ископ/засек

Сл. 1. Шематски приказ за дефинирање на длабочина на истражни работи за градежни објекти кај рударски комплекс

Управувањето на хидројаловиштата и геотехничката категоризација на теренот и материјалите од кои се градат хидројаловиштата треба да се врши согласно јасно дефинирани правилници и закони како што тоа е сторено во многу земји од светот (види на https://www.tailings.info /knowledge/guidelines.htm). Бидејки овие објекти се со највисок ризик по околината, потребна е поширока дискусија со градежни, хидротехнички и други инженери, со цел соодветно усогласување и доработка на законската регулатива за овие објекти. Регулативата која се однесува на геотехнички мониторинг на високоризични објекти и длабоки ископи исто така треба да биде предмет на поширока дискусија.

2. НАМЕСТО ЗАКЛУЧОК

Врз основа на спроведените анализи може да се констатира дека постои реална потреба од доуредување на законската регулатива која ги третира инженерската геологија и геотехниката во рамките на истражувањето и експлоатацијата на минералните суровини во Македонија. Притоа се потенцира дека во сите идни постапки во оваа насока е потребно да се вклучат сите релевантни чинители во државата, а во целост да се следат и препораките од Евроводите и усвоениот национален анекс. Неопходно е да се редифинираат и критериумите за прифатливост кај анализите на стабилност, а покрај фактор на сигурност да се вклучи во предвид и веројатноста на лом како дополнителен показател. Во актуелната регулатива не е соодветно третирана природната и иницирана сеизмичност на теренот, што треба да биде практика имајки ги во предвид регионалните сеизмички услови. Користењето на акредитирани лаборатории треба да се воведе за сите цели на истражувањата. Имајќи ја предвид законската обврска на компаниите и физичките лица за лиценцирање и овластување во различни области во инженерството, во соодветните закони и подзаконски акти треба јасно да се дефинира кој профил на инженери се овластени да вршат инженерскогеолошки и геотехнички истражувања и испитувања за целите на истражување и експлоатација на минерални суровини. Истражувањето во трудот покажа дека најголемиот дел од правилниците и другите подзаконски акти се од поранешната СФРЈ и истите во основа се застарени со ситуација од пред 40-тина години и повеќе. Се препорачува стручните друштва во областа на геологијата и рударството да покренат иницијатива во Минис-

терството за економија, Институтот за стандардизација, Институтот за акредитација, Комората за Овластени Архитекти и Овластени Инженери, за отпочнување на постапка за ажурирање и пред се хармонизирање на законите, правилниците, стандардите и нормативите што важат при истражувањето на минералните суровини во нашата држава со оние што важат во ЕУ. Ова секако е сложен процес кој ќе бара вклучување на повеќе заинтересирани страни и соодветен ангажман на институциите и стручните лица од праксата.

ЛИТЕРАТУРА

Eurocode 7 Geotechnical design Part – 2: Ground investigation and testing

Geotechnical guideline for terminal and rehabilitated slopes - Extractive industry projects, Victoria State Government, September 2020

Geotechnical considerations in open pit mines (Guideline)“ 1999 Mosbhab – Mines Occupational Safety and Health Advisory Board ApproVed, Government of Western Australia, Department of industry and resources, ISBN 0 7309 7807 9

Geotechnical Considerations In underground mines (Guideline)“ 1997 Mosbhab – Mines Occupational Safety and Health Advisory Board Approved Document no. ZME723QT, Government of Western Australia, Department of industry and resources Mines safety and inspection act 1994, Mines safety and inspection regulation 1995, ver.6.0, 21.06.2021

Guidelines under MCDR (Mineral Conservation and Development Rules) for United Nations Framework Classification of Mineral Reserves / Resources

Закон за минерални суровини – Сл. весник на РМ“ бр. 136/12, 25/13, 93/13, 44/14, 160/14, 129/15, 192/15, 39/16, 53/16, 120/16, 189/16 и 7/19

Murphy B. and Barnett W. Approach to geotechnical characterization and slope data acquisition programs in different deposit types“ (XIV Congreso Internacional de Energia y Recursos Minerales, Slope stability 2018, April 10–13, 2018 Seville, Spain)

Правилник за содржина на геолошка документација за вршење на детални голошки истражувања – Сл. весник на Република Македонија 138/07

Правилник за содржина на рударски објекти – Сл. весник на РМ бр.128/07

Правилник за класификација и категоризација на резерви за цврсти минерални суровини и водење евиденција за нив – Сл. весник на СФРЈ бр.53/79 год.

Правилник за технички нормативи за подземна експлоатација на метални и неметални минерални суровини – Сл. весник на СФРЈ бр.24/91 год.

Правилник за технички нормативи за површинска експлоатација на минерални суровини – Сл. весник на СФРЈ бр. 4/86 год.

Правилник за технички нормативи за површинска експлоатација на архитектонско-градежен камен (украсен камен), технички камен, чакал и за преработка на архитектонско-градежен камен – Сл. лист на СФРЈ бр.11/86 год.

Read and Stacey (2009) „Guideline for Open Pit Slope Design“ CRC Press

ПРИЛОГ ТАБЕЛИ

Т а б е л а 1

*Критериуми за вредности на фактор на сигурност за одделни косини, на системите на косини и на завршните косини во меки карпи на копот (според Службен весник на СФРЈ бр.4 од 1986 год.)**

Показател	Фактор на сигурност *F*
Работни косини што се менуваат еднаш месечно	1,00 – 1,10
Работни косини на кои се движи механизацијата и транспортот	1,10 – 1,15
Систем на работни косини кога работи механизација и кога се врши транспорт	1,15 – 1,20
Косини што имаат подолг век на траење, бочни и завршни косини	1,30
Засеци на отварање во зависност од сложеноста на геолошките услови и технологијата на откопување	1,10 – 1,50
Работни етажи, при премин преку зоната на стари работи и други подземни простории	1,20 – 1,50

*Слична табела се дава и за завршни косини кај одлагалишта

Т а б е л а 2

*Критериуми за вредности на фактор на сигурност за одделни косини, на системите на косини и на завршните косини во цврсти карпи и одлагалишта (според Службен весник на СФРЈ бр.4 од 1986 год.)**

Показател	Фактор на сигурност *F*
а) Закоп	
Работни косини на парцијални етажи	1,00 – 1,05
Работни косини на систем на етажи	1,05 – 1,10
Систем на работни етажи со транспортни патишта	1,15 – 1,20
Завршни косини на коп	1,30 – 1,50
а) За одлагалиште	
Работни косини на парцијални етажи	1,05 – 1,10
Работни косини на парцијални етажи и систем на косини	1,10 – 1,15
Завршни косини на одлагалиште	1,30 – 1,50
Кршење на подлога и лизгање по подлога	1,50 – 2,00

Т а б е л а 3.

Предложен процент на истражно јадро кое треба да биде геотехнички картирано. Според Document no.ZME723QT, регулатива во Австралија

Фаза во развој на проектот	Предложен процент на јадро кое треба да се картира геотехнички (%)
Предфизибилити студија (предизводливост)	25–50
Физибилити студија	50–100
Во фаза на работа на рудникот	25–75

Т а б е л а 4

Критериум на прифатливост на анализа на стабилност на завршни или рехабилитирани косини, Според Read и Stacey (2009)

Последица од лом, влијание на јавното здравје, инфраструктурата, животната средина, земјиштетото или имотите	Прифатлив фактор на сигурност (Fs)	Прифатлива минимална веројатност на лом (%)
Не е сериозна	1,3	10
Средно сериозна	1,6	1
Многу сериозна	2,0	0,5

Т а б е л а 5

Преглед на распоред и длабочина на истражни работи за градежни објекти кај рударски комплекси согласно Еврокод 7-2 (верзија 2007 год.)

Објект	Линиски објекти (патишта, канали, цевководи, тунели) (*h* – висина на насип или ископ)	Брани (висина *h*)
Растојание помеѓу истражни работи (линиски)	20 – 200 m	25 – 75 m
Длабочина на истражни работи za од најниската точка (се зема повисоката вредност)	Насип: 0,8h < Za < 1,2h; Za ⟨ 6 m Ископ: Za ⟨ 2,0 m; Za ⟨ 0,4h	0,8h < Za < 1,2h; Za ⟨ 6 m

Т а б е л а 6

Предложен минимален обем на инженерскогеолошки и геотехнички истражувања и испитувања кај наоѓалишта на минерални суровини за зоната на ископување на минералната суровина (рудно тело и придружни карпи)

Вид на работа	Фаза на истражување на наоѓалиште или рудник во експлоатација				
Кабинетски анализи и теренски истражувања	Прелиминарни истражувања	Пред физибилити студии	Физибилити студии	Детални геолошки истражувања	Доистражувања и истражувања во фаза на експлоатација
Анализа и критички осврт за постојна геолошка-геотехничка документација од секаков вид		√	√	√	√
Теренска проспекција со главен геолог на проектот и усогласување на геотехничката истражна програма со општата програма за истражно дупчење	√	√	√	√	√
Инженерскогеолошко картирање на изданоци според препораки на ISRM, работни етажи или подземни простории, примена на Шмитов чекан		Карактеристични структури	Карактеристични структури.	Континуирано	Континуирано
Инженерскогеолошко картирање на јадро од истражни дупнатини по стандарди на ISRM (во % од вкупно предвиден обем на дупчење со јадрување) и изведба на „тилт тест“. Вклучително и дупнатини кои се вршат за одредување на резервите на минерални суровини (за геохемиски анализи)		√ (25-50%)	√ (50-75%)	√ (100%)	√ (100%)
Геотехничка класификација и карактеризација на карпите и почвите (која класификација ќе се примени зависи од намената и намената на истражувањето)		√	√	√	√
Дефинирање на водопропусноста со теренски опити (% од истражни дупнатини) (според Lugeon, Lefranc)			√ (10%)	√ (25-50%)	√ (10-25%)
Реализација на наменски дупчења до длабина на проектирани завршни косини (кај површински копови)*			5-10% од истражни дупнатини	10-25%	10-20%
Дефинирање на квазихомогени зони (3Д геотехнички домени, блок модели) и главните структури (раседи и раседни зони)**		(доверливост 25%)	(доверливост 50-75%)	(доверливост 75-100%)	(доверливост 100%)
Воспоставување на корелации помеѓу физичко-механичките параметри на карпите во издвоените геотехнички домени			√	√	√

*Зависно од геометријата на површинскиот коп и сложеноста на геологијата, се одлучува за позицијата на поставување на истражните И.Г. дупнатини, а се врши и усогласување со програмата за геолошко дупчење

**Задолжително за наоѓалишта на метални минерални суровини, во одредени услови и за неметални

***Обем на испитување на водопропусноста се усогласува со програмата за хидрогеолошки истражувања и испитувања

Т а б е л а 7

Предложен минимален обем на лабораториски испитувања од геотехнички карактер кај наоѓалишта на минерални суровини за зоната на ископување на минералната суровина (градежно-технички камен)

Лабораториски работи	Фаза на истражување на наоѓалиште или рудник во експлоатација				
	Прелиминарни истражувања	Предфизибилити студии	Физибилити студии	Детални геолошки истражувања	Елаборат за прекатегоризација на рудни резерви
Теренски опит за одредување на индекс на точкаста јакост според препораки на ISRM		10-20 проби од површина на терен	1 проба на секои 20-40 m истражно јадро	1 проба на секои 10-20 m истражно јадро	1 проба на секои 20 m истражно јадро
Едноаксијална јакост на притисок во сува и водозаситена состојба, со одредување на модул на деформабилност на 5% од предвидениот број на примероци		5-10 проби од површина на терен	1 проба на секои 40 m истражно јадро	1 проба на секои 10-30 m истражно јадро	1 проба на секои 20 m истражно јадро
Јакост на затегање		3-5 проби од површина на терен	1 проба на секои 60 m истражно јадро	1 проба на секои 20-40 m истражно јадро	1 проба на секои 40 m истражно јадро
Јакост на смолкнување по пукнатини			По еден опит од секој геотехнички домен	3-5 опити на 100 m истражно јадро	3-5 опити на 150 m истражно јадро
Испитувања за дефинирање на применливоста на градежно-техничкиот камен за зависно од намената (водовпивање, специфична тежина, постојаност на дејство на мраз, отпорност на абење, минералошко петрографски состав, порозност, присуство на сулфати, сулфиди, хлориди, сулфур и др.)		3-5 примероци од површина на терен или плитки раскопи	5-10 примероци од различни геотехнички домени	5-10 примероци различни геотехнички домени	3-8 примероци различни геотехнички домени

*Волуменска тежина се одредува на сите примероци кои се испитуваат за јакост на притисок и јакост на затегање. Доколку постојат поголеми варијации, се одредува и кај примероците за индекс на точкаста јакост

**Дел од испитувањата служат само за целите на геотехничка катактеризација на наоѓалиштата, а други и за целите на одредување на применливоста на материјалот за градежно-технички цели

***Местото на земање на проби за целите на изработка на Елаборат за прекатегоризација на рудни резерви да се нанесат на инженерскогеолошка карта

Т а б е л а 8

Предложен минимален обем на лабораториски испитувања од геотехнички карактер кај наоѓалишта на минерални суровини за зоната на ископување на минералната суровина (метални минерални суровини)

	Фаза на истражување на наоѓалиште или рудник во експлоатација				
Лабораториски работи	Прелиминарни истражувања	Предфизибилити студии	Физибилити студии	Детални геолошки истражувања	Елаборат за прекатегоризација на рудни резерви
Теренски опит за одредување на индекс на точкаста јакост според препораки на ISRM	5-10 проби од површина на терен	1 проба на секои 50 m истражно јадро	1 проби на секои 20 m истражно јадро	1 проба на секои 2-5 m истражно јадро	1 проба на секои 10 m истражно јадро
Едноаксијална јакост на притисок, со одредување на модул на деформабилност на 10% од предвидениот број на примероци	5-10 проби од површина на терен	1 проба на секои 40 m истражно јадро	2 проби на секои 40 m истражно јадро	1 проба на секои 30 m истражно јадро	1 проба на секои 30 m истражно јадро
Јакост на затегање	5-10 проби од површина на терен	1 проба на секои 40 m истражно јадро	2 проби на секои 60 m истражно јадро	1 проба на секои 30 m истражно јадро	1 проба на секои 30 m истражно јадро
Јакост на смолкнување по пукнатини		1 опит на секои 100 m истражно јадро	2 опити на секои 100 m истражно јадро	3 опити на 100 m истражно јадро	3 опити на 150 m истражно јадро
Трајност на карпите (Slake durability test)		1 опит на секои 100 m истражно јадро	2 опити на секои 100 m истражно јадро	3 опити на 100 m истражно јадро	3 опити на 150 m истражно јадро

*Волуменска тежина се одредува на сите примероци кои се испитуваат за јакост на притисок и јакост на затегање. Доколку постојат поголеми варијации, се одредува и кај примероците за индекс на точкаста јакост

**Зависно од геолошката сложеност, т.е. бројот на присутни алтерации во одредени геотехнички домени и присутни структури, предложениот обем на лабораториски испитувања може да варира во граници од 25-30% (не важи за параметарот индекс на точкаста јакост)

***Обемот на опит за трајност на карпите може да варира и во граници до 100%, зависно од степенот на присутни алтерации

Т а б е л а 9

*Предложен минимален обем на лабораториски испитувања од геотехнички карактер кај наоѓалишта на минерални суровини за зоната на ископување на минералната суровина (енергетски минерални суровини – јаглен)**

Лабораториски работи	Фаза на истражување на наоѓалиште или рудник во експлоатација				
	Прелиминарни истражувања	Предфизибилити студии	Физибилити студии	Детални геолошки истражувања	Елаборат за прекатегоризација на рудни резерви
Класификациони опити, специфична и волуменска тежина, атербергови граници, природна влажност	1–2 проби од истражна дупнатина	1 проба на секоја промена на литолошка средина	1 проба на секој слој со моќност поголема од 4.0 m	1 проба на секој слој со моќност поголема од 2.0 m	1 проба на секој слој со моќност поголема од 2.0 m
Опити на директно смолкнување	1–2 проби од истражна дупнатина	1проба на секоја промена на литолошка средина	1 проба на секој слој со моќност поголема од 4.0 m	1 проба на секој слој со моќност поголема од 2.0 m	1 проба на секој слој со моќност поголема од 2.0 m
Триаксијални опити	1–2 проби од истражна дупнатина	1 проба на секоја промена на литолошка средина	1 проба на секој слој со моќност поголема од 4.0 m	1 проба на секој слој со моќност поголема од 2.0 m	1 проба на секој слој со моќност поголема од 2.0 m
Јакост на притисок на почви	1–2 проби од истражна дупнатина	1 проба на секоја промена на литолошка средина	1 проба на секој слој со моќност поголема од 4.0 m	1 проба на секој слој со моќност поголема од 2.0 m	1 проба на секој слој со моќност поголема од 2.0 m
Трајност на јаглен (Slake durability test)		1 композитна проба од сите слоеви на јаглен на 1000 m истражно јадро	1композитна проба од сите слоеви на јаглен на 500 m истражно јадро	1 композитна проба од сите слоеви на јаглен од секоја дупнатина	1 композитна проба од сите слоеви на јаглен од ја втора дупнатина
Едометарски опити		1 проба од истражна дупнатина	1 проба на секоја промена на литолошка средина	2 проби на секоја промена на литолошка средина	1 проба на секоја промена на литолошка средина

*Зависно од геолошката сложеност, т.е. групата и подгрупата на наоѓалиштето, согласно Правилникот за класификација и категоризација на рудни резерви, предложениот обем на лабораториски испитувања може да варира во граници 25-30%. Притоа, кај пониските категории се изведува поголем обем на испитувања.

2-ID-05
UDC: 556.388:556.36.047(497.75)

ИЗВЕДБА НА ПИЕЗОМЕТРИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА МОЖНИ ПАТИШТА НА ДВИЖЕЊЕ НА ШЕСТОВАЛЕТЕН ХРОМ СО ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ НИЗ ЖЕДЕНСКИОТ МАСИВ КОН ИЗВОРОТ РАШЧЕ

Стојан Михаиловски[1], Златко Илијовски[1], Ивица Андов[1], Војо Мирчовски[2]

[1]*Градежен Институт „Македонија“, Скопје, Република Северна Македонија*
[2]*Faculty of Natural and Technical Sciences, “Goce Delčev” University in Štip,*
Blvd. Blvd. Krste Misirkov 10-A, P.O, Box 210, 2000 Štip, Republic of North Macedonia
geozlatko @gim.com.mk

А п с т р а к т: Изведбата на два пиезометри во Жеденскиот карбонатен масив е со цел дефинирање на можни патишта на движење на Cr^{6+} со подземните води кон изворот Рашче. Изворот на загадување е индустриската депонија Југохром. Досега изведните пиезометри и испитувања поврзани со загадувањето со Cr^{6+} биле реализирани во неврзаните седименти и на контактот помеѓу Полошката котлина и Жеден, а сега се изведени пиезометри во Жеденскиот карбонатен масив и во правец на движење на подземните води. Индустриската депонијата Југохром се наоѓа на растојание од околу 30 km од градот Скопје, во зона на прихранување на изворот Рашче. На исток од депонијата на околу 100 m почнува Жеденскиот карбонатен масив, во кој се наоѓа карстен издан кој го прихранува изворот Рашче. Депонијата е резултат од работењето на комбинарот Југохром во периодот од 1955 до 2016. Помеѓу останатото во депнијата има количина од околу 350000 t бихроматно блато, кое во својот состав содржи Cr^{6+}. Депонијата континуирано продуцира загадување со Cr^{6+} во плитките подземни води во зоните на прихранување на изворот Рашче, односно неврзаните седименти од Долен Полог околу депонијата и низводно во реката Вардар, што е сериозна закана од можно загадување на подземните води во Женскиот карбонатен масив и изворот Рашче. За дефинирање на можните патишта на транспорт на хромот со подземните води низ Жеденскиот масив изведени се два пиезометри П-1 (длабок 220 m) и П-2 (длабок 435 m). Покрај останатите добиени резултати со ниванта изведба, од нив се земени примероци од вода за анализи. Резултатите од анализите покажаа дека, во однос на максимално дозволената концентрација (МДК) на Cr^{6+} (0,01 mg/l), во П-1 детектирана е концентрација на Cr^{6+} во граници на дозволеното (0,002 mg/l), додека во П-2 детектирана е за 3,6 пати зголемена концентрација на Cr^{6+} (0,036 mg/l).

Клучни зборови: шестовалентен хром, депонија, подземни води, загадување, Жеден, извор Рашче

CONSTRUCTION OF PIEZOMETERS TO DEFINE POSSIBLE ROUTES OF MOVEMENT OF HEXAVALENT CHROMIUM WITH GROUNDWATER THROUGH THE ZHEDEN MASSIF TOWARDS THE SPRING RASHCHE

A b s t r a c t: The construction of two piezometers in the Zheden carbonate massif is aimed at defining possible routes of movement of Cr^{6+} with groundwater towards the spring Rashche. The source of pollution is the industrial landfill Jugohrom. So far, piezometers and tests related to Cr^{6+} pollution have been realized in the unbound sediments and at the contact between the Polog valley and Zheden, and now piezometers have been constructed in the Zheden carbonate massif and in the direction of groundwater movement. The industrial landfill Jugohrom is located at a distance of about 30 km from the city of Skopje, in the recharge zone of the Rashche spring. To the east of the landfill, at about 100 m, begins the Zheden carbonate massif, in which there is a karst aquifer that recharges the Rashche spring. The landfill is a result of the operation of the factory Jugohrom in the period from 1955 to 2016. Among the rest in the landfill there is a quantity of about 350,000 t bichromatic swamp, which contains Cr^{6+}. The landfill continuously produces Cr^{6+} pollution in the shallow groundwater in the recharge zones of the Rashche spring, ie the unbound sediments from Dolen Polog around the landfill and downstream in the river Vardar, which is a serious threat of possible groundwater pollution in the Zheden carbonate massif and the spring Rashche. Two piezometers P-1 (220 m in depth) and P-2 (435 m in depth) were constructed to define the possible routes of chromium

transport with groundwater through the Zeden massif. In addition to the other results obtained with their construction, water samples were taken for analysis. The results of the analyses showed that, in relation to the maximum permissible concentration (MPC) of Cr^{6+} (0.01 mg/l), in P-1 a concentration of Cr^{6+} was detected within the permissible limits (0.002mg/l), while in P-2 it is detected a 3.6-fold increase in Cr^{6+} concentration (0.036 mg/l).

Key words: hexavalent chromium, landfill, groundwater, pollution, Zheden, spring Rashche

ВОВЕД

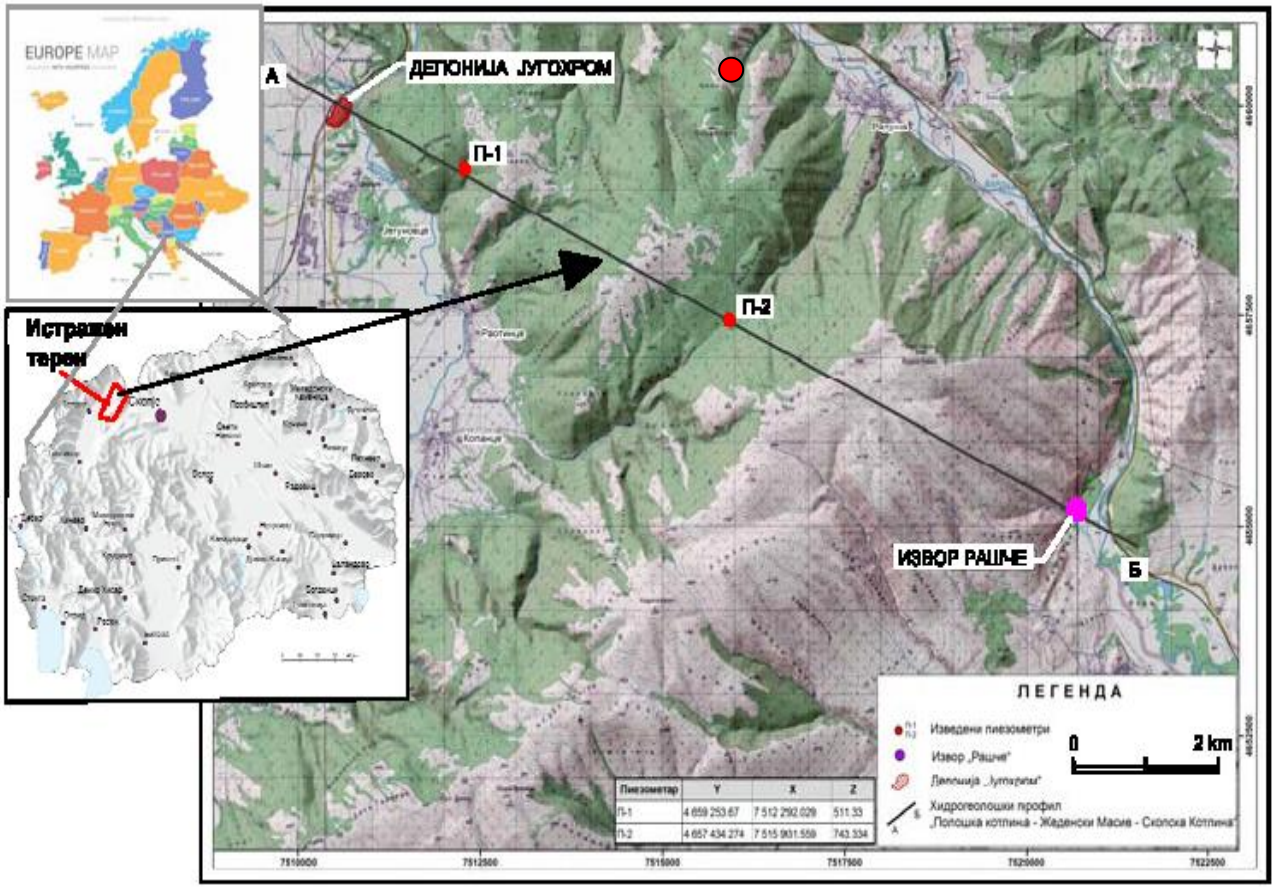
Истражуваниот терен се наоѓа во крајниот северозападен дел на Македонија (Слика 1). Во близина на депонијата, односно на исток од неа на растојание од околу 100 m почнува Жеденскиот карбонатен масив, во кој се наоѓа карстен водоносник, кој го прихранува изворот (врело) Рашче. Изворот Рашче е карстен извор со променлива вкупна издашност која се движи во рамките од 3,18 до 9,6 m^3/s или средна 5,15 m^3/s (податоци за 2007 до 2015 год., „Водовод“ – Скопје) што го прави изворот втор по големина во нашата држава. Околу 90% од населението од Скопје и Скопскиот регион, кој има околу 600.000 жители, и добар дел од стопанството потребите со вода ги задоволува од овој извор.

Шестовалентниот хром е еден од главните хемиски суровини кој во минатото често се користел во индустријата и поради тоа често е присутен во индустриски отпади, како што е случајот со депонијата Југохром. Помеѓу можните форми на хром, шестовалентниот е најтоксичен. Во изминатиот период се работени повеќе истражувања во Македонија кои ја опишуваат геологијата и хидрогеологијата на Полошката котлина вклучително и теренот околу индустриската депонија, а некои од нив се осврнуваат и на загадувањето со Cr^{6+} на подземните води од индустриската депонија Југохром во Јегуновце. (Кекиќ 1986, Радованович и др., 1989). Индустриската депонија во континуитет се до денес продуцира загадување на подземните води со Cr^{6+}. Во минатото се работени истражувања и технички решенија за прочистување на загадените води од депонијата со изведба на дренажни системи за зафаќање на контаминираните плитки подземни и процедни води со Cr^{6+} под депонијата и нивно прочистување во пречистителната станица во фабриката Југохром (Соро и др., 2001**).** Но, сепак проблемот со депонијата до денес не е трајно решен.

Исто така, во периодот од 2010 – 2015, за утврдување на содржината на Cr^{6+} во подземните и површинските води вршен е мониторинг на подземни води околу индустриската депонија, околу фабриката Југохром како и на поширокиот простор околу Јегуновце (Архива на „Сил-мак“ или поранешен „Југохром“). Со овој мониторинг е одредено присуство на Cr^{6+} кое било над МДК (>0,01 mg/l). Во кругот на комбинатот содржината на Cr^{6+} се движела во рамките од 0,21 – 14,23 mg/l, додека во околината на депонијата загадувањето со Cr^{6+} било поголемо и содржината се движела во рамките од 0,03 – 1751,30 mg/l. Помеѓу последни истражувања за загадувањето со Cr^{6+} на подземните и површинските води од депонијата Југохром и за подетално утврдување на хирогеолошките карактеристики на теренот околу депонијата во правец кон Жедескиот карбонатен масив се реализирани во текот на 2019 година **(**Илијовски и др, 2020). Со овие истражувања изведни се три истражни бунари и три пиезометри на просторот помеѓу депонијата и Жеден.

Со добиените резултати од анализите се констатирало дека најголемо загадување со Cr^{6+} кое е во рамките од 0,052 – 139,98 mg/l било регистрирано во близина на депонијата кај плитките подземни води односно кај водоносниците со слободно ниво. Кај артеските водоносници со субартеско ниво во некои од примероците, исто така, е регистрирано загадување со Cr^{6+} кое се движи од 0,017 – 0,041 mg/l. Од површинските води на река Вардар се направени две испитувања, пред и после депонијата. За седум пати зголемена концентрација на Cr^{6+} од 0,069 е констатирана после депонијата, а пред депонијата не било регистрирано Cr^{6+}. Но, досегашните испитувања за загадувањето со хром се однесувале на подземните води во пиезометри кои биле изведувани во близина на депонијата и на контакниот дел на Полошката котлина со Жеденскиот масив во неврзаните седименти. Со цел одредување на можните патишта на транспорт на хромот со подземните води низ Жеденскиот масив, во периодот февруари-мај 2021 изведени се два длабоки пиезометри во самиот Жеден (Слика 1). Изработени се и хемиски анализи на

примероци од води во постоечките пиезометри и ново изведените пиезометри на Жеден (П-1 и П-2). Резултатите од изведба на пиезометрите и анализите се презентирани во овој труд



Сл. 1. Географска позиција на истражуваниот терен

2. ИСТОРИЈАТ НА СТВАРАЊЕ И КАРАКТЕРИСТИКИ НА ДЕПОНИЈАТА ВО ЈЕГУНОВЦЕ

Идустриската депонија е резултат на работењето на хемиско металуршкиот комбинат поранешен „Југохром" или денешен „Силмак", во периодот од 1955 год. до 2016 год. кога имало производство на феролегури, феросилициум и силициум за потребите на металната индустрија, како и производство на натриум бихромат за потребите на хемиската и кожарската индустрија Моментално во фабриката нема никаква активност на производство. Во периодот од 1955 до 1994 како резултат на производниот процес на натриум бихромат се создавало хроматно блато кое на почетокот било депонирано во кругот на фабриката, а покасно било однесено на денешната депонија и таму било продолжено со депонирање на депонијата се до 1987 год., како чисто бихроматно блато, а од 1987 до 1994год. било мешано со металуршка шлака. Депонијата зафаќа површина од околу 7 ha, со висина од 30 m, просечна околу 23 m. Волуменот на депонијата изнесува околу 1 200 000 m^3, со депонирано бихроматно блато од околу 350 000 t. Остатокот на материјал е металуршка шлака, градежен шут, комунален отпад од фабриката и околните населени места. Бихроматното блатао во својот состав содржи Na_2CrO_4 2.1% од кој 0,7% во вид на Cr^{6+}, а содржината на Cr_2O_3 изнесува 5%.

Самата депонија е лоцирана на првата речна тераса на р. Вардар и многу блиску до карстниот масив Жеден, поради што депонијата претставува сериозен потенцијален ризик фактор по однос на загадувањето на Жеденскиот карстен водоносник, од каде извира изворот Рашче (Слика 2). Истата претставува една од 16-те врели точки (односно големи загадувачи) во Македонија.

Денес голем проблем е подолготрајното нефункционирање на пумпната станица под депонијата, а како резултат на тоа исц-едокот од депонијата со висока содржина на Cr^{6+} се прелева и истекува дирекно во р. Вардар и кон Жеденскиот масив (Слика 2).

Сл. 2. Исцедок од депонијата со содржина на Cr^{6+} во непосредна близина на р. Вардар и Жеден

3. ГЕОЛОШКИ И ТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОШИРОКАТА ОКОЛИНА

Според геотектонската реонизација на Македонија, истражуваниот терен припаѓа на Западно-македонската зона, а претставува дел од крајниот североисточен дел на Полошкиот неотектонски грабен **(**Арсовски, 1997). Пиезометрите П-1 и П-2 се изведени во рамките на Жеденскиот карбонатен комплекс. Тој претставува релативно издигната морфоструктурна единица помеѓу Полошката и Скопската депресија со максимална надморска висина од околу 1260 м.н.в.. Изграден е од тријаски мермеризирани варовници, со дебелина од 900 m и површина околу 133 km^2. Со околните тектонски единици контактира преку крупни раседи. Од североисточна и источна страна е ограничен со Радушкиот блок, од југоисточната со Скопскиот неоген басен, од јужна страна со Сувогорскиот блок, додека на запад е ограничен со Полошката неотектонска депресија. Полошката Котлина претставува типичен двостран грабен исполнет со горно миоценско-плиоценски седименти претставени со чакалесто-песокливи и глиновити седименти. Овие седименти во реонот на Долен Полог се со моќност до 600 m. (Думурџанов Н., 2008). Подземните води во оваа котлина се акумулирани во неогени (миоцен-плиоцен) и квартерни неврзани седименти.

Според хидродинамичките карактеристики на нивото, подземните води се јавуваат во водоносни слоеви со слободно ниво и водоносни слоеви со артеско-субартеско ниво. Плиоценските седименти на површината се покриени со квартерни седименти, освен на потегот село Јегуновце - с. Орешје - с. Вратница, каде се среќаваат на површината. Квартерните седименти се вени со езерски, флувиоглацијални, пролувијални и алувијални седименти. Основата на Полошката

котлина и нејзините периферни планински делови се изградени од палеозојски и мезозојски карпи **(**Петковски П. и др. 1985). Палеоз-ојските карпи воглавно се претставени со зелени шкрилци, хлоритепидот-серицит-кварцни шкрилци, албитхлорит-епидот-серицитски и други шкрилци, графитични шкрилци, а од еруптивните карпи застапени се гранитите, кои најчесто се ушкрилени.

Мезозојските карпи главно се претставени од: варовници, аргилошисти, песочници, дунити, харбургити, серпентинити и други. Основата на седиментите е изградена од метаморфозирани дијабази, палеозојски шкрилци и карбонатни карпи.

Индустриската депонијата е лоцирана на првата речна тераса на р. Вардар, односно на влезот на р. Вардар во Дервенската клисура.

4. ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОШИРОКАТА ОКОЛИНА

Хидрогеолошката градба на пошироката околина на истражниот терен е прикажана на Слика 3 (Илијовски, 2013; Петковски и др., 1985; Јанчевски и др., 1982). Врз основа на извршени голем број на истражувања, добиени се доста детални податоци за хидрогеолошките карактеристики за истражниот терен. Истражниот терен, од хидрогеолошки аспект регионално не претставува една хидрогеолошка целина, туку е поврзан со околните структури. Во зависност од застапените типови на порозност во карпестите маси на пошироката околина на Жеден застапени се следните типови на водоносници/издани:

1. Збиен тип на водоносници,
2. Карстно-пукнатински тип на водоносници,
3. Пукнатински тип на водоносници и
4. Терени без водоносници.

Збиен тип на водоносници со слободно ниво е формиран во неврзаните седименти на Полошката котлина од терциерна и квартерна старост, кои се одликуваат со интергрануларна порозност. Во рамките на овие водоносници според издашноста може да се издвојат следните типови на водоносници:

Водоносниците со слаба водопропусност и водоносност - се формирани во заглинетите делувијални и пролувијални седименти по ободите на Полошката котлина и во варовничката глиновита дробина која се јавува во некои раседни зони по ободот на котлината, односно во контакната зона на Жеденскиот масив со Полошката котлина. Овие терени спаѓаат во класа 11 и се карактеризираат со коефициент на филтрација Kf = 0,086 – 0,86 m/den, коефициент на трансмисивност T = 15 – 50 m^2/den и издашност на бунари Q_{bun} = 0,5 - 2 l/s.

Водоносници со средна водопропусност - Формирани се во пролувијалните седименти изградени од чакал и песок како и глиновити чакалести седименти кои се јавуваат по ободните делови на Полошката котлина. Овие терени спаѓаат во класа 12 и се карактеризираат со Kf = 0,86 – 8,6 m/ден, T = 50 – 300 m^2/ден и Q_{bun} = 2 – 10l/s.

Водоносници со средна до висока водопропусност и водоносност - Овие водоносници се формирани во современите алувијални седименти и квартерно езерските и алувијално – терасните седименти.

Современи алувијални седименти - кои се изградени од разногранулирани песоци и чакали, наместа глиновити се јавуваат по течението на реката Вардар. Овие седименти спаѓаат во класа 13 и се карактеризираат со $Kf = n \times 10^{-4}$ m/s, T = 30 – 1500 m^2/den и Q_{bun}= 10 – 25 l/s.

Квартерно– езерските и алувијално терасните седименти - ја покриваат целата Полошка котлина до длабочина од околу 20-30 m. Кај овие седименти промената на литолошките единици е многу честа, како во хоризонтален, така и во вертикален профил, поради што и се јавува разлика во коефициентите на филтрација. Спаѓаат во класа 12, 13 и генерално се карактеризираат со Kf = 8,64 – 86,4 m/den, T = 50 – 1500 m^2/den и Q_{bun} = 5 – 25 l/s.

Движењето на подземните води во Полошката Котлина е со генерален правец од подножјето на Шар Планина кон р. Вардар, како и од Долен Полог кон Жеденскиот карбонатен масив и изворот Рашче. Нивоата на подземна вода во средишните и источните делови на котлината се доста плитки, односно 2 – 5 m.

Водоносници со субартеско и артеско ниво. Со последните реализирани истражувања со изведба на истражни бунари и пиезометри на теренот помеѓу депонијата Југохром и Жеденскиот масив во неврзаните седименти од Полошката Котлина потврдено е присутство на збиен тип на водоносници со слободно ниво и водоносници со артеско и субартеско ниво (Илијовски и др. 2020). Во хидрогеолошки аспект артеските водоносници се врзани за комплексот на водопропусни и водонепропусни

горно плиоценски езерски седименти на просторот од Долен Полог.

Генерално, седментите на овој терен се карактеризираат со $Kf = n \times 10^{-4} – n \times 10^{-5}$ m/den, $T = 50 – 300$ m^2/den. Исто така, со дупчење констатирана е варовничка глиновита дробина на контактот Жеденскиот масив со неврзаните седименти. Тие се слабо до водонепропусни, со коефициент на филтрација во рангот $Kf = n \times 1\ 0^{-7}$ m/s.

Карстно-пукнатински тип на водоносник е формиран во рамките на тријаските карбонатни карпи од кои е изграден Жеденскиот масив. Жеденскиот карстен водоносник е од исклучително значење поради изворот Рашче, кој извира на тектонската граница помеѓу Жеденскиот масив и Скопската котлина. Овие карбонатни карпи се карактеризираат со интензивна и длабока карстификација и тоа значително подлабоко од кота 300, на која истекува водата преку изворот Рашче. (Кекиќ, 1986). Овие терени припаѓаат на класа 33, каде и се изведени пиезометрите П-1 и П-2 во Жеденскиот масив, и се карактеризираат со издашност на извори Q_i < 2500 l/s и коефициент на подземно истекување q_{sp} = 10 l/s/km^2. Останатите карбонатни карпи спаѓаат во класа 31, 32.

Пукнатински тип на водоносници – во средно издашни терени (класа 42).

Во ова група припаѓаат Радушките ултрабазити (дунитски перидотити и серпентинити), со кои Жеден е ограничен на североисток. Литолошките единици на Радушкиот масив се карактеризираат со голема испуканост поради интензивната тектоника со поголеми и помали раседи. Ваквите перидотитски маси во длабочина може да претставуваат значаен хидрогеолошки колектор со можност за акумулирање на значајни количини на подземна вода. Се одликуваат со средна водопропусност, потоа издашност на бунари $Q_{bun.}$= 2 - 10 l/s, издашност на извори $Q_{izv.}$ = 2 – 10 l/s и коефициент на подземно истекување q = 1.5 l/s/km^2.

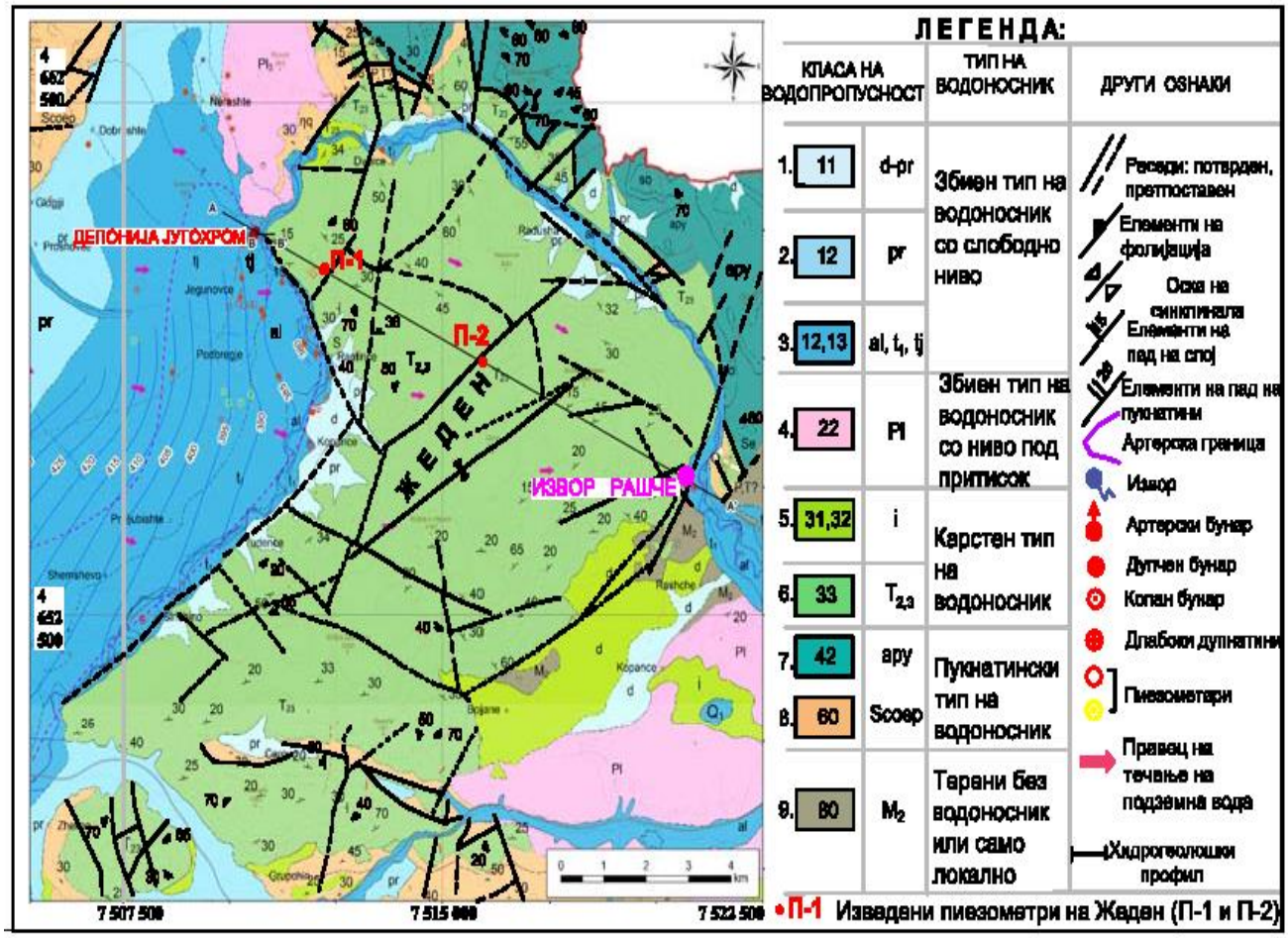
Пукнатински тип на водоносници – во слабо издашни терени (класа 60) се јавуваат во околните планински масиви околу Полошката котлина, во палеозоиските цврсти карпи во кои спаѓаат кристалестите шкрилци со понизок кристалинитет и еруптивните карпи, кои според хидрогеолошката функција се слабоводопропусни. Водоносници се застапени само локално и плитко под површината на теренот, во длабина овие средини се безводни, освен во зони со тектонски и раседни структури.

Овие средини се безводни, освен во зони на тектонските – раседни структури.

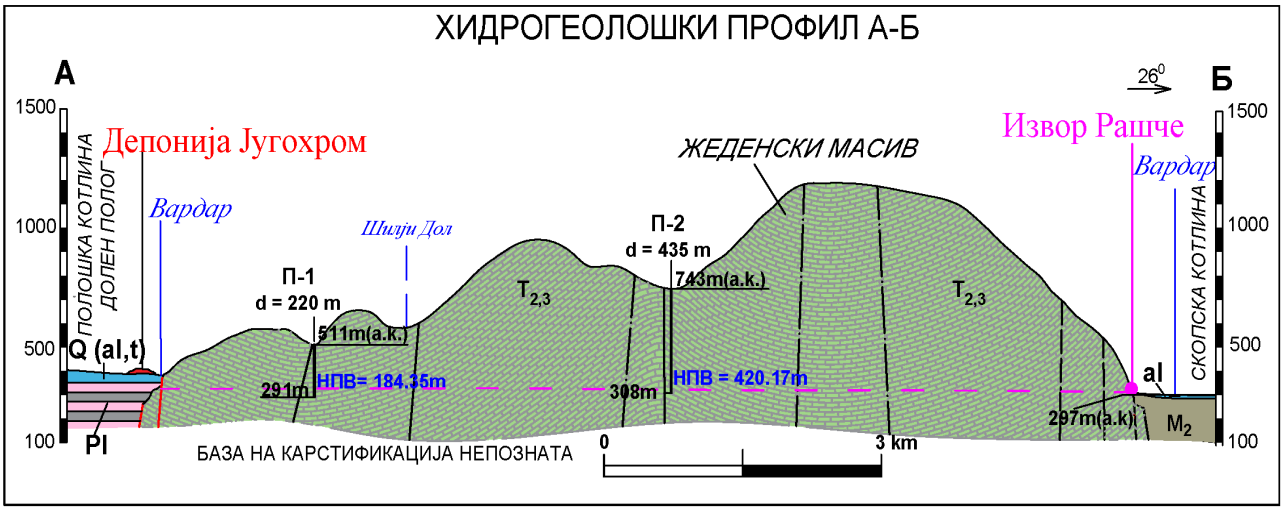
Овие терени се карактеризираат со Q_i < 2 l/s, q = 0,2 l/s/km^2. Како терени без водонсници се издвоени миоценските седименти (лапорци, глини, песочници), како дел од Скопската котлина, кои имаат функција на бариера на истекување на подземните води од Жеденскиот масив

5. ИЗВЕДБА НА ПИЕЗОМЕТРИ НА ЖЕДЕН (П-1 И П-2)

Со цел дефинирање на можни патишта на движење на шестовалентниот хром, потоа натамошно следење на евентуално негативно влијание на депонијата Југохром врз квалитетот на подземните води на изворот Рашче, како и следење на промената на ниво на подземна вода, изведени се два длабоки пиезометри во масивот Жеден (Слики 1, 3 и 4). Дупчењето на истражните дупнатини и вградувањето на пиезометарите П-1 и П-2 се реализираше во периодот од февруари – мај 2021 год. Претходно, на двете локации изведени се припремни работи (пристапни патишта, рамнење на теренот, поставување на дупчачка гарнитура, ископ на базенти, обезбедување на техничка вода за дупчење и др.). За дупчење на пиезометрите, користена е машина тип *Mustang 9 – F4.* После завршеното дупчење на секоја од истражните дупнатини до крајна длабочина, беше извршено фотографирање и картирање на јадрото. Кон зацевување на пиезометрите беше пристапено после завршеното дупчење до крајна длабочина и тоа: П-1 до 220.00 m и на П-2 до 435.00 m, односно од 0.00 m до крајна длабочина истражните дупнатини се зацевени со челични поцинковани полни и филтерски цевки со дијаметар Ø 2’’ (П-1 = 220.00 m и П-2 = 435.00 m). Перфорирани цевки се поставени на интервал 202 – 214 m, кај П-1 и 417 – 434 m кај П-2. Перфорацијата е извршена со кружни отвори со дијаметар Ø 3 mm и со процент на перфорација од 8%. Техничкте карактеристики од изведба на пиезометрите се прикажани во Табела 4..



Сл. 3. Хидрогеолошка карта на поширокатa околина на Жеден
1) Неврзани карпи со слаба водопропусност, 2) Неврзани карпи со средна водопропусност, 3) Неврзани карпи со средна до висока водопропусност, 4) Неврзани или слабо врзани карпи со средна до висока водопропусност, 5) Карбонатни карпи со средна до висока водопропусност, 6) Жеденски карбонатен масив со многу голема водопропусност и карстифицираност, 7) Ефузивни и други цврсти карпи со средна водопропусност, 8) Цврсти карпи со слаба водопропусност до водонепропусни, 9) Терени без водоносници или само локално



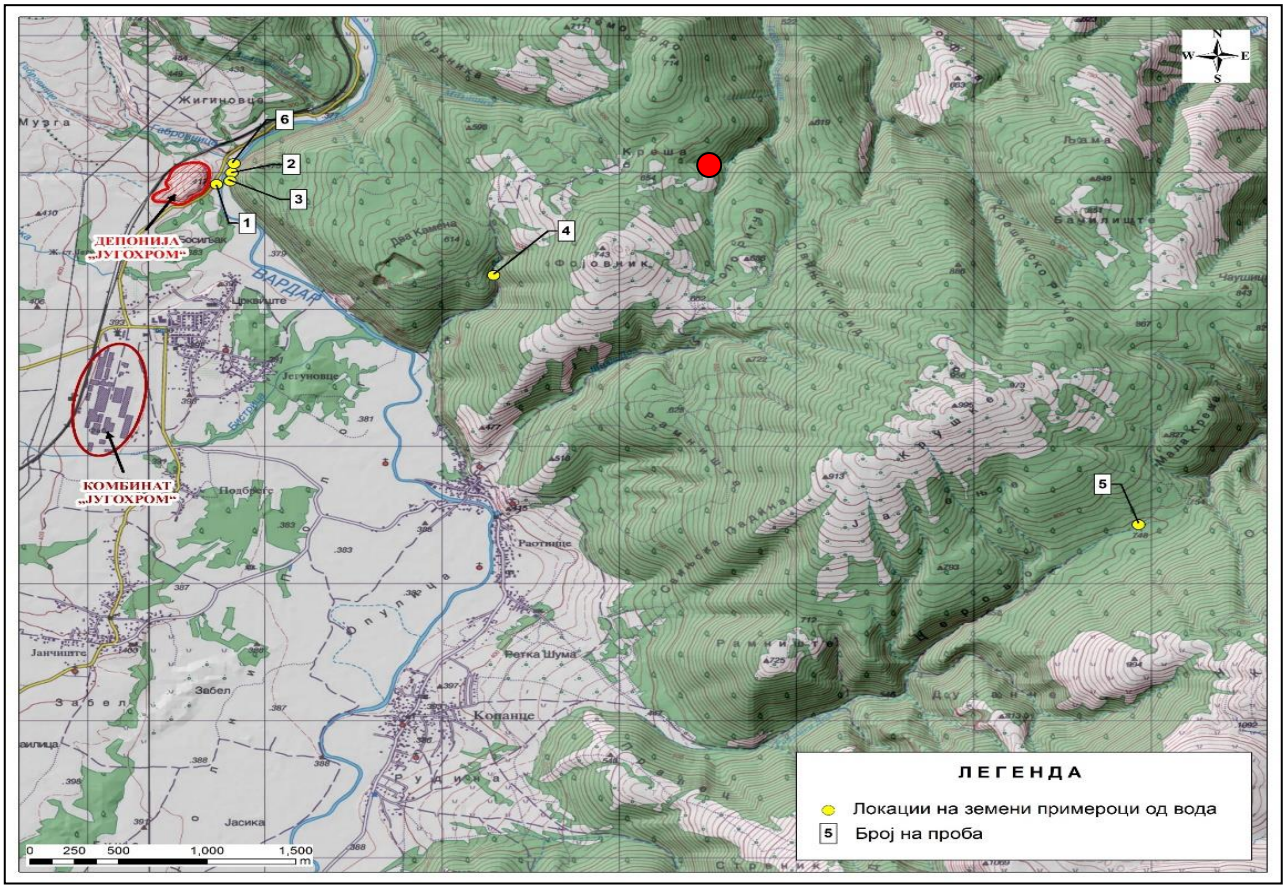
Сл. 4. Хидрогеолошки профил – Полошка Котлина-Жеденски масив-Скопска Котлина (*Легендата е иста како во слика 3)

Т а б е л а 4

Технички карактеристики на пиезометрите П-1 и П-2

Технички карактеристики	П-1	П-2
Координати	7512292, 4659253	7515931, 4657434
Длабина на дупчење (m)	220	435
Завршен пречник на дупчење (mm)	96	96
Вградена конструкција (m)	220	435
Пречник на конструкција (mm)	2”	2”
Тип на конструкција	челични поцинковани чевки	
Полни цевки (m)	202	417
Филтерски цевки (m)	12	17
Таложник (m)	6	1
Засип од гранулиран чакал (m)	210	425
Цементација (m)	10	10
Ниво на подземна вода [m]	184,35 апс.кота 291	420,17 апс.кота 308

Освен одредување на литолошкиот состав на јадрото, со нивната изведба е дојдено до нови сознанија за апсолутна кота на подземна вода во карбонатниот масив Жеден, одреден е хемискиот состав на водата и се создадени услови за иден мониторинг, односно мерење на ниво на подземна вода (НПВ) и температура, како и редовно земање на примероци од вода за одредување на квалитет на подземните води во карстниот водоносник (Слика 4)..



Сл. 5. Карта со приказ на локациите од каде се земени примероците од вода

6. ЗЕМАЊЕ НА ПРИМЕРОЦИ ОД ВОДА ЗА АНАЛИЗИ И ДОБИЕНИ РЕЗУЛТАТИ

За дефинирање на квалитетот на подземна и површинска вода и дефинирање на можни патишта на транспорт на хромот во зона на депонијата и во Жеден, беа земени примероци од води за изработка на периодични физичко–хемиски анализи и анализи за одредување на содржина на Cr^{6+}. За таа цел еднократно земени беа 5 примероци од подземни води и 1 примерок од површинска вода или вкупно 6 примероци од репрезентативни локации, прикажани на Слика 5. Примероци од води за анализи се земени на локација помеѓу депонијата Југохром и Жеден, и тоа:

– од ново изведените пиезометри на Жеден (П-1 и П-2),

– од цевка 3/4’’ која спроведува контаминирана вода од под депонијата,

– од постоечки истражен бунар ИБ-2 и пиезометар П-1 УХМР, помеѓу депонијата и Жеден и

– еден примерок од површинска вода од река Вардар веднаш после депонијата. Физичко-хемиските анализи од води беа изработени во Институтот за јавно здравје – Скопје, додека анализите за одредување на содржината на шестовалентен хром беа изработени во Секторот за санитарна контрола при Водовод и Канализација – Скопје

Во табелата 5 се прикажани податоци за локациите од каде се земени примероците од води, потоа добиените вредности за содржината на Cr^{6+} во нив, како и за колку пати е зголемена концентрацијата на Cr^{6+} во однос на МКД.

На слика 6, графички се прикажани содржините на Cr^{6+}, и нивна споредба со МДК за Cr^{6+}, според македонскиот стандард на водата за пиење (0,01 mg/l).

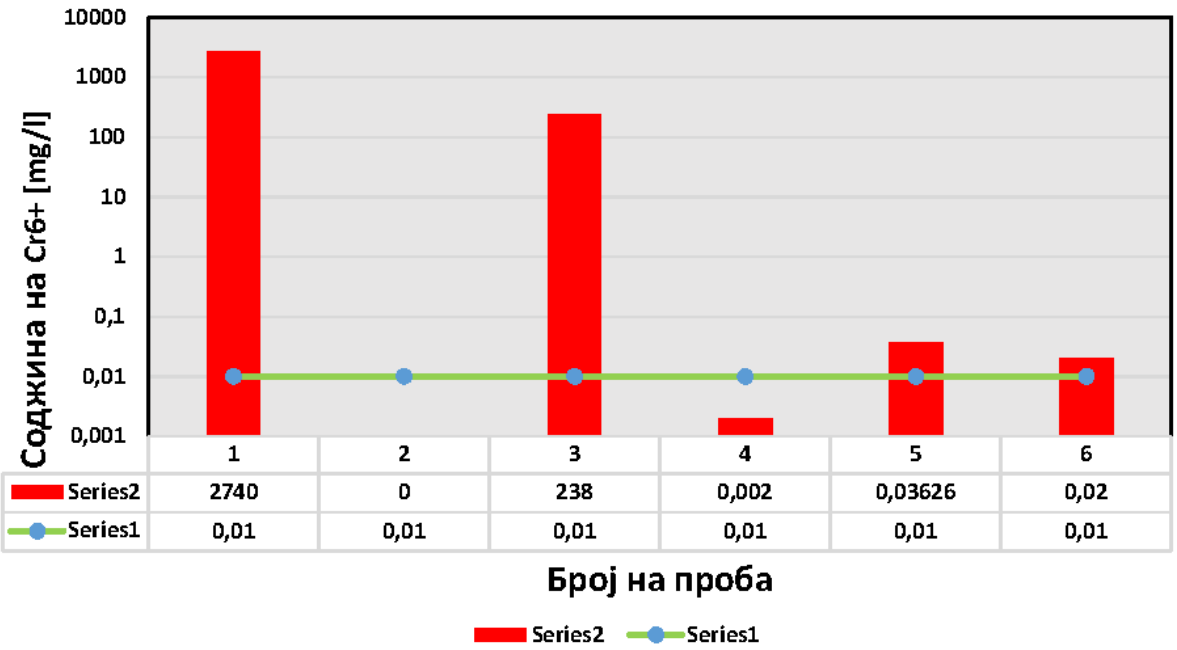
Од табелата и дијаграмот може да се види дека кај повеќето од примероците од води се одредени зголемени концентрации на Cr^{6+} во однос на МДК. Врз основа на извршените анализи и просторниот распоред на локациите, од кои се земани примероците од води, може да се заклучи дека најголемо загадување со Cr^{6+} во однос на МДК се јавува во близина на депонијата.

Т а б е л а 5

Содржина на Cr^{6+} во примероците од вода

	Бр. на проба	Локација на земена проба	Координати		Длабочина на воден објект (m)	Содржина на Cr^{6+} (mg/l)	Колку пати е зголемена конц. на Cr^{6+} во однос на МДК *
			Y	X			
Подземна вода	1	Цевка затворена со вентил ø3/4’’	7 510 728	4 659 917	/	2740.0	274000
	2	Истражен бунар ИБ - 2	7 510 813	4 660 002	65	н.д.	/
	3	Пиезометар П - 1 УХМР	7 510 805	4 659 942	6	283.0	28300
	4	Пиезометар П - 1, Жеден	7 512 292	4 659 253	220	0.002	/
	5	Пиезометар П - 2, Жеден	7 515 931	4 657 434	435	0.03626	3.6
Површинска вода	6	Река Вардар, после депонија	7 510 825	4 660 070	/	0.02	2

*Броевите со црвено означуваат вредности над максимално дозволени концентрации-МКД (0.01 mg/l)



Сл. 6. Графички приказ на содржината на Cr^{6+} во примероците од вода, 2021

Енормно големи концентрации на Cr^{6+} се одредени во проба бр. 1 (од табелата) со концентрација на Cr^{6+} = 2740 mg/l или 274000 пати поголема концентрација во однос на МДК. Овој примерокот од вода, проба бр. 1, е земен од цевка со вентил ø3/4'', која поминува под депонијата и ги зафаќа процедните води од депонијата. Исто така, големи концентрации на Cr^{6+} се одредени кај плитките подземни води, односно проба бр. 3 во пиезометар П–1 УХМР (длабина 6 m) со концентрација на Cr^{6+}= 283 mg/l или 28300 пати поголема концентрација во однос на МДК. Овој пиезометар се наоѓа помеѓу р. Вардар и Жеден. Зголемени концентрации на Cr^{6+} се јавуваат и кој примерокот од вода бр. 5 кој е земен од пиезометар П-2 на Жеден, со концентрација на Cr^{6+} = 0.03626 mg/l или за 3.6 пати поголема концентрација во однос на МДК, додека во проба бр. 4, земена од пиезометар на Жеден П-1, детектирана е содржината на Cr^{6+} која е во граници на дозволеното (0.002 mg/l).

Кај примерокот бр. 6 земена од реката Вардар под депонијата добиена е содржина на Cr^{6} = 0,02 mg/l, односно за 2 пати поголеми од дозволените. Содржина на Cr^{6+} не е детектирана само во проба бр. 2, земена од истражен бунар ИБ-2, кој е со длабочина од 65 m и се наоѓа помеѓу реката Вардар и Жеден, што е резултат на хидрогеолошките карактеристики на теренот.

7. ПРЕДЛОГ ЗА МОНИТОРИНГ И ПРЕПОРАКИ ЗА НАТАМОШНИ АКТИВНОСТИ

7.1. *Предлог за мониторинг*

Потребно е да се направат повеќе анализи за содржината на Cr^{6+} во подземните води од изведените пиезометри на Жеден, во времетраење од минимум 1 година, со цел сегашниве добиени вредности за содржина на Cr^{6+} да бидат веродостојни. Иако со овие еднократно земени примероци од вода од двата пиезометри на Жеден и одредените содржини за Cr^{6+} не може да се донесат целосни заклучоци, сепак тие даваат индикативни податоци за содржина на Cr^{6+} во подземната вода на Жеденскиот масив. Ваквата состојба наметнува потреба да ново изведените пиезометри на Жеден (П-1 и П-2) да влезат во набљудувачката мрежа на Водовод – Скопје и на нив да се прави редовен мониторинг. Предлагаме да се мери нивото на подземна вода, температура и да се земаат примероци од вода за физичко-хемиски анализи и одредување на содржина на Cr^{6+} на секои 3 (три) месеци или 4 (четири) пати во текот на годината. Исто така, значајно е да се следи НПВ, температура и квалитетот на водите во останатите пиезометри лоцирани помеѓу депонијата Југохром и Жеденскиот масив.

Препорачуваме сите податоци од мерење на НПВ, температура и од изработените анализи од водите на П-1 и П-2, како и во пиезометрите помеѓу депонијата и Жеден, да се евидентираат во една база на податоци и да се изготвуваат на секои три месеци извештаии од мерење на НПВ, температура и резултати од следење на квалитетот на подземните води во пиезометрите.

7.2. *Предлог за натамошни активности*

Претходни истражувања и испитувања опфатени во повеќе студии, како и сегашните истражувања и добиените резултати презентирани во овој труд, укажуваат на опасноста од миграција на Cr^{6+} со подземните води низ Жеденската акумулација (издан), а со тоа и потенцијална можност од загрозување на квалитетот на водата на изворот Рашче.

Сето ова наведува на заклучок дека состојбата со депонијата Југохром треба да се реши што поскоро. Во таа насока, како следно, препорачуваме да се изработи *Студија со можни решенија за трајно надминување на опасноста од негативно влијание на депонијата Југохром врз квалитетот на подзените води на Жеден кои го хранат изворот Рашче.*

Во студијата потребно е да се пристапи кон разработка на можни санациони решенија за трајно елиминирање на штетните влијанија врз почвата и подземните води од депонијата, како и од комбинатот Југохром.

Треба да се потенцира дека било кое решение да се понуди тоа треба да го спречи понатамошното излужување на Cr^{6+} и негово движење кон подземните води и реката Вардар. Добиени се резултати за зголемена содржина на Cr^{6+} во анализата од 14.04.2021 год., земена од површинска вода на р. Вардар низводно од депонијата (проба бр. 6), а зголемена концентрација на делот после депонијата, е потврдена и со други порано изработени анализи. Поради тоа значајно е да се спомене дека системот за зафаќање на дренажни контаминирани води, како и прочистителната станица во кругот на Југохром, работат периодично и само делумно ја исполнуваат целта за која се наменети. Бидејќи трајното решавање на проблемот со депонијата Југохром е комплексен и истиот ќе потрае, затоа како краткорочна и најитна мерка се препорачува реконструкција на дренажниот систем и прочистителната станица и нивно ставање во беспрекорно исправна и функционална состојба со работење 24/7.

Активностите поврзани со трајно решавање на проблемот со депонијата и комбинатот, треба да ги содржи следните задачи, односно фази:

(1) Изработка на проектна задача со јасно дефинирани барања

(2) За да се реализира проектната задача, потребно е да се изработи проектна документација редоследно по сите нивоа од студија до финален проект за изведба.

(3) Ревизија на проектната документација; (4) Избор на компетентен изведувач по однапред дефинирани критериуми;

(5) Избор на надзор за следење на реализација на работите;

(6) Реализација на работите;

8. ЗАКЛУЧОЦИ

Досегашниот квалитетот на водата на изворот Рашче е добар, но е под сериозна закана од загадување од индустриската депонија Југохром. Депонијата продуцира неконтролирано и постојано истекување на Cr^{6+} во реката Вардар и во зоните на прихранување на изворот Рашче. Со цел да се допринесе за утврдување на можна миграција на Cr^{6+} со подземните води низ Жеденскиот масив, беа изведени два длабоки пиезометри П-1 и П-2. Од пиезометрите еднократно беа земени примероци од вода за изработка на физичко-хемиски анализи и анализи за одредување на содржина на Cr^{6+}. Добиените резултати покажуваат дека во пиезометарот П-2 на Жеден, е одредена концентрација на Cr^{6+}= 0.03626 mg/l или 3.6 пати поголема концентрација во однос на лимитот со МДК, додека кај пиезометарот П-1 содржината на Cr^{6+} е во граници на дозволеното (0.002 mg/l). За да се донесат сигурни и реални заклучоци во однос на можна миграција на хромот со подземните води, од депонијата Југохром во Жеденската акумулација, потребно е да се земаат повеќекратно примероци од вода од П-1 и П-2 и да се изработат физичко – хемиски анализи со одредување на содржина на Cr^{6+}, и тоа во подолг временски период од минимум 1 година. Предлагаме мониторинг на квалитетот, НПВ и температура на подземните води во П-1 и П-2 и останатите пиезометри во зона на депонијата, како и реката

Вардар, да се вршат на секои три месеци во годината. Депонијата Југохром е потребно што е можно поскоро да се отстрани, а загадените подземни води и почва во зона на депонијата и комбинатот Југохром да се стават во процес на ремедијација и целиот простор да биде рекултивиран.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Арсовски М. (1997): Тектоника на Македонија. Универзитет „Св. Кирил и Методиј-Скопје“- Факултет за рударство и геологија – Штип.

[2] Петковски П., Поповски С. (1985). Толкувач за ОГК за лист Качаник 1:100 000. Геолошки завод, Скопје. Геолошки завод Скопје.

[3] Јанчевски Ј., Галабов К., Темкова В., (1982). Толкувач за ОГК за лист Скопје 1:100 000. Геолошки завод Скопје.

[4] Думурџанов Н., Серафимовски Т., Burchfiel C.B. (2008): Генеза и литостратиграфија на неогенските и плеистоценските басени во Македонија. Прв конгрес на геолозите на Р. Македонија. Ст. 29-52. Охрид

[5] Кекиќ А. (1986): „Геологија и хидрогеологија на Полошката котлина и потеклото на водата на изворот Рашче“. Геолошки завод, Скопје.

[6] Илијовски З. (2013): Хидрогеолошка карта на Р. Македонија во размер 1: 300 000.

[7] Илијовски З., Михаиловски С., Ивица А., Макешоска М., Лефков Д. (2020): Студија за редифинирање на хидрогеолошката состојба на подземните води на просторот меѓу депонијата во Јегуновце и р. Вардар во контекс на заштита на изворот Рашче. Градежен Институт на „Македонија“, Скопје.

[8] Илијовски З., Михаиловски С., Ивица А., Макешоска М. (2019): Експертиза за ажурирање на границите на заштитните зони на изворот Рашче и определување на мерки на заштита. Градежен Институт „Македонија“ – Скопје.

[9] Радованович М., Павлович Д., Чукич З., Димитриович В., Јовашевич Д., Кецкаревич Д. (1989): Студија санација погона Југохрома и депоније хроматног муља на садржај хрома у подземној води и води реке Вардар. Институт за водоприевреду „Јарослав Черни“ – Белград.

[10] Соро А., Хиба Б., Џурич Д., Јевтич Г., Попович Л., Сбркота Д. (2001): Главни пројекат захватања за пречишћавање отпадних вода, књига 1, Технолошко – хидрограђевински део, Институт за водопривреду “Јарослав Черни” – Београд, 2001 г.

[11] Илијовски З., Михаиловски С., Ивица А. (2021): Финален Извештај од изведба на пиезометри (П-1 и П-2) за дефинирање на можните патишта на транспорт на хром со подземните води низ Жеденскиот масив кои го хранат изворот Рашче. Градежен Институт „Македонија“ – Скопје.

[12] Годишни извештаии за работењето на „Водовод и канализација“ – Скопје, 2007-2015

[13] Извештаии од мониторинг на пиезометри, 2010-2015. Архива на „Силмак“ – Јегуновце.

[14] Правилник за квалитетот и здравствената исправност на водата за пиење. Службен весник на СРМ бр. 5/1984.

2-ID-06
UDC: 550.822:627.21(497.16)

ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА И ИСПИТУВАЊА НА ПРИСТАНИШТЕТО БАР, ЦРНА ГОРА

Моме Милановски, Мила Крулановиќ, Сергеј Полекшиќ

Градежен институт Македонија ,
Ул. Дрезденска о бр. 52 1000 Скопје, Р. С. Македонија,
mome.milanovski@gim.com.mk

А п с т р а к т: За проширување на пристаништето Бар, односно за изработка на техничка документација за продолжување на брегот Волујица на пристаниште Бар, општина Бар, Црна Гора во текот на 2019 година спроведени се одредени геотехнички и инженерско геолошки истражувања за дефинирање на теренот како природна средина. Дополнителни истражувања на теренот во непосредна околина на предметната локација беа изведени во текот на 2021 година. Целта на истражувањата беше дефинирање на геотехничките одлики на теренот за спречување на понатамошна деградација и девастација, реконструкција на постоечкиот оперативен брег, за да се обезбеди носивост на конструктивните елементи, односно користење на објектот согласно неговата намена. Обемот на истражувањата прилагоден е на досегашниот степен на истраженост на поширокиот простор на предметната локација, техничките можности од пристап на локацијата и познатите податоци за предметните објекти. Во овој труд ќе се прикажат дел од извршените детални инженерскогеолошки истражувања и испитувања на локалитетот “Волујица ”, пристаниште Бар , Црна Гора

Key words: пристаниште, инженерскогеолошки истражувања, геотехнички одлики, реконструкција

ENGINEERING GEOLOGICAL RESEARCH AND TESTING TO THE PORT OF BAR, MONTENEGRO

A b s t r a c t: For the expansion of the port of Bar, for the development of technical documentation for the extension of the Volujica coast to the port of Bar, municipality of Bar, Montenegro during 2019, certain geotechnical and engineering geological surveys were conducted to define the terrain as a natural environment. Additional field research in the immediate vicinity of the site in question was conducted during 2021. The aim of the research was to define the geotechnical features of the terrain to prevent further degradation and devastation, reconstruction of the existing operational shore, to ensure the bearing capacity of the structural elements, ie use of the facility in accordance with its purpose. The scope of the research is adjusted to the current level of research of the wider area of the subject location, the technical possibilities of access to the site and the known data for the subject objects. This paper will present a part of the performed detailed engineering geological research and excavations at the site "Volujica", port Bar, Montenegro.

Клични зборови: port, engineering geological research, geotechnical features, reconstruction

1. ВОВЕД

За проширување на пристаништето Бар, односно за изработка на техничка документација за продолжување на брегот

Волујица во склоп на пристаништето, на кп. 6502/1 КО Нови Бар, општина Бар, Црна Гора во текот на 2019 година изведени се одредени геотехнички истражувања за дефинирање на теренот како природна средина. Дополнителни истражувања на теренот за дефинирање на геотехничките одлики на непосредна околина на предметната локација беа изведени во текот на 2021 година.

Истражувањата се изведени со цел спречување на понатамошна деградација и девастација, реконструкција на постоечкиот оперативен брег, за да се обезбеди носивост на конструктивните елементи, односно користење на објектот согласно неговата намена.

Обемот на истражувањата прилагоден е на досегашниот степен на истраженост на поширокиот простор на предметната локација, техничките можности од пристап на локацијата и познатите податоци за предметните објекти. Елаборатот во кој се дефинирани геотехничките одлики на теренот, изработен е врз основа на постоечката геолошко геотехничка документација и

новоизведените истражувања на предметната локација.

2. ПРИМЕНЕТИ ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА

При изработка на овој Геотехнички Елаборат, изведен е следниот обем на истражни работи:

1. Анализа на постоечката документација,
2. Теренски истражувања и
3. Лабораториски испитувања.

Анализа на постоечката документација

Со цел подобро согледување на инженерскогеолошките својства на поширокиот простор на предметната локација извршена е детална анализа на постоечката геолошко геотехничка документација.

Од фондот на постоечката геолошко геотехничка документација користен е следниот документационен материјал.

1. Основна геолошка карта лист Бар 1;100 000 со толкувач.

2. Сеизмичка микрореонизација на урбаното подрачје на општина Бар.

3. Карта на сеизмичка реонизација на Црна Гора (Сеизмолошки завод на Црна гора, 1982 год.).

4. Геотехнички истражувања за изградба на повеќе објекти во пошироката околина на предметната локација, Геопроект , доо Подгорица.

Теренски истражувања

Во склоп на теренските истражувања изведени се:

– Рекогносцирање на теренот. Во склоп на рекогносцирањето на теренот собрани се податоци за литолошкиот состав на површината на теренот, стабилниста на теренот и хидрогеолошките својства и функцијата на карпестите маси на поширокото подрачје, Самата микролокација е оперативен брег на пристаништето Бар.

– Изведба на истражни дупнатини во тек на 2019 година со инженерскогеолошко картирање на јадрото и земање на примероци од истото за лабораториски испитувања.

Истражното дупчење имаше за цел дефинирање на литолошкиот состав, дебелина на слоевите од кои е изграден, дефинирање на составот и карактеристиките на застапените квартерни седименти и земење на примероци од тлото за лабораториски испитувања. Изведени се вкупно 3 истражни дупнатини со длабина ИД1 – 20,5 m, ИД2 – 12 m и ИД3 – 15 m со вкупен обем од 47,5 m. Локациите на истражните дупнатини се прикажани на ИГ карта на теренот во размер 1:1000 (Слика 4).

По изработката на истражните дупнатини, спроведено е детално инженерско геолошко картирање на јадрото од истражните дупнатини и земање на примероци на тлото за лабораториски испитувања. Вкупно земени се 6 примероци, од изведените истражни дупнатини за лабораториски испитувања од кои се во лабораторија издвоени репрезентативни примероци за испитувања.

На земените примероци испитани се следните карактеристики влажност, гранулација, специфична тежина, волуменска тежина, Load point test, UCS.

На предметната локација во текот на 2021 година изведени се дополнителни инженерскогеолошки истражувања за дефинирање на литолошкиот состав на карпите во непосредна околина на предметната локација со акцент на испуканоста и класификација на истите. Во непосредна околина на пристаништето застапени се варовници од кредна старост кои се регистрирани и во истражните дупнатини на длабина од 8,3 до 18,6 m од површината на морското дно. Изданоци на варовници се регистрирани на растојание од 110–120 m од брегот на морето (мерни места М1–М3) Исто така големо внимание е посветено на RQD параметарот кој е различен се менува како во хоризонтала така и во вертикала.

Со изведените мерни места комплетно се дефинирани состојбите на дисконтинуитетите на застапените карпести маси кои се искористени како влезни податоци при пресметките на квалитетот на карпестата маса, според познатата формула на Palstrom (1982) кои се дадени во Табела 1.

– *RQD* (%) – квалитет на карпа, пресметана според Palstrom (1982).

– $RQD = 115 - 3{,}3 \times Jv$.

– *J*v (j/m^3) – број на пукнатини на единица волумен.

Т а б е л а 1

Резултати од мерни места и анализа на степен на испуканост

Литолошка единица	Мерно место и година на изведба	Густина GP_1 (j/m')	Густина GP_2 (j/m')	Густина GP_3 (j/m')	Усвоено J_V (j/m^3)	RQD (%)
Варовник (V)	M1 (2021 год.)	7	4	3	14	68,8
Варовник (V)	M2 (2021 год.)	6	4	3	13	72.1
Варовник (V)	M3 (2021 год.)	4	4	4	12	75.4

Од презентираните резултати во табелата за испуканоста на карпите и добиените вредности за квалитетот на карпестата маса на основа на изведените мерни места може да се констатира дека мерните места M1 до M3 имаат вредности за RQD квалитетот од 50–90%.

Во длабина пак исто така со картирањето на јадрото од изведените инженерскогеолошки дупнатини е одреден квалитетот на карпестата маса (RQD) кој е во директна зависност од степенот на испуканоста на карпата. Во оваа фаза на истражувањето анализирани се податоците добиени од изведените инженерско-геолошки дупнатини од 2019 година, кај кои со картирањето на изваденото јадро од дупнатините е одреден RQD параметарот.

Врз основа на квалитетот на карпите (RQD) издвоени се две зони и тоа:

– Зона на испукани и раздробени варовници V' застапена во дупнатините ИД2 во интервал од 9,0 до 10 m и во дупнатината ИД3 во интервал од 11 до 14 m со вредност на RQD параметарот 0 – 50%.

– Зона на компактни и слабо испукани варовници V застапена во дупнатините ИД2 во интервал од 10,0 до12 m и во дупнатината ИД3 во интервал од 14 до 15 m со вредност на RQD параметарот 50 – 90%. Квалитетот на карпестата маса (RQD) е многу значаен параметар за инженерскогеолошките и геотехничките класификации на карпите кој е директно поврзан со застапените пукнатински системи на масивот.

3.ПРИРОДНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ТЕРЕНОТ

3.1.Географска положба, морфолошки карактеристики и геолошка градба на теренот

Предметната локација е оперативен брег во пристаништето Бар. Се наоѓа на јужниот дел од пристаништето Бар.Пристаништето Бар се наоѓа во јужниот дел од Јадранот, западно од градот Бар. Истражуваната локација зафаќа површина од 0,75 ha (Слика 1).

Сл. 1. Положба на истражуваниот простор

Локацијата претставува морски појас со длабина на морето од 5 до 7 m. Теренот е изграден од квартерни марински седименти во чија основа се наоѓаат варовници.

Истражната локација со пошироката околина изградена е од седиментни творби на мезозоик и кенозоик, тријаски, јурски и кредни седиментни карпи, тријаски и еоценски флиш, флувијални, делувијално пролувијални и марински седименти. (Слика 4)

Потесната околина на предметната локација во геолошки поглед е изградени од

1. Квартерни седименти: марински песок, прашина и чакал

2. Основната карпеста маса ја сочинуваат варовници од кредна старост

3.2.Тектонски склоп на теренот

Подрачјето на општина бар во тектонски поглед припаѓа на три големи геотектонски единици:

1..Парахтон
2. Будванско барска зона
3. Зона високог крша

Бар со пошироката околина се наоѓа во склоп на тектонската единица Парахтон и Цукали зона, како составен дел на југоисточниот ороген лак на Динаридите. Цукали зоната е навлечена над зоната Парахтон. Навлекувањето е извршено вдолж дислокацијата која може да се прати од ртот Ратец преку Сушањ до реката Железница до јужните падини на Велембуса кај Стар Бар. Парахтон се наоѓа помеѓу морето и Цукали зоната. Парахтон изобилува со наброни структурни форми.

3.3.Хидрогеолошки карактеристики на теренот

Хидрогеолошките одлики на теренот на предметната локација условени се од литолошкиот состав, структурниот тип на порозност , хидрогеолошките својства и функцијата на карпестите маси.

Врз основа на хидрогеолошките своства и функцијата на карпестите маси на истражуваниот дел од теренот застапен е комплекс на појако до послабо водо пропустлива средина со интергрануларна порозност и силно до многу водопорпусна средина со кавернозно пукнатинска порозност.

Во склоп на комплексот на појако до послабо водоппропусна средина со интергрануларна порозност застапени се марински седименти, песоци, прашини и глини со мала сосдржина на чакал. Наведените карпести маси, со оглед на различниот гран. состав, имаат променливи филтрациони карактеристики со коефициент на филтрација K_f – $1\cdot10^{-4}$ $1\cdot10^{-6}$ m/s.

Силно до многуводопропусни средини со кавернозно пукнатинска порозност претставени се со варовници од кредна старост.

3.4. Сеизмогеолошке одлики на теренот и сеизмички параметри

Врз основа на податоците од сеизмичките истражувања, изведени за потребите за изработка на Генералниот урбанистички план (сеизмогеолошки подлоги и сеизмичка микеореонизација на урбаното подрачје на Бар, се дава приказ на сеизмогеолошките одлики и сеизмичките параметри, за проектирање на објектите. Набљудуваното подрачје се наоѓа во сеизмичка зона 9 степен према MKS скала.

Врз основа на резултатите од поранешните истражувања и истражувањата на овој проект предметната локација може да се претстави со геотехнички модел со следни вредности.

Т а б е л а 2

Вредности на поедини параметри во склоп на геотехнички модел

H (m)	*Vp* (m/s)	*Vs* (m/s)	*Y* (kN/m^3)	Состав
2,5	550	220	18	Песковита глина
12	1050	380	19	Песковита глина
10,5	2400	560	22	Глина и чакал
	4400	2100	27	варовник

Очекуваните просечни максимални забрзувања на површина на теренот одредени се врз основа на заедничкото влијание на регионалните и локалните сеизмогеолошки особини на теренот за повратни периоди на време од 50, 100 и 200 години. Одредени се како производ на забрзувањето (a_0) и репрезентативните динамички амплификациони фактор (DAF).

$$A_{max} = a_0 \times \text{DAF}$$

Вредностите на очекуваните максимални забрзувања во карактеристичната зона GTM 55 за повратни периоди од 50,100 и 200 години се претставени во Табела 3.

Теренот на кој се наоѓа предметната локација во природни и во услови на досегашна изграденост е стабилен. До појава на нестабилност може да дојде во услови на сеизмички потрес.

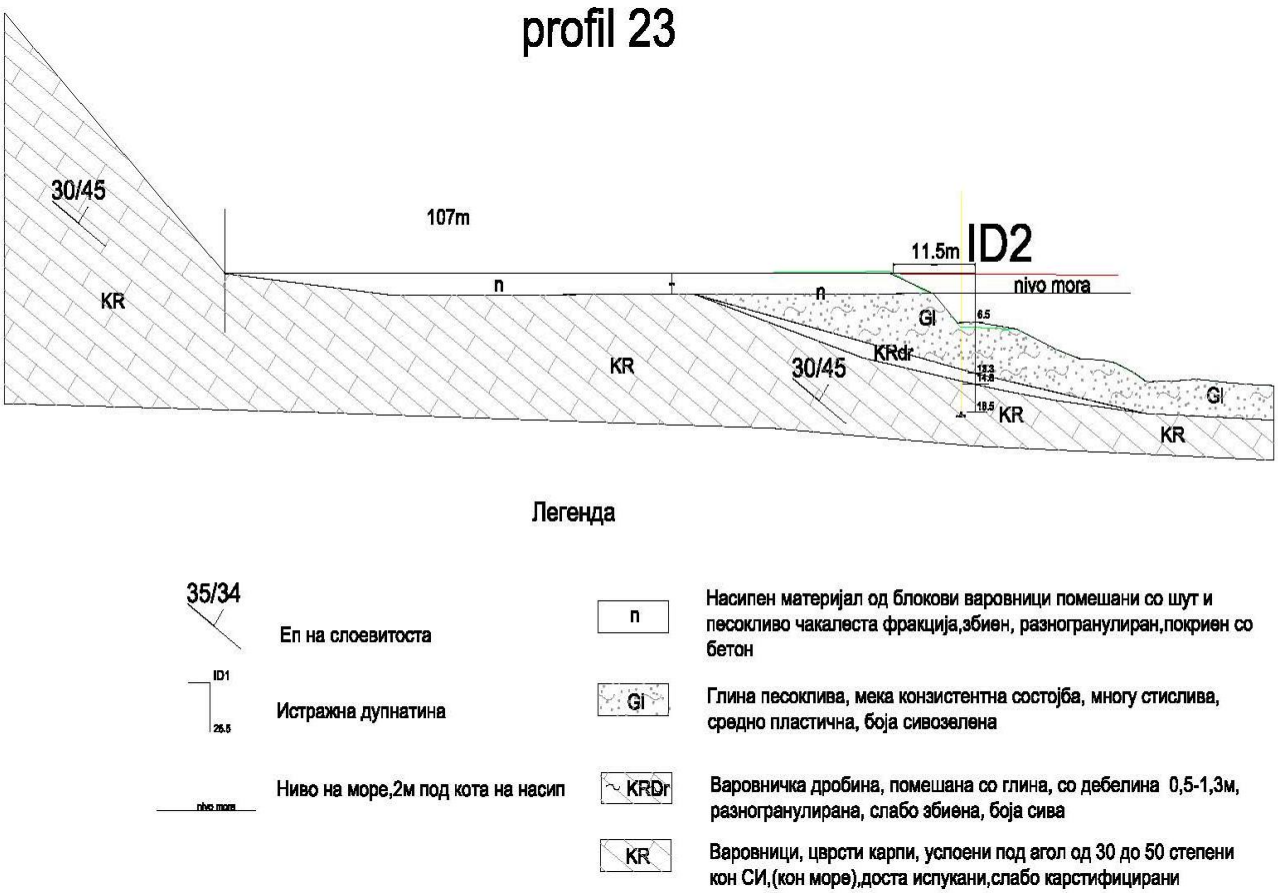
Т а б е л а 3

Очекувани максимални забрзувања за зона GTM 55

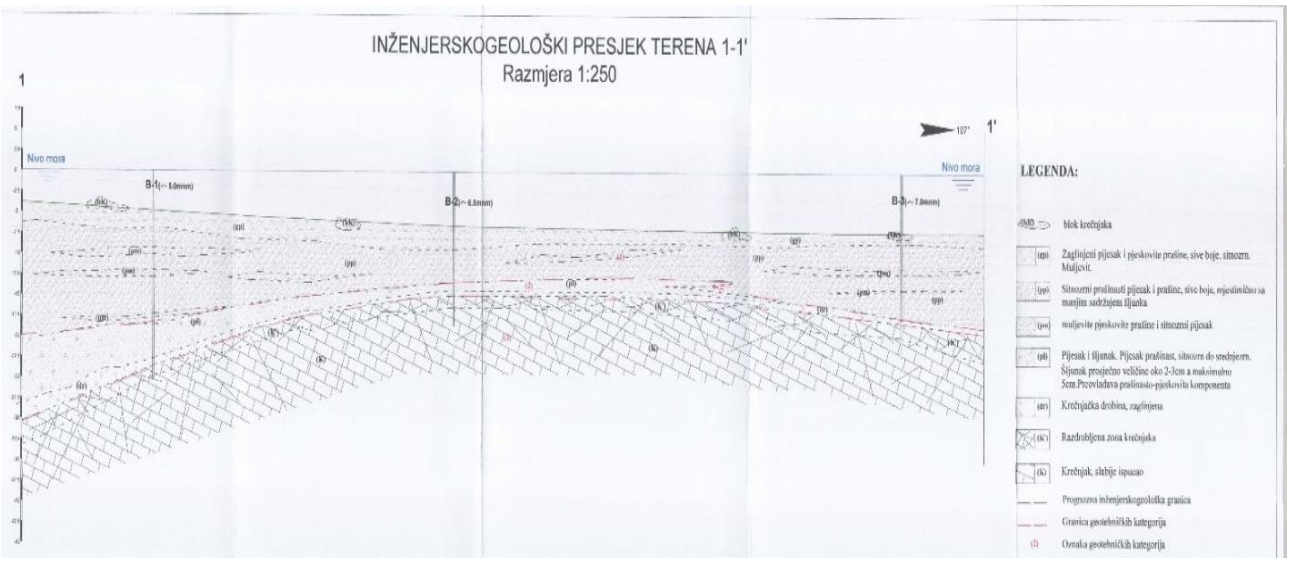
Карактеристична сеизмогеолошка зона	Повратен период на време t(год)	Забрзување на основна карпа a_0	Динамички амплификациони фактор DAF	Очекувано максимално забрзување a_{max}(g)
Пролувијални комплекс со глиновито дробински состав со дебелина до 35 m,	50	0,13	2,17	0,28
	100	0,19	2,17	0,41
	200	0,24	2,17	0,52

3.5. *Инженерскогеолошки својства на издвоените средини*

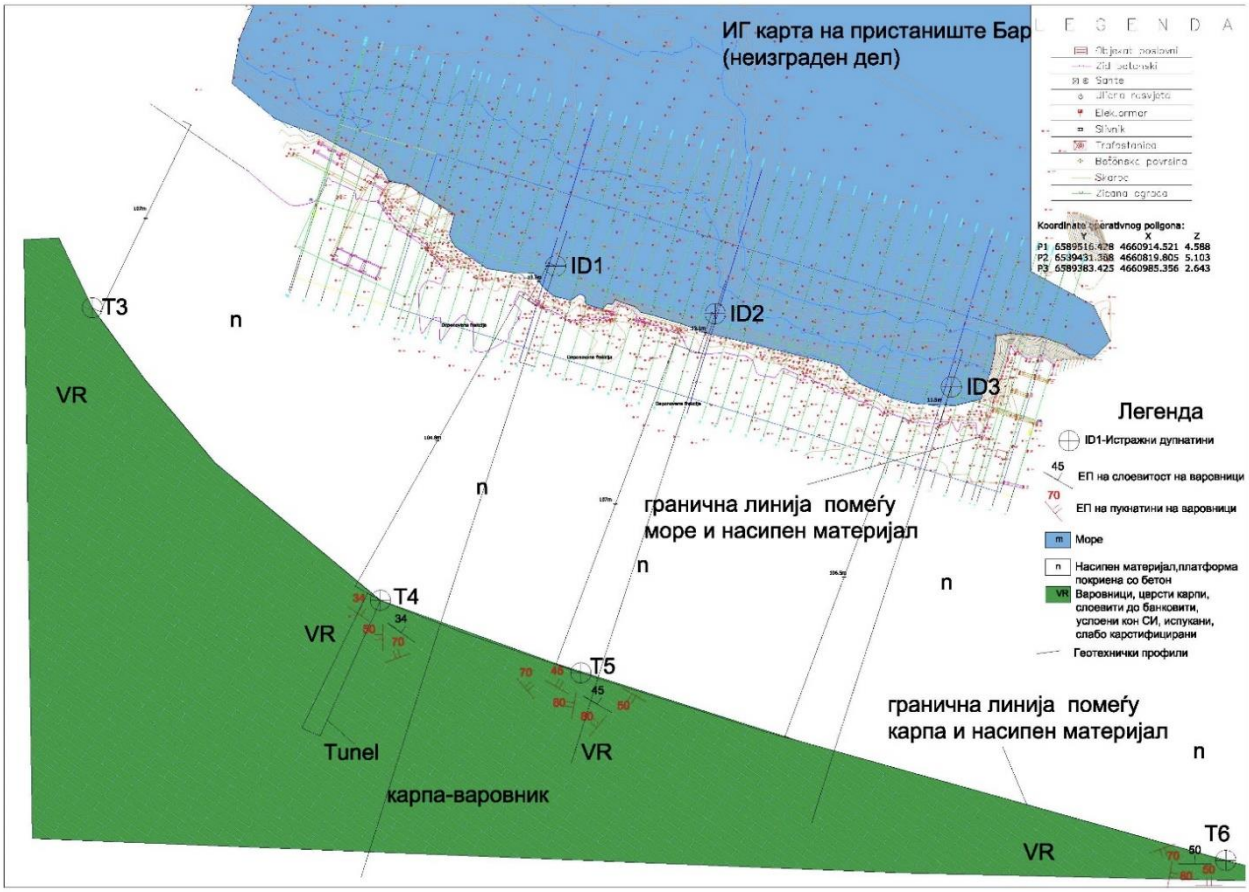
Врз основа на инженерскогеолошкото картирање на истражните дупнатини можеме од инженерскогеолошки аспект да заклучиме дека проучуваниот терен е изграден од марински седименти претставени со песоци, глини, прашини со помала содржина на чакалеста компонента, варовничка дробина и варовник. Дебелината на маринските седименти изнесува од 7,8 до17,9 m. Под маринските седименти регистриран е слој на варовничка дробина со дебелина 0,5 до 0,7 m испод која лежат варовници од кредна старост кои се појако испукани во површинските делови. Модел на теренот е прикажан на инженерскогеолошките пресеци надолжен и напречен (Слики 2 и 3).



Сл. 2. Надолжен инж.геолошки профил



Сл. 3. Напречен инженерскогеолошки профил на предметна локација



Сл. 4. Инженерскогеолошка карта на предметна локација

Геотехничка средина 1:gp, pp, pm

Оваа геотехничка средина е претставена со марински финозрни седименти заглинет песок (gp), прашинест песок (pp) и муљевита прашина (pm). Материјалот е настанат со маринска седиметација и има сива боја чија дебелина изнесува од 6,7 до13,8 m. Издвоените литолошки членови во склоп оваа средина меѓусебно сочивасто се сменуваат како во хоризонтален така и во

вертикален правец. Средината е богата со органски материјали.

Застапените седименти се слабо збиени, а во површинската зона се подложни на поместувања на зрната под механичкото дејство на брановите. Тоа е неврзан до слабо врзан материјал, заситен со вода и имаат релативно хетерогени физичко механички карактеристики.

Со гранулометриска анализа утврдено е дека овој материјал е составен од прашинесто глиновита компонента со 19 – 70% , ситнозрн до среднозрн песок со 28 – 80 % и чакал со 0 – 2% . Се работи за водозаситен материјал со природна влажност од W– 32.4 – 49.5% и вредности на волуменска тежина *g* – 16,6 kN/m^3, специфична тежина *G* – 26.5 – 26,6 kN/m^3.

Во склоп на оваа средина изведени се 17 опити на стандардна динамичка пенетрација. Врз основа на изведените опити може да заклучиме дека се работи за мек, многу стислив и растресит материјал (1 удар – 60 cm). Најголем број на удари е изведен во дупнатина ИД1 на длабина од 10 m (6 удари 45 cm) односно вредност на СПТ 4.

Вредностите на физичко механички параметри се:

– Волуменска тежина *g* – 16,0 – 18,0 kN/m^3
– Агол на внатрешно триење *f* –20 – 24°
– Кохезија *c* – 0 – 7 kN/m^2
– Модул на стисливост Ms –1000 – 2000 kN/m^2
– Категорија на ископ (GN 200) II група.

Геотехничка средина 2: ps,dr.

Оваа геотехничка средина претставена е со песок и чакал (*gp*) и варовничка дробина со мала содржина на прашинесто глиновита компонента (*dr*). Овој материјал настанал со маринска седиментација (песок и чакал) додека дробината претставува елувијална распадина на варовникот. Дебелината на оваа средина изнесува 0,5 до 4.8 m.(варовничка дробина 0.4 до 0,7 m, песковит чакал 1,1 до 4.1 m додека во дупнатината ИД3 изостанува.

Вредностите на физичко механички параметри изнесуваат

– Волуменска тежина *g* – 18,0 – 19,0 kN/m^3
– Агол на внатрешно триење *f* – 28 –32°
– Кохезија *c* – 0 – 5 kN/m^2
– Модул на стисливост Ms – 5000–7000 kN/m^2
– Категорија на ископ (GN 200) II до III група

Геотехничка средина 3: К' и К

Карбонатните карпести маси од кредна старост (*К*) се карактеризираат со поволни физичко механички својства. Се јавуваат како слоевити до банковити и паѓаат кон север и североисток под агол од 30° и пострмни до 45°. Дебелината на варовниците од сенонска старост на поширокото подрачје на Волујица изнесува и преку 1000 m. Варовниците се утврдени во сите истражни дупнатини, испод маринските седименти, на длабина од 8,3 до 18,6 m од површината на морското дно.

Површинската зона на варовниците е појако испукана и искрешена, местимично раздробена (*К'*). Застапените пукнатини главно се без исполна. Дебелината на оваа зона варира према изведените истражувања од 1,4 до 2,7 m. Во оваа зона варовниците се жолтеникаво бели до сиво кафеави, лимонитизирани, местимично калцитизирани. Извршено е испитување на едноаксијална јакост на притисок (Point load test) на примерок од дупнатината ИД1 и добиена е вредност на едноаксијална јакост од 57,88 MPa и волуменска тежина изнесува 26,9 kN/m^3.

Испод површинската појако испукана, местимично раздробена зона, застапени се испукани до покомпактни слабо испукани варовници, со слоевита до банковита текстура (*К*). Во поедини интервали се испукани и карстифицирани, а местимично покомпактни и послабо испукани. Застапените пукнатини и каверни се без исполна. Главно се застапени коси пукнатини, веројатно слоевитост под агол од околу 30°, а покрај нив се забележани и субвертикални пукнатини. Пукнатините се главно без исполна, рапави и нерамни. Варовниците имаат сива до жолтеникаво бела боја. Тие се цврсти, со поволни физичко механички својства. Претставуваат практично недеформабилни карпести маси.

Варовниците претставуваат добро водопропусни карпи, со пукнатинско кавернозна порозност. Од оваа зона земени се два примерока. Извршено е испитување на едноаксијална јакост на притисок и добиена е вредност на примероците од варовник од 12,8 до 190,3 MPa и волуменска тежина од 26,9 до 27,0 kN/m^3.

Вредноста на физичко механички параметри одредени се врз основа на анализа на резултатите од порано и сега изведените испитувања на поширокото подрачје се:

За појако испукани и искршени, местимично раздробени варовници (*К'*):

– Запреминска тежина g – 24,0 до 25,0 kN/m^3;
– Агол на внатрешно триење f – 30 до 35°.
– Кохезија c – 0,025 до 0,06 MPa.
– Цврстина на притисок во сува состојба sp –10 до 20 MPa.
– Брзина на простирање на надолжни бранови Vp –1000 до 2000 m/s.
– Брзина на простирање на попречни бранови Vs – 400 до 1000 m/s.
– Модул на еластичност E –250 до 1500 MPa.
– Модул на деформација D – 100 до 1000 MPa.
– Динамички модул на еластичност E_{din} –1000 до 6000 MPa.
– Поасонов коефициент η – 0.3 до 0.33.
– Категорија на ископ (GN 200) IV, V

За испукани до компактни послабо испукани варовници (K).

– Запреминска тежина g – 25,0 до 26,0 kN/m^3;
– Агол на внатрешно триење f – 34 до 35°;
– Кохезија c – 0,10 до 0,5 MPa;
– Цврстина на притисок во сува состојба sp – 40 до 80 MPa;
– Брзина на простирање на надолжни бранови Vp –1750 до 3000 m/s;
– Брзина на простирање на попречни бранови Vs – 800 до 1400 m/s;
– Модул на еластичност E – 2000 до 5000 MPa;
– Модул на деформација D – 500 до 3000 MPa;
– Динамички модул на еластичност E_{din} – 6000 до 17000 MPa;
– Поасонов коефициент η –0,29 до 0,30;
– Категорија на ископ (GN 200) V, VI.

4. КЛАСИФИКАЦИЈА НА КАРПИ

На застапените карпести маси извршена е геомеханичка категоризација според RMR системот на Bieniawski (1989), имајќи ги во предвид квалитетот на карпите, физичко-механичките карактеристики и состојбата на карпите. Овој систем е едноставен за употреба и истиот ги користи следните геолошки и геотехнички информации:

- едноаксијална јакост на притисок;
- квалитет на карпа (RQD);
- растојание помеѓу пукнатини;
- состојба на пукнатини;
- услови на подземна вода.

Горе наведените параметри се добиени од извршените мерења на пукнатинските системи на изданоци од основната карпа, како и од лабораториските испитувања на точкаста јакост. Бодовите усвоени за одделни параметри при класификацијата на карпестите маси, како и добиениот RMR рејтинг, се прикажани во Табела 4.

Т а б е л а 4

RMR класификација на карпести маси според Bieniawski (1989)

П А Р А М Е Т А Р	Вид на карпа и бодови	
	Компактни варовници V	Испукани варовници V'
Едноаксијална јакост на притисок	(40 – 80) → 7	(10-25) → 2
Квалитет на карпа (RQD) – Rock Quality Designation	(50÷90%) → 13÷17	(25 ÷ 50%) → 8
Средно растојание меѓу пукнатини	(0.2 ÷ 0,6 m) → 10	(0,06 ÷ 0,2 m) → 8
Состојба на пукнатини	20	15
Услови на подземна вода	суво → 15	суво → 15
Корекција заради ориентација на пукнатини	5	5
Рејтинг на карпеста маса (RMR) – Rock Mass Raiting	63	43
Геолошки индекс на јакост (GSI) – Geological Strength Index	53–58	33–38
Класа на карпеста маса по RMR	II класа добра карпа	III класа поволна карпа

Спрема извршената геотехничка класификација по Bienavski компактните варовници се класифицирани во 2 група на добри карпи додека испуканите и раздобени варовници, се класифицирани во 3 група поволни карпи. Терените изградени од овие карпи се стабилни, се одликуваат со добра носивост и нестисливост

5. ПРЕПОРАКИ ЗА ИЗГРАДБА НА ОБЈЕКТОТ

На предметната локација се планира продолжување на брегот Волујица во склоп на пристаништето Бар со цел спречување на понатамошна деградација и девастација, односно реконструкција на постоечкиот оперативен брег, за да се обезбеди носивост на конструктивните елементи односно користење на објектот за неговата намена

На инженерскогеолошкиот надолжен пресек (Слика 1) прикажан е геотехнички модел, а за секоја од издвоените геотехнички средини дефинирани се вредности на меродавни физичко механички параметри .

Длабината до морето е одредена со спуштање на приборот за дупчење кој изнесува 5 m (ИД1) до 7 m (ИД3).

Спрема геотехничкиот модел на предметната локација, теренот е изграден од марински седименти, претставени со финозрни седименти (прашинести песоци, песковити прашини, поретко со чакали, потоа варовничка дробина,во чија основа се наоѓаат варовници (врзани добро скаменети карпи).

Во овој случај се препорачува фундирање на геотехничка средина 3, основна карпа во подина на маринските седименти, варовници каде завршетокот, крајот на коловите, треба да биде мин. 1,5 m во средината 3 (стоечки колови).

Проктантот на Главниот градежен проект ќе одлучи за начинот на фундирање, видот и димензиите на темелите, односно може да одлучи за начинот на фундирање за кој ќе оцени дека е најадекватно, сигурно и трајно, со уважување на геотехничкиот модел на теренот.

Средина 1, марински финозрни седименти (прашинести песоци, песокливи прашини, муљеви) претставуваат условно поволна геотехничка средина за фундирање на објектот во услови на заситеност со вода и нивните слаби физичко механички својства.

Средина 3, варовници претставуваат практично недеформабилна геотехничка средина.

Поради изразеноста на палеорељефот на цврстите карпести маси, длабината до карпата е вариабилна, и со истражните дупнатини е утврдена на длабина од 8,3 до 18,6 m.

Сите објекти и темели треба да бидат проектирани во согласност со асеизмичките параметри.

Со оглед на тоа дека работите ќе се изведуваат во море треба да се смета на отежнати услови на работа.

Спрема Проектот за фундирање на објектот пречникот на коловите изнесува 120 mm, на меѓусебно растојание од 7,4 до 9 m и длабина од 14,2 во најплиткиот дел до 18,7 m во најдлабокиот дел на објектот, кај истражните дупнатини ИД1 до ИД3.

6. ЗАКЛУЧОК

Врз основа на изведените инженерско геолошко геотехнички истражувања може да се заклучи дека продолжувањето на брегот Волујица, во склоп на пристаништето Бар, е можно со почитување на резултатите од истражувањето прикажани во овој Елаборат.

Во тек на изведување на сите земјани работи, задолжителен е геотехнички надзор, заради усогласување на геотехничките услови на теренот со реалната состојба на теренот.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Бешић, З. (1959): *Геолошки водич кроз Црну Гору*, Посебна издања Геолошког друштва НР Црне Горе, Титоград.

[2] Марковић, М., Павловић, Р., Чупковић Т. (2003): *Геоморфологија*. Завод за уџбенике и наставна средстава, Београд.

[3] Вујичић, Ч. (1992): Фундирање, Научна књига, Београд. Грађевински факултет, Београд.

[4] Правилник о техничким нормама за пројектовање и извоѓења радова на темељења граѓевинских објекта, 1974.

[5] Цвијиќ. Ј. (1926): *Геоморфологија*, књига,2, Издање државне штампарије, Београд.

[6] Јовановски, М., Гапковски, Н., Пешевски, И., Аболмасов, Б. (2012). *Инженерска геологија*, Градежен факултет, Скопје.

2-ID-07
UDC: 556.388.013(497.711)

ПРОЦЕНА НА РАНЛИВОСТА ОД ЗАГАДУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ ВО ВОДОНОСНИКОТ ГРДОВСКИ ОРМАН СО ПРИМЕНА НА МЕТОДИТЕ ‘’GOD’’ И ‘’AVI’’

Војо Мирчовски, Дарко Пижов, Ѓорѓи Димов

[1]Институт за геологја, Факукултет за природни и технички науки,
Универзитет „Гоце Делчев“, во Штип,
бул. „Гоце Делчев“, 89, 2000 Штип, Република Северна Македонија
darko.132298@ugd.edu.mk

А п с т р а к т: Методите за проценка на ранливоста на подземните води се повеќе се применуваат во светот заради потребата за заштита на подземни води од надворешна контаминација, со цел задржување на квалитетот на водата. Изработката на картите на ранливост претставува основа за воспоставување на превентивни мерки за заштита на подземните води. Во овој труд се прикажани резултатите добиени со примена на GOD и AVI-метода, за одредување на степенот на ранливост од загадување на водоносникот Грдовски Орман. AVI-методата користи два параметри за проценка: дебелина на незаситената зона и коефициентот на филтрација на надводоносните седименти, а GOD-методата користи три параметри: тип на водоносник, литологијата на надводоносната, зона и длабочина на подземната вода. Проценката на ранливоста е одредувана врз основа на податоците добиени од 12 издупчени бунари, кои се користат за водоснабдување на градот Кочани. Со методот AVI е одреден индекс на ранливост со екстремно висока (<1), до висока ранливост (1 – 2), додека според GOD-методата индексот на ранливост се движи во интервал од средна до висока ранливост (0,4 - 0,6).

Клични зборови: подземни води, ранливост, метод GOD, метод AVI, филтрација, водоносник, интергрануларна порозност, Грдовски орман

ASSESSMENT OF THE GROUNDWATER VULNERABILITY OF POLLUTION IN THE AQUIFER GRDOVSKI ORMAN WITH THE APPLICATION "GOD" AND "AVI" METHOD

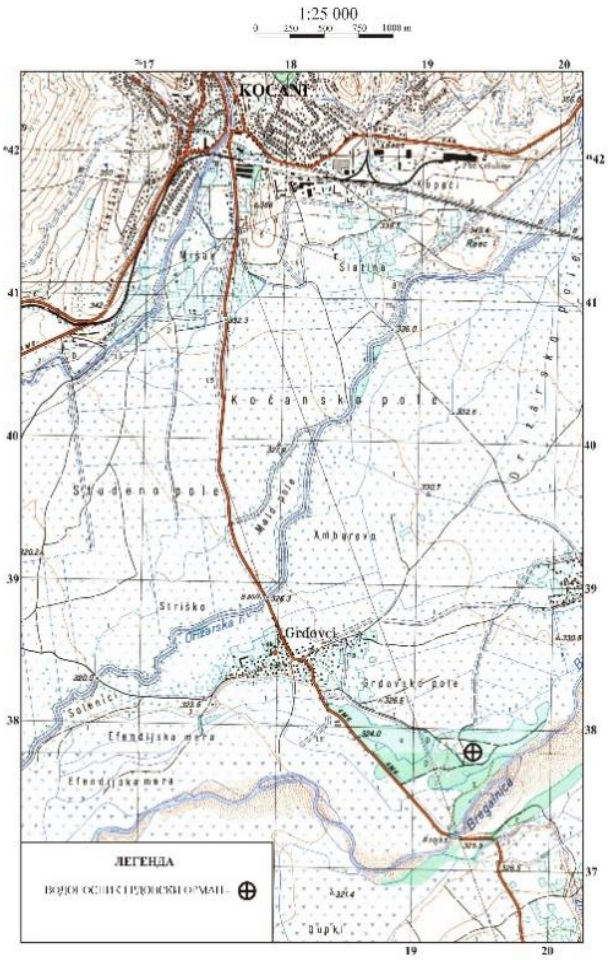
A b s t r a c t: Groundwater vulnerability assessment methods are increasingly used worldwide due to the need to protect groundwater from external contamination in order to maintain water quality. The preparation of vulnerability maps is the basis for establishing preventive measures for groundwater protection. This paper presents the results obtained by applying the GOD- and AVI-method for determining the degree of vulnerability to pollution of the aquifer Grdovski Orman. The AVI method uses two parameters for estimation: the unsaturated zone thickness and the filtration coefficient of the aquifers, and the GOD method uses three parameters: the type of aquifer, the lithology of the aquifer, the zone and the depth of the groundwater. The vulnerability assessment is determined based on the data obtained from 12 drilled wells, which are used for water supply of the city of Kočani. The AVI - method determines a vulnerability index with extremely high (<1), to high vulnerability (1 – 2), while according to the GOD - method, the vulnerability index ranges from medium to high vulnerability (0.4 – 0, 6).

Key words: groundwater, vulnerability, GOD-method, AVI-method, filtration, aquifer, intergranular porosity, Grdovski Orman

ВОВЕД

Водоносникот Грдовски Орман се наоѓа на 4 km јужно од градот Кочани во непосредна близина на селото Грдовци (Слика 1).

Целокупното водоснабдување на градот Кочани како и на неколку околни селки населби се врши со подземни води од водоносникот Грдовски Орман. Водоносникот спаѓа во групата на отворени до полузатворени хидрогеолошки структури. Тој е формиран во алувијалните седименти на реката Брегалница изградени од песокливо чакалести седименти кои се карактеризираат со интергрануларна порозност.



Сл. 1. Географска положба на истражуваниот терен

Прихранувањето на водоносникот во најголем дел се врши со водата на реката Брегалница со која е во директна хидраулична врска, а во помал дел се храни и со водите кои потекнуваат од атмосферските талози. Директната хидраулична врска на водоносникот со водата од реката Брегалница, плиткото ниво на подземните води, близината до урбанизирана средина во која се наоѓаат поголем број на антропогени загадувачи, како и близината на околните обработливи земјоделски површини кои интезивно се обработуваат и третираат со хемиски препарати претставуваат потенцијална можност од загадување на подземните води на водоносникот Грдовски Орман. Максималната количина на вода која се експлоатира од водоносникот изнесува 245 l/s.

Концептот за осетливоста на подземните води од загадување првично е претставен од Францускиот научник Margat, (Vrba & Zaporozec, 1994). Идејата била да се одреди степенот на осетливост на подземните води од загадување, во зависност од геолошките, хидролошките и хидрогеолошките карактеристики на истражуваниот терен.

За одредување на степенот на ранливост на подземние води од водоносникот Грдовски орман се користени GOD и AVI методата. Овие методи досега не се применувани на просторот на Република Македонија, но имаат широка употреба во светски рамки: (Rukmana et al., 2020), (Boufekane et al., 2013), (Nugraha, 2020) (Knouz, et al., 2017), (Putranto et al., 2017), (Saheed, 2017), (Thomas et al., 2018), (Connell L. D., Daele G. V. D., 2003), (Lasserre F. Razack., Banton, M. O., mc1999):

Споменатите методи се користени според податоците кои се добиени од 12 бунари кои се изработени за водоснабување: B-15, B-16, B-17, B-18, B-19, B-20, B-21, B-22, B-23, B-24, B-6, B-7.

Зоната на истражување ги опфаќа првата и дел од втората заштитна зона воспоставени околу бунарскиот систем, со претпоставка дека нема поголеми промени во хидрогеолошките карактеристики на теренот на тој простор.

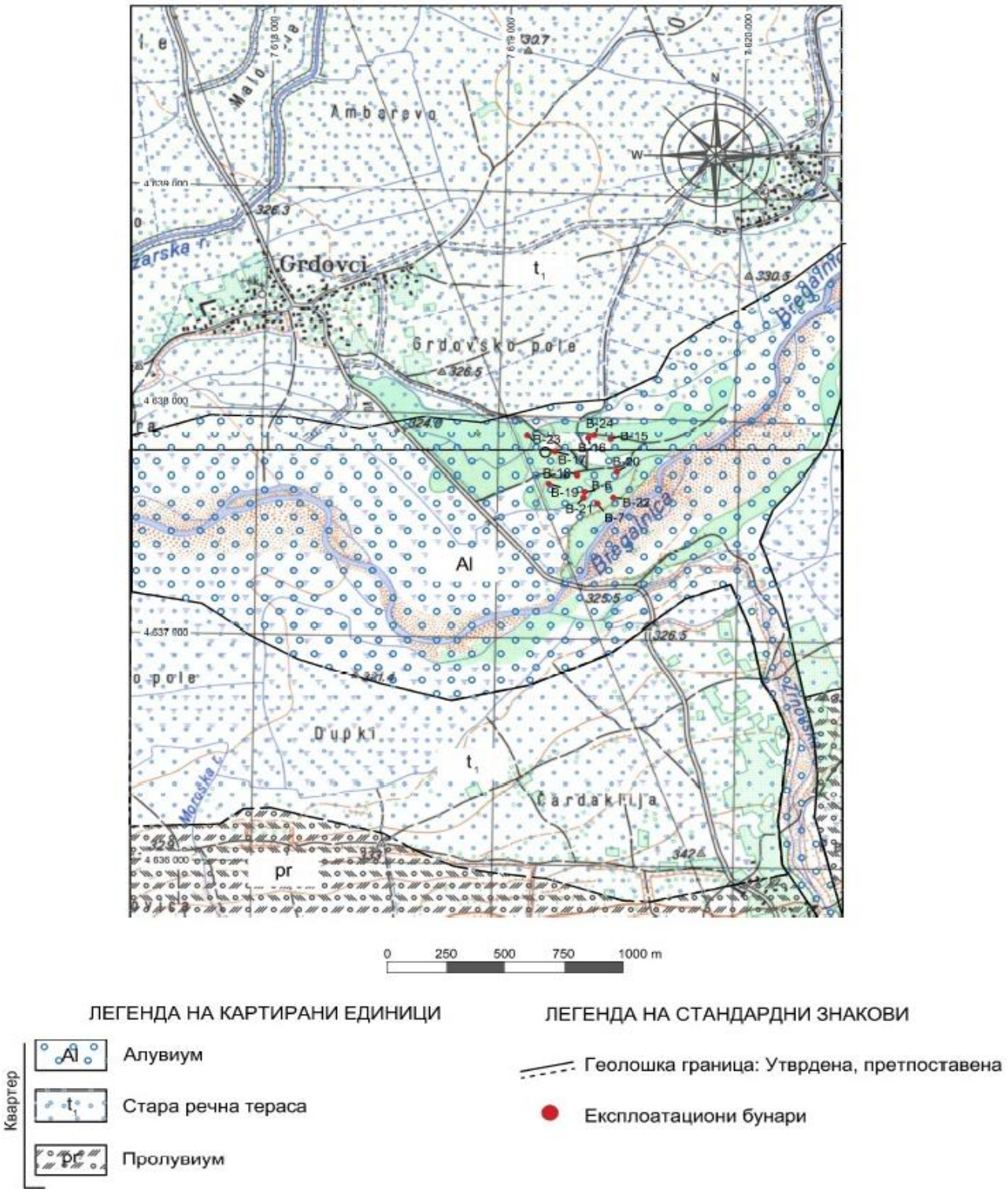
ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

Според (Ракичевиќ et al., 1967) поблиската околина на истражниот простор е изградена од седиментни карпи од квартерна старост, кои на овој простор се претставени од пролувиум (pr), пониски речни тераси (t_1) и алувиум (al). (Слика 2).

Пролувијалните седименти се среќаваат по јужните и југоисточните ободни делови на истражниот простор. Изградени се од слабо обработени и необработени парчиња на магматски и метаморфни карпи придружени со чакали, суглини и песоци.

Пониските речни тераси се јавуваат на левата и десната страна покрај коритото на реката Брегалница на височина од 5 до 10 m од коритото и зафаќаат најголем дел од истражниот простор. Изградени се во најголем дел од глини, суглини, супесоци и чакали.

Алувијалните седименти се среќаваат по долината на реката Брегалница. Изградени се од чакали и песоци, кои водат потекло од карпите низ кои течат водите од сливот на оваа река. Тие се често измешани и несортирани при што во горните токови на реките преовладуваат делумно обработени материјали, а во долните токови обработен и поситен материјал.

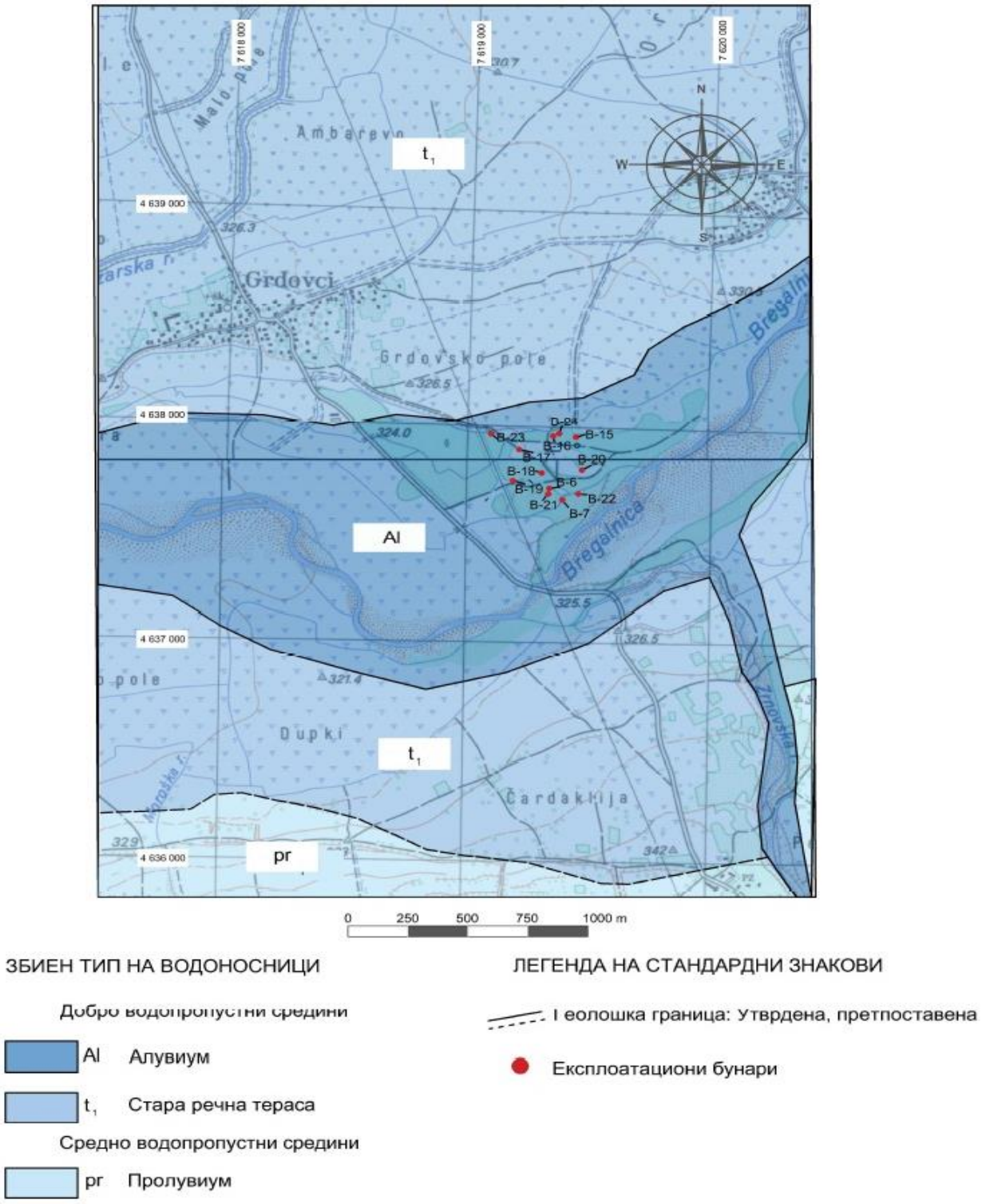


Сл. 2. Геолошка карта на пошироката околина на водоносникот Грдовски Орман

Во тектонски поглед пошироката околина на истражуваното подрачје припаѓа две крупни геотектонски единици и тоа Српско-македонски масив и Вардарска зона, (Арсовски, 1997). Овие две единици се разделени со раседна структура од регионален карактер, која на СЗ се губи во Кратовско-Злетовската вулканска област, а на ЈИ во Кочанската котлина. Формирањето на склопот на теренот, односно структурните форми е условено со тектонските движења кои се случиле за време на претпалеозоиските, херцинската и алпската орогенеза.

ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

Според податоците на (Мирчовски et al., 2008), според структурниот тип на порозност на карпите кои го изградуваат истражуваниот простор се издвоени збиен тип на водоносници, а според хидрогеолошката функција на литолошките членови се издвоени добро водопропустливи средини во кои спаѓаат алувијалните седименти и седиментите од пониските речни тераси и средно водопропустливи средини изградени од пролувијалните седименти (Слика. 3).



Сл. 3. Хидрогеолошка карта на поширокатa околина на водоносникот Грдовски Орман

Водоносникот Грдовски Орман претставува водоносник со слободно ниво, формиран во колекторска средина од квартерни алувијални и речно терасни седименти изградени од разногранулирани песоци и чакали кои се карактеризираат со интергрануларна порозност.

Според податоците од истражните дупчења (Ангелов, 1994). водоносната средина се простира до длабочина од 44 до околу 50 m. Под водоносната средина имаме изолаторска средина изградена од плиоценски езерски седименти чија точна дебелина не е утврдена. Овие седименти се изградени воглавно од глиновити седименти измешани со мал процент од песок и чакал.

Прихранувањето на водоносникот со вода во најголем дел се врши со водата на реката Брегалница со која е во директна хидраулична врска, а со еден дел се храни и со водите кои потекнуваат од атмосферските талози и од околните водоносници кои се наоѓаат на повисоко хипсометриско ниво.

Дебелината на каптираните слоеви се движи во границите од 31 до 41,6 m.

Нивото на подземната вода во бунарите е од 2,97 – 3,75 m.

Поединечниот капацитет на бунарите се движи од 15 – 40 l/s.

Вкупниот капацитет на бунарите кои се во експлатација изнесува 262 l/s.

Врз основа на гранулометриските испитувања е утврдено дека покривните седименти се изградени од две литолошки средини. Првата е изградена од песок и чакал со коефициент на филтрација K_f = 52 m/ден, а втората е изградена од песок со присуство на чакал и прашина со коефициент на филтрација од K_f = 0.42 m/ден.

Водоносната средина е изградена од песок и чакал и има коефициент на филтрација од K_f = 95 m/ден.

МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЊЕ

GOD-метода

GOD-методата се применува за воодносниците со интергрануларна порозност и најчесто се применува за брза проценка на ранливоста на водоносниците, во случаите кога на располагање имаме мал број на податоци. Оваа метода е предложена од Foster, (1987) и е базирана само на три параметри. Ранливоста на водоносникот се утврдува со емпириски пристап, според формулата:

$$GOD \text{ index} = Ca \times Cl \times Cd$$

Каде што:

Ca = тип на водоносник,

Cl = литологија на незаситената, надводоносна зона,

Cd = длабочина на подземната вода во водоносникот

GOD-индексот за ранливоста на водоносникот се добива со множење на добиените резултати од трите параметри:

GOD-индексот е поделен на пет класи (Табела 1).

Со помош на софтверот Arcgis, врз основа на добиените податоци се добива графички приказ на ранливоста со употреба на алатката IDW (inverse distance weighthning).

Вредноста на секој GOD-параметар за степенот на ранливост на подземните води варира во зависност од литологијата.

Т а б е л а 1

Индекс на ранливост со GOD-метода

Индекс на ранливост	Класа на ранливост
00 – 0,1	Многу ниска
0,1 – 0,3	Ниска
0,3 – 0,5	Средна
0,5 – 0,7	Висока
0,7 – 1,00	Многу висока

*AVI-метод*а

AVI-методата (Aquifer Vulnerability Index), (Индекс на ранливост на водоносникот), е предложена од (Stempvoort et al., 1993). Оваа метода на прво место ја става незаситената надводоносна зона, која ја смета како најзначајна средина во поглед на транзитирањето на загадувачот кон воодносникот, (McLay et al., 2001); (Hardelauf et al., 2004).

Одредување на индексот на ранливост со оваа метода е според два параметри: дебелина на секој седиментен слој над водоносната зона (*d),* и коефициент на филтрација (*Ki*), на секој седиментен слој од надводоносната зона, (Stempoort

et al., 1993). Индексот на ранливост се пресметува според формулата:

$$C = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{K_i}$$

каде што:

d_i – дебелина на надводоносната зона (заштитна покривка),

K_i – коефициент на филтрација, на секој седиментен слој од надводоносната зона,

C – хидраулична резистентност (отпорност),

n = седиментни слоеви над водоносникот.

AVI-индексот е поделен на пет класи во интервал од <1 до 4> (Табела 2).

Т а б е л а 2

Индекс на ранливост со AVI-метода

Хидраулична резистентност (години)	Индекс log *c*	Класа на ранливост
0 – 10	< 1	Екстремно висока
10 – 100	1 – 2	Висока
100 - 1000	2- 3	Средна
1000 – 10 000	3 - 4	Ниска
> 10 000	>4	Многу ниска

Параметарот *C* ја претставува резистентноста во однос на вертикалното процедување кон водоносникот, (Kruseman & De Ridder, 1990).

Со помош на софтверот Arcgis, се добива графички приказ на ранливоста, со употреба на алатката IDW (inverse distance weighthning).

Вредноста на секој GOD-параметар за степенот на ранливост на подземните води во областа на истражувањето варира во зависност од литологијата.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Истражниот терен опфаќа простор од првата и дел од втората заштитна зона воспоставени околу бунарскиот систем, кои се изградени од алувијални и речно терасни седименти (Слика 2).

Седиментите од надводоносната зона се изградени од песокливо прашинести песоци и песокливи чакали. Дебелината на овие седименти се движи од 3 до 3,5 m, во зависност од позицијата на теренот (Табела 3).

Нивото на подземните води кое е добиено од експлоатационите бунари се движи во интервалот од 2,52 до 3,8 m (Табела 4, Слика 5).

Т а б е л а 3

Дебелина на надводоносни седименти

Број	Локација	Дебелана на покров. седим. (m)
1	B-15	3,5
2	B-16	3,5
3	B-17	3,5
4	B-18	3,4
5	B-19	3,4
6	B-20	3,5
7	B-21	3,4
8	B-22	3,4
9	B-23	3,5
10	B-24	3,5
11	B-6	3,4
12	B-7	3,4

Т а б е л а 4

Ниво на подземни води

Број	Локација	Ниво на подземни води(m)
1	B-15	3,3
2	B-16	3
3	B-17	3
4	B-18	3,8
5	B-19	2,9
6	B-20	3,5
7	B-21	3,6
8	B-22	3,6
9	B-23	2,5
10	B-24	3,2
11	B-6	3,5
12	B-7	3,6

Коефициентот на филтрација на надводоносните седименти во бунарите се движи од 0,42

m/ден, за песоклиците прашинести песоци, додека за песокливите чакали изнесува 52,0 m/ден (Табела 5). (Мирчовски, 2012). Од прикажаните податоци може да се види се заклучува дека прашинестите седименти со присуство на глинена компонента игра улога во успорувањето на транспортот на контаминентот до водоносникот.

Т а б е л а 5

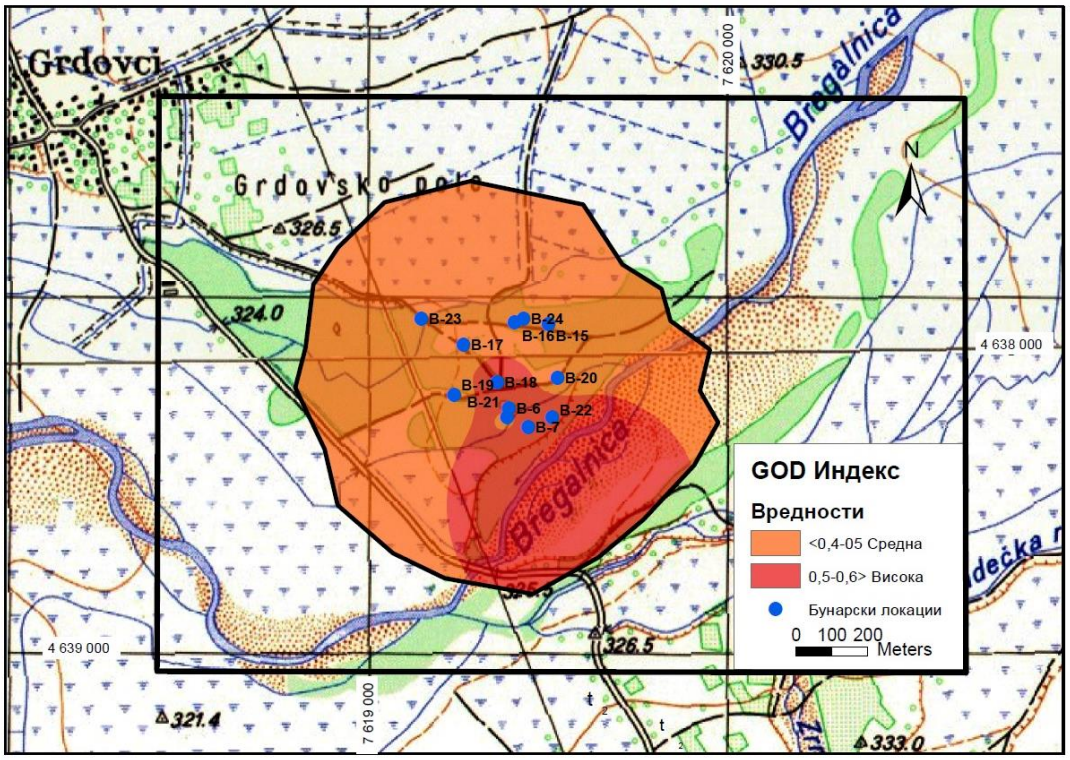
Коефициент на филтрација Жна надводоносните седименти

Број	Литологија	Коефициент на филтрација (m/ден)
1. B-15	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0
2. B-16	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0
3. B-17	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0
4. B-18	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0
5. B-19	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0
6. B-20	Песокливо прашинести песоци Песокливи Чакали	0,42 52,0
7. B-21	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0
8. B-22	Песокливо прашинести песоци Песокливичакали	0,42 52,0
9. B-23	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0
10.B-24	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0
11. B-6	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0
12. B-7	Песокливо прашинести песоци Песокливи чакали	0,42 52,0

GOD-индексот за ранливоста на водоносникот Гровски Орман според трите параметри (тип на воодоносник, литологијана на надводоносна зона, ниво на подземна вода) се движи во интервал од средна до висока ранливост од 00,4 до 0,6). Картата на ранливост според GOD-методата изработена врз основа на наведените параметри е прикажана на Слика 4.

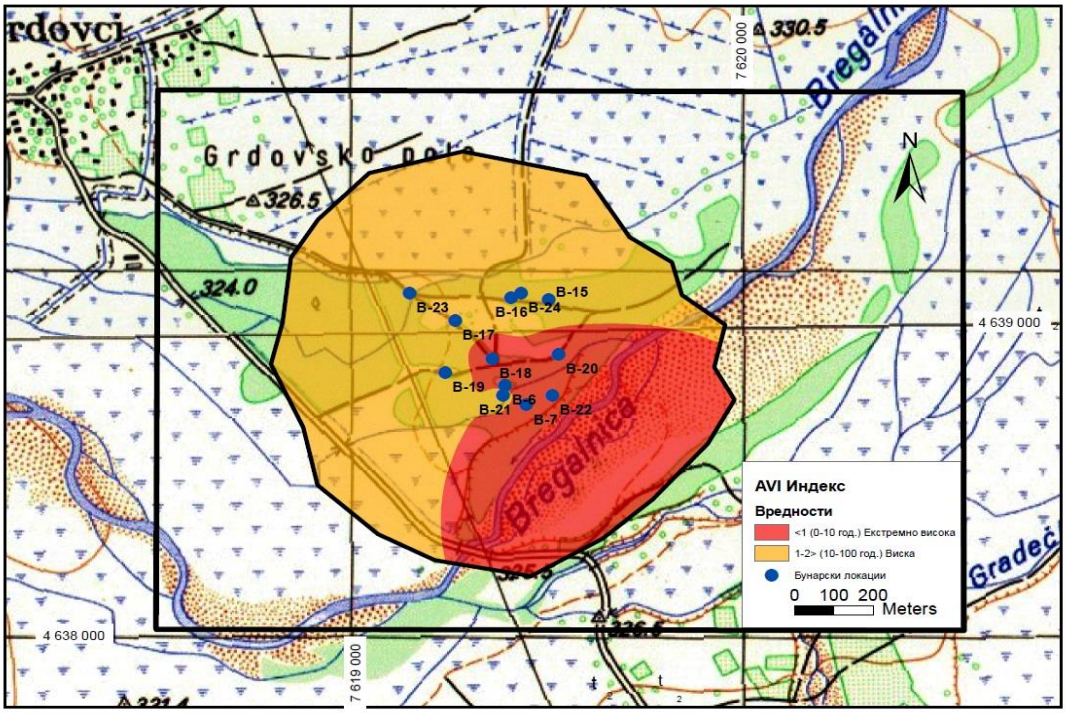
Високиот индекс на ранливост најмногу се должи на високиот коефициент на фитрација на надводоносните седименти кој се движи во интервал од 0,42 до 52,0 m/ден, како и високото ниво на подземни води кое се движи во интервал од 3,5 до 3,8 m. Овој издвоен дел изнесува 32,7 % од вкупно опфатениот простор со истражувањето и ги опфаќа бунарите B-6, B-7, B-18, B-21 и B-22.

Индексот со средната ранливост (0,4 - 0,5) зафаќа поголем простор од вкупниот простор опфатен со истражувањето и тој изнесува 67,3 % . Во овој дел со средна ранливост влегуваат експлоатционите бунари: B-15, B-16, B-17, B-19, B-20, B-23 и B-24.



Сл. 4. Карта на ранливост според GOD – метода за водоносникот Грдовски Орман

Водоносникот Грдовски Орман со AVI – методата според двата параметри (ниво на подземни води и коефициент на филтрација) е со екстремно висока ранливост со вредност <1, до висока ранливост со вредност во интервал од 1 до 2. Картата на ранливост според AVI – методата изработена врз основа на наведените параметри е прикажана на Слика 5.



Сл. 5. Карта на ранливост според AVI – метода за водоносникот Грдовски Орман

Екстремно високиот индекс на ранливост најмногу се должи на високиот коефициент на фитрација на надводоносните седименти кој се движи во интервал од 0,42 до 52,0 m/ден, како и малата дебелина на надводоносните седименти која се движи во интервал од 3,5 до 3,8 m. Овој издвоен дел изнесува 36,5 % од вкупно опфатениот простор со истражувањето и ги опфаќа бунарите B-6, B-7, B-18, B-20 и B-22.

Индексот со висока ранливост од 1 до 2 зафаќа поголем простор од вкупниот простор опфатен со истражувањето и тој изнесува 63,5 %. Во овој дел со средна ранливост влегуваат експлоатционите бунари: B-15, B-16, B-17, B-19, B-21, B-23 и B-24.

ЗАКЛУЧОК

Пресметаниот индекс на ранливост на водоносникот Грдовски Орман според GOD- и AVI-методата е сличен и тој се движи во рамките од средно до екстремно висока ранливост.

Овој водоносник според своите хидрогеолошки карактеристики спаѓа во групата на лесно ранливи отворени до полузатворени хидрогеолошки структури и направените пресметки со двете методи покажуваат дека дебелината на надводоносните седименти, длабочината на подземната вода и коефициентот на филтрација на надводоносните седименти не овозможуваат доволна природна заштита од евентуалното загадување кое би дошло од површината на теренот.

Според изнесените карактеристики можеме да заклучиме дека подземните води акомулирани во алувијалните седименти на водоносникот Грдовски Орман се наоѓаат во геолошка средина која е високо ранлива на загадување.

За зачувување на квалитетот на подземните води од водоносникот Грдовски Орман потребно е да се преземат соодветни превентивни мерки за строга санитарна заштита од надворешни антропогени влијанија поради опасност од контаминација, бидејќи овој водоносник е од големо значење за водоснабдување на градот Кочани.

ЛИТЕРАТУРА

Ангелов, В., (1994): Извештај за изведба на длабока (СХД – 2˙) истражна дупнатина во лежиштето Грдовски Орман – Кочани. Градежен институт Македонија" Скопје.

Арсовски, М., (1997): *Тектоника на Македонија*. Универзитет Кирил и Методиј Скопје, Рударско Геолошки Факултет - Штип.

Vrba J., Zaporozec A., (1994): Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH International Contributions to Hydrogeology, 16, Heise, Hannover, Germany.

Bantar T. S. Rukmana., Wterman S. Bargawa., Tedy A. Cahyadi., (2020): *Assesment of groundwater vulnerability using GOD method*.

Boufekane Abdelmadjid., Saighi Omar., (2013): *Assessment of groundwater pollution by nitrates using intrinsic vulnerability methods: A case study of the Nil valley groundwater (Jijel, North-East Algeria)*. Laboratory of Geo-Environment, Faculty of Earth Sciences and Country Planning, University of Sciences and Technology, Houari Boumediene (U.S.T.H.B), El Alia, BP 32, Bab Ezzouar, 16111 Algiers, Algeria.

Connell L. D., Daele G. V. D., (2003): A quantitative approach to aquifer vulnerability mapping; *J Hydrol*, **276** (1–4): pp. 71–88.

Foster, S., (1987): Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy: *International Conference, 1987, Noordwijk Aan Zee, the Netherlands Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*. Netherlands Organization for Applied Scientific Research, The Hague, 69-86.

Nugraha et al., (2020): Nugraha. U. Gumilar., Lumban, Karit., Priyo, Gaol., Bakti, H. Hartanto., (2020): *Aquifer vulnerability: Its protection and management – a case study in Pangkalpinang city, Indonesia. Reseach center for geotechnology*, Indonesian institute of Sciences, Bandung 40135, Indonesia.

Hardelauf, M.. Herbst, H. H., Vanderborght R., Vanderborght J., Vereecken H., (2004): Pesticide fate at regional scale: Development of an integrated model approach and application. *Phys. Chem. Earth*, **30** (8–10) (2005), pp. 542–549.

Kruseman G. P., De Ridder, J. M., (1990): *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. ILRI Publication 47, 377 p.

Lasserre F. Razack., Banton, M. O., (1999): A GIS-linked model for the assessment of nitrate contamination in groundwater. *J Hydrol*, **22**4(3–4):pp. 81–90.

Мирчовски, В., (2012): *Хидрогеолошки карактеристики и ранливост од загадување на водоносникот Грдовски Орман кај Кочани*. Институт за геологја, Факукултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев", во Штип. Магистерски Труд.

McLay, C., Dragden, R., Sparling, G., Selvarajah, N., (2001): Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: A comparison of three approaches; Environ Pollut 115:191–204.

Knouz, Najat., Bachaoui, El Mostafa., Boudhar, Abdelghani., (2017): *Cartography of intristic aquifer vulnerability to pollution using GOD method: Case study Beni Amir groundwater, Tadla, Morocco. Laboratory of Remote Sensing and GIS applied to Geosciences and Environment*, University Sultan Moulay Slimane, Faculty of Science and Technology, PB 523, Beni Mellal, Morocco.

Putranto, T. T, Hidajat W. K., Susanto, N., (2017): Developing groundwater conservation zone of unconfined aquifer in Semarang, *Indonesia, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 55*.

Rukmana, T. S., Bantar, W. S., Bargawa T. A. C., (2020): *Assesment of groundwater vulnerability using GOD method*.

Ракиќевиќ, Т., Думурџанов, Н., Петковски, П., (1976): *Толкувач за основната геолошка карта на СФРЈ, 1: 100 000, лист Штип*. Геолошки завод, Скопје.

Stempvoort, D. V., Ewert, L., Wassenaar, L., (1993): Aquifer vulnerability index: A gis – compatible method for groundwater vulnerability mappng. *Canadian Water Resources Journal*, **18**:1, 25–37.

Saheed, A. O., (2017): *An overview of aquifer vulnerability*; Unit for Sustainable Water and Environment Civil Engineering Department Central University of Technology Bloemfontein, South Africa.

Thomas. T, Putranto, T. T., Yusrizai, M. B. S (2018): *Determining the groundwater vulnerability using the aquifer vulnerability index (AVI) in the Salatiga groundwater basin in Indonesia*.

3. ЕКОНОМСКА ГЕОЛОГИЈА

Металогенија

Минерални ресурси

Енергетски ресурси

Техногени наоѓачишта

3-EG-01
UDC: 622.7'17:627.8(497.11)

SOME GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL FEATURES OF SAMPLES FROM OLD BOR'S TAILING DAM

Todor Serafimovski[1], Ivica Ristović[2], Blažo Boev[1], Goran Tasev[1], Ivan Boev[1], Dalibor Serafimovski[3], Matej Dolenec[4]

[1]*Faculty of Natural and Technical Sciences, "Goce Delčev" University in Štip,*
[2]*Faculty of Mining and geology, University of Belgrade, Serbia*
[3]*Faculty of Electrical Engineering, University "Goce Delčev"–Štip, Republic North Macedonia*
[4]*Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Slovenia*
todor.serafimovski@ugd.edu.mk

A b s t r a c t: The paper presents the results of the latest tests of tailings from the old tailings in the Bor mine complex. A package of 31 elements was geochemically analyzed, in which with increased elemental contents are characterized the elements typical for the Bor ores such as copper (0.25–0.45% Cu), chromium (0.0047–0.1343% Cr), arsenic (0.0031–0.0127% As), selenium (0.30–4.77% Se), silver (0.15–2.87% Ag) and gold (0.08–0.65% Au). Mineralogical study have shown the standardization of several minerals such as pyrite, bornite, chalcopyrite, magnetite and natural gold, which compositions have been confirmed by SEM–Scanning Electron Microscope. Quantitative mineral analysis gave the composition of the main constituents in the tailings dominated by quartz up to a maximum of 60.6%, amorphous mass up to 58.1%, ore minerals dominated by pyrite up to 20.4% followed by albite, microcline, hornblende and others.

Key words: Bor mine, ore minerals, tailings, geochemistry, quantification and mineralogical analysis

НЕКОИ ГЕОХЕМИСКИ И МИНЕРАЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПРИМЕРОЦИ ОД СТАРОТО БОРСКО ХИДРОЈАЛОВИШТЕ

А п с т р а к т: Трудот ги презентира резултатите од најновите тестирања на хидројаловина од старите хидројаловишта во рудниот комплекс Бор. Геохемиски беше анализиран пакет од 31 елемент, во кој со зголемена елементарни содржини се карактеризираат елементите типични за Борските руди, како што се бакар (0,25-0,45% Cu), хром (0,0047-0,1343% Cr), арсен (0,0031–) 0,0127% како), селен (0,30-4,77% Se), сребро (0,15-2,87% Ag) и злато (0,08-0,65% Au). Минералошките проучувања покажаа неколку стандардни минерали како што се пирит, борнит, халкопирит, магнетит и самородно злато, чии состави се потврдени со Скенинг Електронски Микроскоп-СЕМ. Квантитативната анализа на минералите го даде составот на главните состојки во јаловината во која доминира кварц до максимум 60,6%, аморфна маса до 58,1%, а од рудни минерали доминира пирит до 20,4% проследени со албит, микроклин, хорнбленд и други.

Клучни зборови: Рудник Бор, рудни минерали, хидројаловиште, геохемија, квантификација и минералошка анализа

INTRODUCTION

Old" Bor flotation tailing have been disposed in the Bor River valley from 1933 to 1987. During the exploitation period tailing was divided into two fields separated by the dumps of sand cyclones. The "Old" Bor Tailing pond consist of Field 1 (smallest) and Field 2 (largest) (Figure 1). Large quantities of processed material are actually stored in those tailings and their quantities are expressed in millions of tons. Namely, there had been deposited 22 322 350 t of material with 0.530 g/t Au, 2.83 g/t Ag and 0.230% Cu (Jovanović and Maksimović, 2018). The duration of the exploitation of the mines directly proportionally affects the size of the tailings or tailings material.

The variable degree of utilization of the ore components from the primary ores during the processing, mostly the flotation concentration, contributed to the part of the unused quantities of polymetals and associated components to be deposited in the existing tailings. Most often in the World and in Balkans the tailings are continuously extended and upgraded, so in today's conditions there is usually a group of old tailings and newer tailings that have their own economic value where the concentrations of certain metals such as copper, gold, silver, rhenium, palladium, osmium, selenium and especially

the group of rare earth elements, can be interesting in the copper tailings (technogenous deposits) as it was shown by the latest studies (Serafimovski, 2019; Tasev and Serafimovski, 2020). The positive influences of the technogenous deposits are noted in the work of (Tasev and Serafimovski, 2020), as well as in the works of (Maksimović, 2014; Jovanović and Maksimović, 2018) and others. According to the above, in this paper are presented data from the geochemical and mineralogical study of samples from boreholes drilled in the old tailings of the Bor mining complex. The main motive for this is to contribute to a closer understanding of the positive impacts of the tailings, specifically the old tailings in the mining complex in Bor.

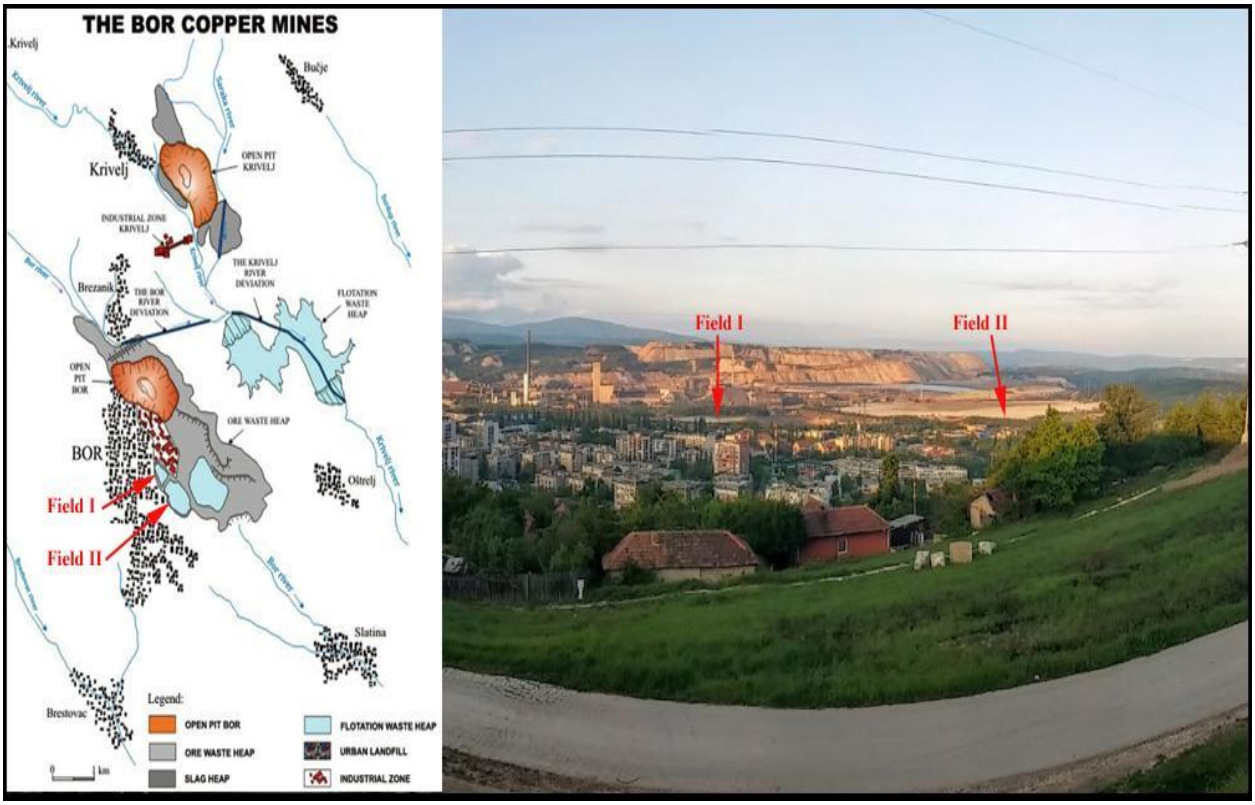


Fig. 1. Schematic positions of Bor (Serbia) of tailing dams with an accent to old Bor tailing dam and its drillhole sampling (Stanojlović et. 2014, modified)

METHODS OF INVESTIGATION

The current paper is based on ore minerals study of the old Bor old tailing were analyzed samples taken from cores of 6 exploration drill holes preformed at the Field 1 and Field 2. Quantification of samples was performed at the XRD laboratory of the Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Slovenia. Prepared polished sections were previewed on the polarizing optical microscope Zeiss Axiolab Pol in reflected light mode at the Faculty of Natural and Technical Sciences, University "Goce Delčev" University in Štip. The chemical compositions of the major mineral phases were determined by scanning electron microscope (SEM) VEGA3 LMU and INCA Energy 250 Microanalysis System (EDS/EDX), located at the "Goce Delčev" University in Štip. For SEM, the VegaTC software was used. Geochemical analysis of adequate tailing samples was performed using the Inductive Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry located at University "Goce Delčev" in Štip. The sampled tailing fields 1 and 2 together contain 27 million tonnes of tailing (Maksimović, 2014; Jovanović and Maksimović, 2018; Stanković et al., 2018; Ristović, 2020).

GEOCHEMICAL FEATURES

Some of the latest geochemical analyzes of individual and composite drill–holes were performed by IRM Bor – Laboratory for Chemical and Technical Control, and SGS Bor. Under laboratory conditions, chemical analyzes were performed on

Cu and Au. During that period, the total number of samples taken from 13 drill–holes was 470.

Copper flotation tailing from the old copper flotation tailings RTB Bor, Serbia until recently was classified as mining waste (Gardić et al., 2015). Disposal of this kind of waste without prior treatment has a negative impact on the environment (quality of surrounding soil, groundwater, surface water and air). However, if we keep in mind aforementioned quantities of material and concentration of certain metals (Cu, Ag, Au….) and their respective metal exchange prices we may easily conclude that there could be induced high economic interest. Chemical composition of copper flotation tailings is shown in the Table 1.

T a b l e 1

Chemical composition of copper flotation tailings

Parameter	Measure unit	Content	Analitical method
Cu	%	0.2	AAS
Fe	%	4.11	AAS
Fe_3O_4	%	0.06	A– Fe_3O_4
Cu_{ox}	%	0.112	AAS
S	%	5.08	S
SO_4^{2-}	%	7.21	NTU
Al_2O_3	%	14.89	PT
SiO_2	%	62.83	G
MgO	%	0.16	AAS
As	%	0.0082	ICP–OES
Pb	%	<0.03	AAS
Zn	%	0.0030	AAS
Hg	g/t	0.1	AAS
Mn	%	0.005	AAS
Cr	%	0.16	ICP–OES
Cd	%	<0.0025	AAS
Ag	g/t	0.9	FA/AAS
Au	g/t	0.1	FA/AAS

With our latest geochemical analyses of samples from drill–holes from the old tailings in the Bor mine complex, a total of 6 composite samples were analyzed with the ICP–AES method on a program package of 31 elements. The obtained results are shown in Table 2.

From the attached Table 2 can be seen that the obtained results are statistically processed and grouped as minimum, maximum, average, standard deviation and median values. The interpretation showed that with increased and interesting contents are characterized the elements that are characteristic for the ores from the Bor mineralized complex whose post–flotation treatment has been identified in the old tailings. It is about the increased contents of copper, arsenic, silver, selenium, gold and for a special note are the increased contents of chromium which are not characteristic for this type of ores. In the framework of the geochemical treatment of elements from the old Bor tailings, in addition to the presentation of the historical data from the studied Bor tailings (given in Table 1), we decided to give comparative data to the tests performed by Outotec (Lippo, 2021) which are presented in Table 3. The attached Table 3 shows that colleagues from Finland conducted separate and aggregate tests on similar materials from the old Boris tailings. The attached data show that in almost all classes the copper content is increased and maximum values are seen in the classes + 75μm, + 45μm, + 20μm and –20μm. Such values coincide with the results obtained from our studies and previous studies by Gardić et al. (2015).

MINERALOGICAL FEATURES

Mineralogical features of the old tailings in the Bor mine complex have not been studied in detail until recently (Antonijević et al., 2008; Serafimovski et al. 2021). Our latest microscopic study of polished sections showed standard ore minerals from the Bor' ore complex, which are dominated by chalcopyrite and bornite (Figure 2), always followed by pyrite, magnetite, maghemite and commonly in association with molybdenite.

The microphotographs show illustrative samples of the most important minerals identified in the materials from the old Bor tailings (Figure 2). After the microscopic study of the polished sections, a total of 5 samples with details of ore grains were analyzed on the Scanning Electron Microscope in the laboratories of the Faculty of Natural and Technical Sciences at University "Goce Delcev" in Štip. The selection of the individual details that were dealt with for SEM analysis was based on the variety of ore minerals, their compactness, their representative morphological forms and of course their

position which enables reliable diagnostics under SEM. Analyzes have shown that the analyzed ore minerals confirm the positive identification under the optical microscope, such as the most common pyrite, chalcopyrite, bornite, magnetite and native gold, and gave the mineral compositions with some influence on the associated trace minerals standard for minerals of this type (Table 4).

T a b l e 2

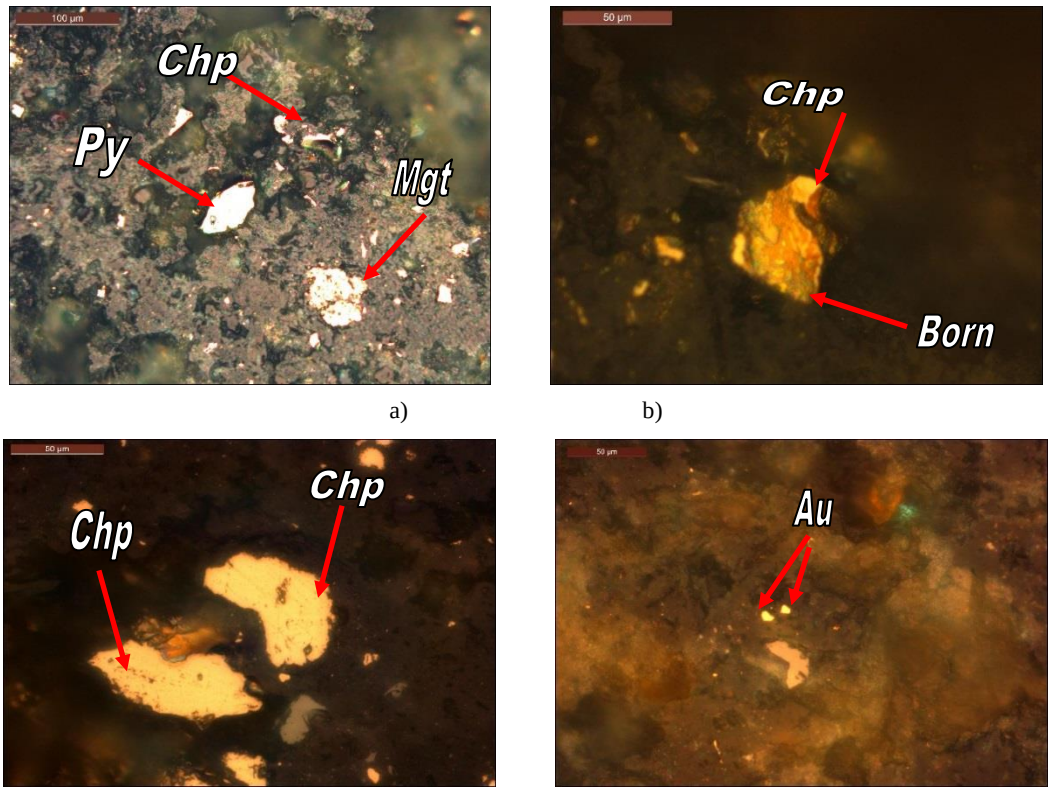
Results from geochemical analysis of drill hole samples from the old Bor's tailing dam (ppm)

	Min	Max	Average	Std. dev.	Median
Al	17010.35	59045.47	30026.44	16662.63	23311.80
Ca	2366.69	18200.00	5520.78	6228.342	3065.59
Mg	584.00	10500.00	2355.83	3991.087	733.00
Na	1258.62	14893.49	3762.08	5457.241	1595.00
K	1556.21	18023.29	6563.15	6447.615	4709.59
Ti	774.20	2218.06	1186.23	532.1721	1077.16
Fe	27181.96	128795.25	76241.72	41251.77	72534.44
P	252.77	454.47	333.30	69.49695	317.53
Mn	26.30	748.53	152.32	292.1234	34.43
Sr	625.57	662.24	645.60	14.85163	645.10
Ba	111.99	3055.32	1428.91	1288.074	1216.12
Zn	19.43	31.69	25.26	5.595234	24.90
Pb	26.87	76.36	53.35	17.20426	53.27
Cr	47.09	1343.96	382.75	479.2266	252.17
Co	4.00	21.62	13.25	7.156132	11.98
Ni	16.19	28.83	22.65	4.180157	22.79
Cu	2542.99	4244.70	3016.99	691.823	2656.72
As	31.68	127.26	81.22	34.25719	84.01
Li	11.10	29.20	16.80	6.477714	15.99
B	17.70	35.27	26.27	5.766051	26.47
V	21.75	150.28	64.88	47.02375	52.93
Mo	1.49	16.52	6.22	5.220865	4.92
S	27035.23	116845.11	68792.51	39332.04	57673.36
Be	0.50	0.62	0.57	0.042757	0.58
Ga	4.96	10.79	7.48	2.346748	6.98
Ge	0.25	3.13	1.57	1.187415	1.45
Sn	2.80	5.99	3.94	1.351648	3.25
Se	0.30	4.77	2.21	1.549224	1.81
Ag	0.15	2.87	1.42	1.004596	1.50
Au	0.08	0.65	0.31	0.222658	0.29
Tl	0.68	2.58	1.51	0.81933	1.13

T a b l e 3

Chemical and geochemical sieve analyses of samples from drill holes from the Bor's tailing dam

Size fraction		+212 µm	+150 µm	+106 µm	+75 µm	+45 µm	+20 µm	–20 µm	Calc bulk	M9383
Weight (g)		37.35	45.08	48.22	42.49	68.06	97.49	254.56	593.25	Bulk (2)
(%)		6.30	7.60	8.13	7.16	11.47	16.43	42.91	100	100
Cu (%)	P1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.007	0.111
	P2	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.05	0.011	0.022
	P3	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.05	0.05	0.052	0.053
	P4	0.03	0.03	0.04	0.06	0.09	0.07	0.03	0.045	0.036
	Sum	0.106	0.075	0.093	0.120	0.155	0.115	0.094	0.115	0.222
	TOT	0.132	0.103	0.123	0.156	0.173	0.145	0.152	0.146	0.241
Fe (%)	P1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	P2	0.89	0.59	0.69	0.79	0.41	0.26	0.73	0.62	0.702
	P3	0.20	0.13	0.12	0.20	0.14	0.13	0.62	0.35	0.36
	P4	3.01	3.09	5.59	9.56	14.70	10.90	4.90	7.14	6.64
	Sum	4.11	3.81	6.40	10.55	15.25	11.28	6.25	8.11	
	TOT	**4.45**	**4.01**	**4.80**	**11.00**	**13.90**	**11.10**	**6.34**	**7.90**	**7.71**



a) b) c) d)

Fig. 2. Representative microphotographs of the most important ore minerals from the old Bor's tailing dam
a) Single aggregate of compact pyrite, sponge–like and partly corroded magnetite and intensively corroded and relic chalcopyrite aggregate (magnif. ×200, crossed nichols); **b)** Two phase chalcopyrite–bornite aggregate mimetically intergrown and plus interstice corossion of bornite over chalcopyrite (magnif. ×400, crossed nichols); **c)** Dual chalcopyrite aggregate. Compact in shape of half arc and relatively pure without corossion traces (magnif. ×630, crossed nichols; **d)** Illustration of two relic native gold grains within oxidized–silicified matrix (magnif. x400, crossed nichols)

T a b l e 4

Scanning–electron microscope analyses of the most common ore minerals from the Bor's old tailing dam (%)

	S	Fe	Cu	Sb	Sn	Te	Cr	O	Ag	Au	Total
Pyrite	52.89	46.51	0.07	–	0.35	–	0.18	–	–	–	100
Magnetite	–	70.69	0.85	–	–	–	0.02	28.44	–	–	100
Bornite	25.43	11.4	62.99	0.04	0.03	0.11	–	–	–	–	100
Chalcopyrite	33.13	30.04	35.13	–	–	0.90	–	–	0.05	0.75	100
Native gold	–	–	1.10	–	–	1.25	–	–	2.60	95.05	100

The attached Table 4 shows that the obtained elemental compositions of the most common minerals in the tailings from the old Bor deposits are quite standard and mostly close to the theoretical values (Palache et al., 1944; Deer et al., 1962; Okrusch and Matthes, 2005; Robb, 2005; Pačevski et al., 2012; Jelenković et al., 2016 and Stefanova et al., 2018). Normally, there are certain specifics that characterize Bor complex ores, and they refer mainly to the elements of impurities, such as the increased presence of copper in pyrite, then the almost regular presence of gold and silver in chalcopyrite, occurrences of tellurium in bornite and chalcopyrite etc.

Quantitative analysis of samples from the Bor mine's tailing dam was realized on a number of selected samples (T1–T6). From selected materials were prepared polished sections where an optical microscope determined the presence of ore minerals from the Bor ore paragenesis, where had been determined presence of pyrite, chalcopyrite, magnetite and some less abundant mineral phases.

Then the samples with the required amount of material were sent for quantitative analysis to the laboratories of the Faculty of Natural Sciences and Engineering at the University of Ljubljana, Slovenia. Even before the samples have been analyzed, we have been told by the XRD operators' that the quantification of the material will be done within the sensitivity of the method, ie, the determination of those mineral phases whose total participation in the analyzed material is below 1% will be aggravated (Table 5).

T a b l e 5

Quantitative XRD mineralogical analysis of samples from the Bor tailing dam (in %wt) with amorphous phase (%)

Dataset Name	Quartz low	Pyrite	Alunite	Nacrite	Hornbl Mg	Anorthite	Microcline ordered	Greigite	Amorphous fraction / %	Total
T1 (B–1 8–9 m)	60.6	12.5	0	0.3	0	0	0	0.1	26.5	100
T2 (B–1 20–21m)	47.1	20.4	0	0.2	0.3	0	0	0.1	31.9	100
T3 (B–2 4–5 m)	48.4	5	2	1.2	0.1	0.2	0	0.2	42.8	99.9
T4 (B–2 18.5–19.5 m)	17.3	4.1	0.4	0	5	10.3	4.5	0.3	58.1	100
T5 (B–3 26–27m)	51.7	16.5	1.8	0	0	0	0	0.2	29.8	100
T6 (B–4 20–21 m)	39.7	4.4	4.6	4.1	0.4	0	0	0.3	46.6	100.1

From the results, enclosed within this review, it could be seen that the reliability of the provision was in favor of the petrogenic minerals (unprocessed minerals), which was a great opportunity for us as we had no other treatment for them, while the ore minerals were found in contents below 1% and their quantification cannot reliably confirm their intensity (Figure 3). However, the quantification of ore minerals (pyrite) is also present in the review through analysis of tailings.

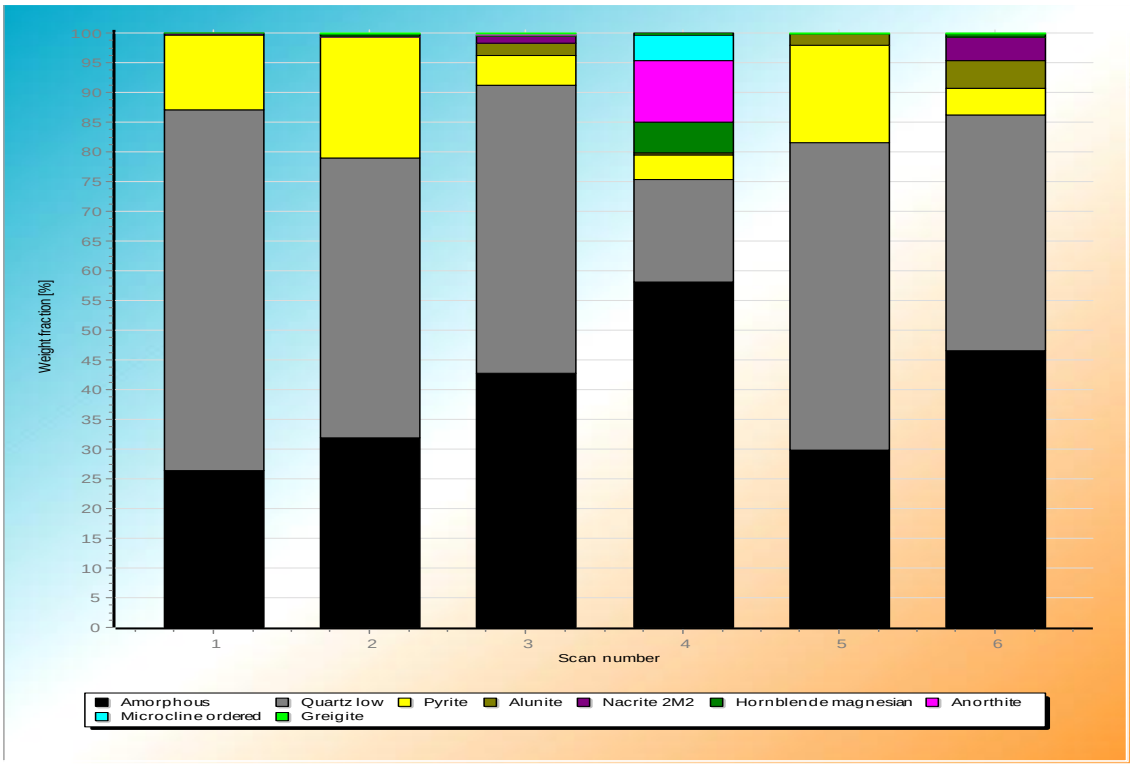


Fig. 3. Frequency graph of major minerals and amorphous phase in samples from the Bor tailing dam (XRD analysis)

CONCLUSION

The realized mineralogical and geochemical studies and the conducted quantification of the treated materials from the old Borski tailings showed that the tailings may be of interest for possible further valorization of certain elements in the first place copper, gold, silver, selenium and possibly even tellurium. The geochemical specialization of all studies conducted so far, including the latest ones, indicates the fact that there is a possibility of special interest for further research of these old tailings. Mineralogical tests confirm a simple mineral composition dominated by chalcopyrite. Quantitative parameters reflect the composition of the complete tailings standard for Bor mine ore types.

Acknowledgement: This work was financially supported by the EIT Raw materials project no. KAVA 18248, RIS–CuRE (Zero waste recovery of copper tailings in the ESEE region).

REFERENCES

Antonijević, M. M., Dimitrijević, M. D., Stevanović, Z. O., Serbula, S. M., Bogdanović, G. D. (2008): Investigation of the possibility of copper recovery from the flotation tailings by acid leaching. *J. Hazard. Mater*. **158**, 23–34.

Deer, W. A., Howie, R. A, Zussman, J. (1962): *Rock-forming minerals, Volume V, Non–Silicates*, John Wiley & Sons, Inc. pp. 56–88.

Gardić, V., Marković, R., Obradović, Lj., Stevanović, J., Gvozdenović, M., Grgur, B., Jugović, B. (2015): Slovak Society of Chemical Engineering Institute of Chemical and Environmental Engineering Slovak University of Technology in Bratislava. *Proceedings, 2nd International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering. Tatranské Matliare, Slovakia,* pp. 910–913. (ISBN: 978–80–89475–14–8, EAN: 9788089475148).

Jelenković, R., Milovanović, D., Koželj, D. and Banješević, D., (2016). The Mineral Resources of the Bor Metallogenic Zone: A Review. *Geologica Croatica*, Vol. **69** (1), pp 143–155.

Jovanović, M., Maksimović, M. (2018): *Final Report of detailed geological survey of technogenous raw material within the Bor old tailing dam (Field 1 and Field 2) for the period 2015–2018*. Professional documentation fund – Geology department IRM, 58 p. [Završni izveštaj o izvršenim primenjenim, detaljnim geološkim istraživanjima tehnogene mineralne sirovine na prostoru starog flotacijskog jalovišta Bor (polje 1 i polje 2) – za period od 2015. do 2018.godine, Fond stručne dokumentacije Odeljenje za geologiju IRM, Bor; 58 s].

Lippo, J., 2021. Laboratory trials for extraction (WP4). *5th Progress meeting on-line*, 10th March, 2021 RIS–CuRE Project (EIT RAW Materials), 13 p.

Maksimović, M. (2014): Project for applied and detailed geological survey of technogenous raw material within the Bor old tailing dam (Field 1 and Field 2) for the period 2014–

2017. *Professional documentation fund*–Geology department IRM, 58 p. [Projekat primenjenih, detaljnih geoloških istraživanja tehnogenene sirovine na prostoru Starog flotacijskog jalovišta u Boru (Polje 1 i Polje 2), u periodu od 2014. do 2017. godine 2014. godine; Fond stručne dokumentacije Odeljenje za geologiju IRM, Bor; 51 s.].

Okrusch, M.. Matthes, S., (2005): *Mineralogie – Eine Einführung in die Spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde;* Book, Springer-Verlag, S. 38; ISBN: 3540238123

Pačevski, A., Šarić, K., Banješević, M., Tončić, T., Cvetković, V. (2012): Skarn mineralizations in the Bor ore district: new evidence from study of bornite–chalcopyrite–hematite paragenesis. *SCOPES Project–International Conference*, May 29–June 02, 2012, Izgrev Hotel, Štip, Macedonia, pp. 16.

Palache, C., Berman, H. and Frondel, C. (1944): *Dana's system of mineralogy,* (7th edition), v. **I**, pp. 282–290.

Ristović, I. (2020): Study of historical data on Cu-tailings in Bor mining complex – Serbia. Deliverable for the Zero waste recovery of copper tailings in the ESEE region (RIS–CuRE), 13 p.

Robb, L. (2005): *Introduction to Ore-forming Processes*. Willey-Blackwell Publishing, Oxford. 382 p.

Serafimovski, T. (2019): Technogene deposits in the Republic North Macedonia. *RIS-RECOVER Project Workshop*, October, 2019 Kavadarci, 35 p.

Serafimovski, T., Ristović, I., Boev, B., Tasev, G., Boev, I., Serafimovski, D., Dolenec, M. (2021): *Mineralogical analysis of samples from the old Bor mine flotation tailing, Republic Serbia*. Natural Resources, pp 1–12 (in print).

Stanković, V., Milosević, V., Milicević, D., Gorgievski, M., Bogdanović, G. (2018): Reprocessing of the old flotation tailings deposited on the RTB Bor tailings pond – a case study. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*. **24**. 5–5. 10.2298/CICEQ170817005S.

Stanojlović, D. R., Sokolović, M. J., Milosević, N. (2014): Integrated environmental protection and waste minimization in the area of copper mine Bor, Serbia. *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. **13**, No. 4, 791–804.

Stefanova, V., Serafimovski, T., Tasev, G. (2018): Native gold composition and morphology through the mineral processing stages at the Bučim copper mine, Republic of Macedonia. *Geologica Macedonica*, Vol. **32**, No. 1. pp 59–74. (In print: ISSN 0352–1206; On–line: ISSN 1857–8586).

Tasev, G., Serafimovski, D. (2020): Positive and negative impacts of technogenic deposits. *Knowledge – International Journal*, Scientific Papers, **38** (3). pp. 567–573. ISSN 2545–4439.

3-EG-02
UDC: 553.411.068.5(497.731)

МОРФОЛОШКО-ХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗЛАТНИ АГРЕГАТИ ОД ЛИПОВДОЛСКА РЕКА, ИСТОЧНА МАКЕДОНИЈА

Виолета Стефанова, Ѓорѓи Димов, Виолета Стојанова

Faculty of Natural and Technical Sciences, "Goce Delčev" University in Štip,
Blvd. Blvd. Krste Misirkov 10-A, P.O, Box 210, 2000 Štip, Republic of North Macedonia
violeta.stefanova@ugd.edu.mk

А п с т р а к т: Во овој труд ќе бидат презентирани резултатите од шлиховската проспекција преку која се изврши опробување на алувионот на Липовдолска река и река Отиња. На пронајдените златни агрегати се изврши морфолошка и хемиска анализа која покажа дека станува збор за самородно злато кое се карактеризира со висока чистота која се движи од 94 до 99% Au, со многу малку примеси од Ag, Cu и Fe. Морфолошката анализа покажа дека доминира сплесканата форма. Големината на зрната се движи од неколку стотина микрони до 2 mm.

Клучни зборови: шлиховска проспекција, алувијално злато, хемиски состав, морфолошки форми

MORPHOLOGICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF GOLDEN AGGREGATES FROM LIPOVDOLSKA RIVER, EASTERN MACEDONIA

A b s t r a c t: In this paper it will be present resultes from Schlich's prospection through which was performed a test from the Lipovdolska river and Otinja river. Morphological and chemical analysis of gold aggregates show higher purity from 94 to 99% Au, with a low content of impurities of Ag, Cu and Fe. Morphological analysis showed that the flattened form dominated. The grain size ranges from a few hundred microns to 2 mm.

Key words: Schlich's prospecting; alluvial gold; chemical composition; morphological forms

ВОВЕД

На физичко-хемиските карактеристики на алувијалното злато влијаат многу фактори меѓу кои позначајни се: карактерот на примарното злато, водената сила, морфологијата на речното корито, должината на транспорт и хемискиот состав на водата во реката. Значењето на овие фактори варира во зависност од климата, интензитетот на ерозијата и др. Како резултат на овие процеси, карактеристиките на примарното злато се менуваат. Нај карактеристични се морфолошките и хемиските промени (растворање и таложење), при што хемиските промени најчесто се претставени со формирање на рабни делови кои се обогатени со злато. Во светски рамки вршени се бројни испитувања на алувијалното злато со цел да се утврди дали ваквото злато може да укаже на примарниот извор и доколку е така кои карактеристики се најкорисни како индикатори за примарниот извор на златото (Chapman et all, 2000, 2010, 2011; Florencia et all, 2004; Knight et all, 1994, 1999; Nakagawa et all 2005, Towenly et all 2003; Tishcenko, 1981; Dumula et all, 2001, Mortensen et all, 2004, 2005; Moles et all 2011; и др).

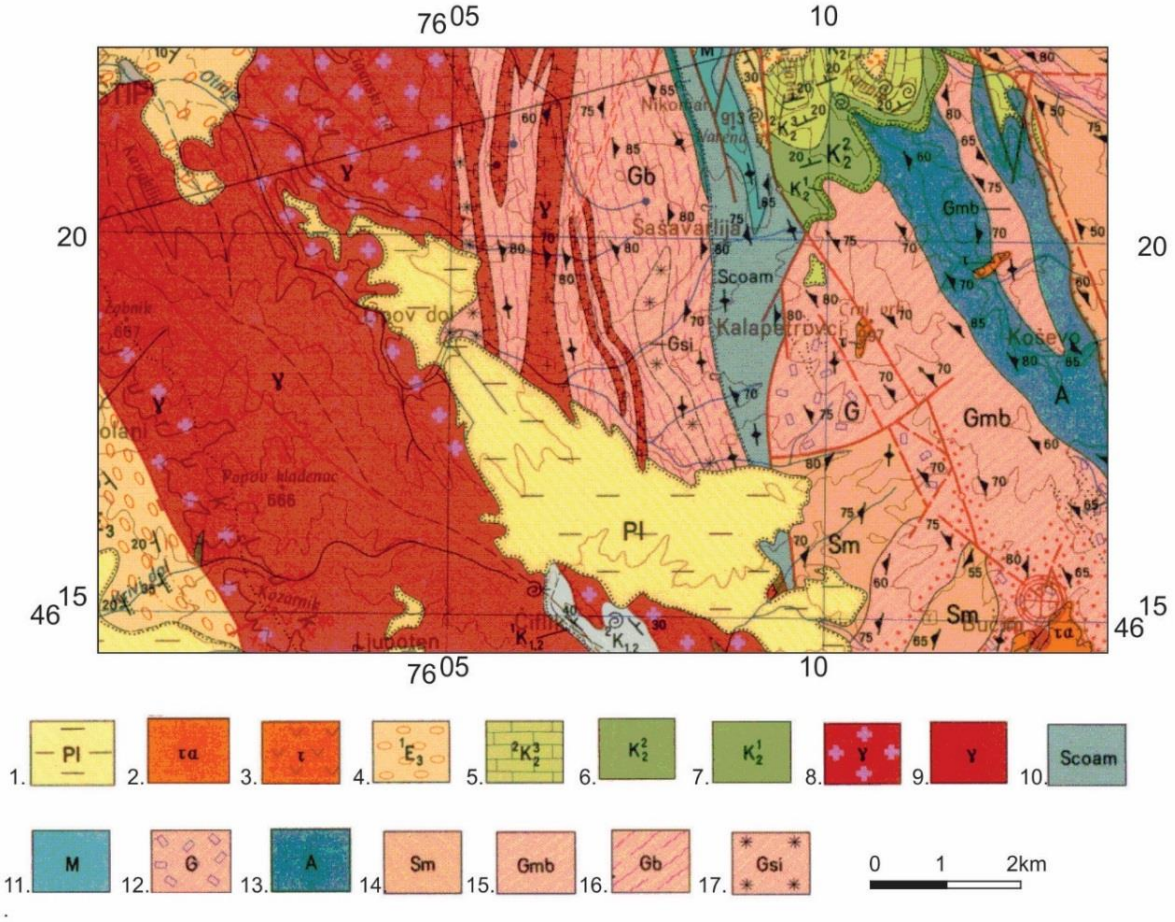
Елувијално-алувијалното злато кое несомнено носи дел од белезите на ендогеното злато, во Македонија малку е истражувано, иако проучувањата на златото имаат долга историја. Постојат мал број на литературни податоци за хемискиот состав и морфолошките карактеристики. Првите вакви истражувања се направени на златни агрегати од неколку локалитети во кои со претходни истражувања е утврдено присуство на ендогена минерализација на злато (Kovacev et al., 2006; Stefanova et al., 2007; Kovacev et al., 2007, Stefanova et al., 2013, 2014, 2015, 2016, 2018, 2019).

ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ПОШИРОКАТА ОКОЛИНА НА ДРЕНАЖНОТО ПОДРАЧЈЕ НА ЛИПОВДОЛСКА РЕКА

Во геолошката градба на испитуваното подрачје велгуваат карпи од различна старост како што може да се види од слика 1,

Липовдолска река и реката Отиња дренираат подрачје кое е претежно изградено од прекамбриски карпи претставени со неколку вариетети на гнајсеви: дволискунски, кордиеритско-силиманитски, порфиробластични, потоа микашисти и лептинолити, мермери, амфиболити и амфиболски шкрилци. Палеозоикот е претставен со хлорит амфиболски шкрилци. Јурскиот магматизам е претставен со биотитски гранити и адамелити. Кредните седименти се претставени со песочници, конгломерати, глинци, варовници. Во палеогенот продолжува седиментацијата на еоценски песочници, лапорци и конгломе-рати. Терциерот е претставен со магматизам од типот на трахити и трахиандезити. На овој терен се среќаваат и плиоценски седименти претставени со песоци, суглини и чакали.

Она што е за одбележување за овој терен е што подрачјето кое го дренират овие реки е во непосредна близина на наоѓалиштето Бучим. Терциерниот магматизам, во поширокото подрачје поточно во подрачјето на Бучим е претставен со трахиандезити. Овој магматизам ја дал бакарната минерализација која е проследена со злато и е распоредена во неколку рудни тела кои се лоцирани околу андезитските пробои а како средина на депонирање се дволискунските гнајсевите. Раседите кои се присутни на овој терен овозможиле на хидротермите да се движат и притоа во гнајсевите како поволна средина ја одложиле минерализацијата. Конкретно во подрачјето кое го дренираат реките кои беа предмет на истражување, терциерниот магматизам е претставен со појава на мал тахитски пробој (Слика 1), во дволискунските и порфиробластичните гнајсеви.



Сл. 1. 1 Геолошка карта на поширокатa околина на истражуваното подрачје (Изавадок од ОГК-лист Штип, ВГИ, 1974)
1. Песоци, суглини и чакали, 2. Трахиандезити, 3. Трахити, 4. Базална серија:песочници, лапорци и конгломерати, 5. Варовници и лапорци, 6. Песочници, 7. Конгломерати и песочници, 8. Биотитски гранити, 9. Адамелити, 10. Хлорит-амфиболски шкрилци, 11. Мермери, 12. Порфиробластични гнајсеви, 13. Амфиболити и мафиболитски шкрилци, 14. Микашисти и лептинолити, 15. Дволискунско тракасти гнајсеви, 16. Биотитски ситнозрни гнајсеви, 17. Силиманитско-кордиеритски гнајсеви

ПРИМЕНЕТА МЕТОДОЛОГИЈА

Шлиховска проспекција се спроведе најнапред по горниот тек на реката Отиња, потоа во втор наврат беа земени материјали од реката Отиња низ самиот град Штип и во третиот наврат опробувањето се изврши по долнотот тек на течението на Липовдолска река која се влева во реката Отиња. Добиениот материјал се испираше класично со употреба на карлица по што добиениот црн шлих се подложи на понатамошна лабораториска обработка. Најнапред со магнет рачно се изврши издвојување на магнетичната серија и се пристапи кон преглед на материјалот со електронски стереоскоп-бинокулар. Златните агрегати се издвојуваа рачно.

За да се одредат морфолошките карактеристики на златото, пред се заобленоста, сплесканоста и назабеноста на зрната се примени скенирање со електронската микроскопија. Ваквите испитувања овозможуваат да се одреди должината на транспортот како и природата на средината во која се депонирале шлиховските минерали. Исто така оваа метода се примени за да се одреди и хемискиот состав на златните агрегати. Анализите се извршија во лабораторијата за електронска микроскопија на Универзитетот во Штип на инструмент од типот VEGA3 LMU. Еталоните се на TESCAN. Специфичните услови на работа се:

– Tension 20 keV; Test Method: EDS;

– Type of analysis:Quantitative X-act: 10 mm^2 (Slicon Drift detector);

– Max resolution 125 EV;

– Resolutionof MnKα, FKα, CKα according to ISO/TS10798:2011.

ХЕМИЗАМ НА ЗЛАТНИТЕ АГРЕГАТИ

Златото во природата најчесто се појавува како самороден метал иако често во хемискиот состав влегуваат многу варијабилни количини на некои други метали пред се сребро, но исто така и жива, бакар, паладиум.

Многу истражувачи го проучувале ефектот на должината на транспортот врз карактеристиките на алувијалните златни честички, и во морфолошки и во хемиски поглед (Hallbauer et all, 1977, Groen et al., 1990, Herail et al., 1990, и др). Меѓу истражувачите постои консензус дека морфолошките карактеристики се поврзани со должината на транспортот, додека односот помеѓу транспортот и хемиските промени е помалку јасен (Chapmen et al, 2001). Промените во составот биле испитувани со анализа на површината на златните агрегати (Hallbauer and Utter, 1977) и на полирани површини (Groen et al., 1990). Во двата случаи било забележано зголемување на финоќата со транспорт, при што механизмите одговорни за збогатување на златото на површината се препишуваат на намалување на среброто и автоматско рафинирање-самопрочистување. Herail et al. (1990) во своите испитувања не забележал промена во хемијата на златните агрегати со текот на транспортот, истакнувајќи дека составот на алувијалното злато кореспондира со оној од примарниот извор.

Според Chapman, et all, 2010 испитувањето на хемискиот состав може да се користи и за корелација помеѓу хемискиот состав на примарното злато и расипното злато со што може да се утврди типот на минерализација. Овие истражувачи веруваат дека златните агрегати со тесен ранг на хемискиот состав укажуваат на орогено потекло.

Нашите испитувањата на хемискиот состав (Табела 1) на златните агрегати покажаа дека станува збор за самородно злато кое се карактеризира со висока чистота (999) и спаѓа во групата на високопробно злато (Захарова, 1974). Како примеси се среќаваат среброто, бакарот и железото со тоа што железото се среќава најчесто иако со ниски содржини кои се движат 0,02 до 4%. Втор минерал по застапеност е среброто кое исто така е присутно во многу ниски содржини од 0,02 до 2,3 %. Бакарот е застапен со содржини кои се движат од 0,02 до 0,3%. Среброто како примеса не покажува некакава закономерност и е рамномерно застапено во централните и периферните делови. Имајки го во предвид фактот дека златните агрегати во целина имат хомоген состав (мерења кои се извршени во центарот на агрегатите и во периферните делови) може да се претпостави дека златните агрегати потекнуваат од еден извор (Florencia et all., 2004).

Останува отворено прашањето дали ваквиот состав на златните агрегати се должи на должината на транспортот поради што доаѓа до самопрочистување на златните агрегати односно до намалување на содржината на среброто (Chapman et al, 2000, Groen et al. 1990) или ваквиот состав се должи на примарниот извор (Herail et al. 1990).

Т а б е л а 1

Хемиски состав на златни агрегати од река Отиња и Липовдолска река

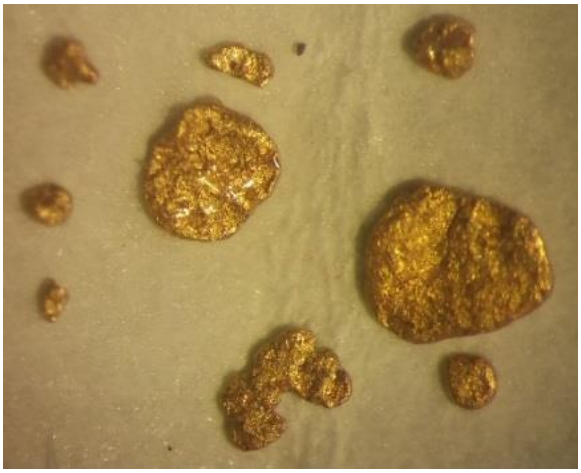
		Au	Ag	Fe	Cu
7.1	Center	99,67	–	0,31	0,02
	Rim	99,93	–	0,07	–
7.2	Center	99,96	–	0,04	–
	Rim	99,76	–	0,14	0,10
7.3	Center	99,70	0,18	0,12	–
	Rim	99,09	0,88	0,02	–
7.4	Center	99,88	–	–	0,12
	Rim	99,77	–	0,23	–
7.5	Center	94,95	0,32	4,74	–
	Rim	99,79	0,21		–
7.6	Center	99,86	0,14		–
3.1	Center	99,42	–	0,58	–
	Rim	99,17	–	0,47	0,36
3.2	Center	99,19	–	0,81	–
	Rim	99,69	0,14	0,18	–
6	Center	100,00			
ST	Center	99,67	0,02	0,31	
	Rim	99,69		0,03	0,28
OT-1	Center	99,35	0,16	0,25	0,24
	Rim	99,65	0,09		0,27
OT-2	Center	99,83		0,06	0,11
	Rim	97,56	2,36		0,08

МОРФОЛОШКИ ФОРМИ НА ЗЛАТНИТЕ АГРЕГАТИ

Самородното злато е минерал кој многу добро се кове и поради тоа многу од физичките карактеристики како што е големината на зрната ќе зависат од типот на примарната минерализација, видот и должината на транспорт како и процесите на ерозија на кои е подложен теренот (Mudaliar et al., 2007).

Големината на пронајдените златни зрна се движи од околу 450 микрони (зрно 6) се до 2 mm (зрно OT-1).

Кај испитуваните златни зрна од овие реки, се забележува заоблување на рабовите и измазнување на површината на зрната а истовремено се зголемува и сплесканоста која може да се должи и на значителниот транспорт на златото а пред се поради малата тврдина и ковноста на златото како минерал (слика 2).



Зрна злато од проба 7

Зрно злато од проба 6

Зрна злато од проба 3

Сл. 2. Фотографски снимки на златни зрна од Липовдолска река

Оваа појава исто така може да укаже дека зрната биле подложени на секундарни процеси. Сплескаността може да се објасни и со тоа што за време на транспортот зрната се судираат со зрната од други поцврсти минерали од карпите што доведува до зголемување на сплескаността во функција на должината на транспортот (Knight et al., 1999; Townley et al., 2003; Tishcenko et al, 1981). Сепак треба да се напомене дека сплескаността варира и во зависност од големината на зрната бидејќи поголемите зрна (1–2 mm) се изложени многу повеќе (Knight et al., 1999), отколку помалите зрна кои се со големина меѓу 8–16 –. Зрната помали од 60 микрони подлежат на многу помало сплескување (Knight, 1994). Сплескаността на зрната е најголема во местата со голема енергија и промените во однос на големината и сплескаността, делумно зависат од движењето низводно а делумно од сортирањето на материјалот за време на флувијаниот транспорт.

Knight et al. (1999) ги проучувале промените во морфологијата на агрегатите во текот на транспоротот, пред се дебелината на рабовите на зрната, сплескаността, заобленостa и т.н. шило-форма фактор, секој од овие фактори посебно и едни во однос на други. Овие истражувања покажале дека најверодостоен индикатор за должината на транспоротот е индексот на сплесканост на зрната иако и степенот на заобленост и дебелината на ивиците може да придонесе за добра корелација. Формата на контурите на зрната може да биде премногу варијабилна бидејќи самите примарни зрна може да имат многу различни почетни форми со што како фактор е тешко применлив. Според Mudaliar (2007), на растојание од 3–5 km врската меѓу сплесканост и заобленостa и должината на транспоротот може да даде измешани форми кои многу се разликуваат бидејќи во овој интервал се случуваат големи почетни промени.

Кружната форма, степенот на заобленост и на сплесканост исто така може да укаже и на типот на изворот (Mudaliar et al., 2007; Knight, 1999) иако според Styles (1995), мерењето на големината и формата на златните агрегати даваат малку информации за потеклото на алувијалното злато.

Од приложените фотографии може да се види дека најголем дел од испитуваните агрегати се со сплескана форма. По форма се кружни (7.1, 7.5, 7.6, 3.1, 3.2, ST) со заоблени ивици. Присутни се и издолжените неправилни форми (7.2, 7.3, 7.4, 6, OT-1, OT-2). И овие златни зрна се сплескани.

Ваквите заоблени, сплескани, зарамнети форми може да укажат на заклучок дека овие зрна претрпеле значителен транспорт бидејќи многу аглестите и неправилни форми, покажуваат дека алувијалното злато е блиску до својот примарен извор додека абразивните и кружни форми укажуваат на транспорт од неколку km (Mudaliar, 2007).

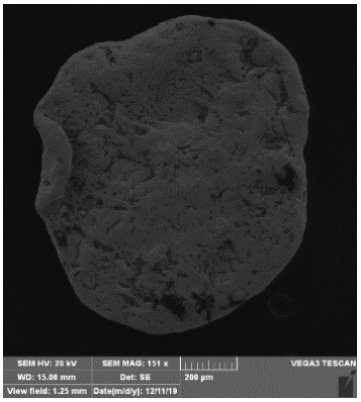
Според Townley et al., 2003, на растојание од 300 до 1000 m, зрната на злато се карактеризираат со регуларни контури, превиткани ивици (слика 3), и површинска топографија која може да биде регуларна и ирегуларна. Зрната кои се наоѓат на растојанија поголеми од 1 km. се карактеризираат со регуларни мазни контури, а надворешната површина е со регуларна топографија.

Од проучуваните златни агрегати, едно зрно (7.1) би било во првата група додека останатите испитувани зрна најмногу по своите карактеристики би припагале во групата на зрна кои се среќаваат на растојанија поголеми од 1 km.

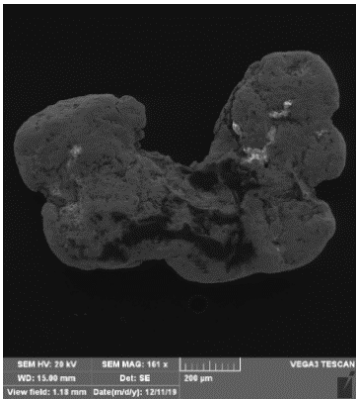
Присуството на златни агрегати во Липовдолска река го отвора прашањето за потеклото на ова злато.

Геолошкиот склоп на теренот покажува присуство на гнајсеви, микашисти, шкрилци. Гнајсевите се покажале како добра средина за од на бакарната минерализација во наоѓалиштето Бучим кое како што споменавме се наоѓа во овој реон. Дали и овде гнајсевите кои се присутни на теренот биле средина каде што се одложувала минерализацијата на злато. Единствена манифестација на магматизам во овој дел се мали трахитски пробои кај локалноста Црн Врв. Се поставува и прашањето дали, и со каква друга минерализација е поврзано златото. За да се одговори на ова прашање неопходно е да се продолжи со

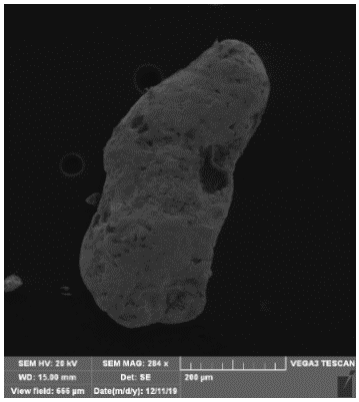
шлиховската проспекција по течението на Липовдолска река до нејзините изворишни делови како и Калапетровска река која го дреднира ова подрачје и се влева во Липовдолска река.



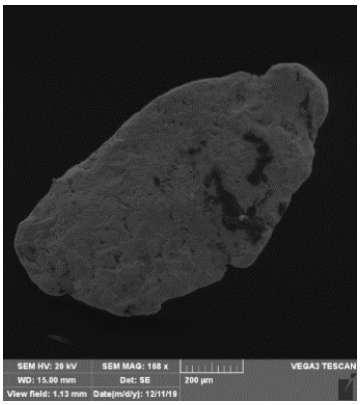
7.1



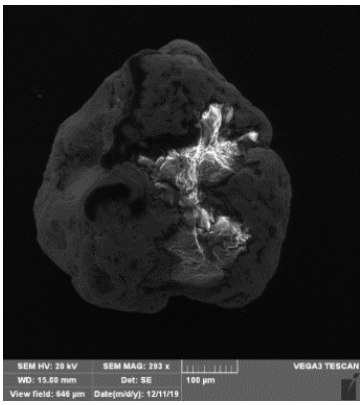
7.2



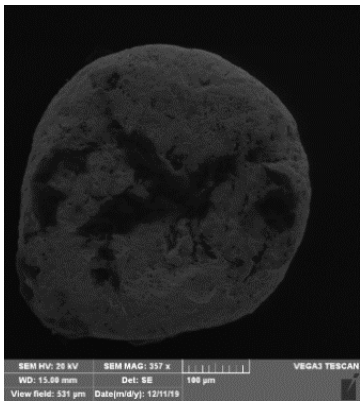
7.3



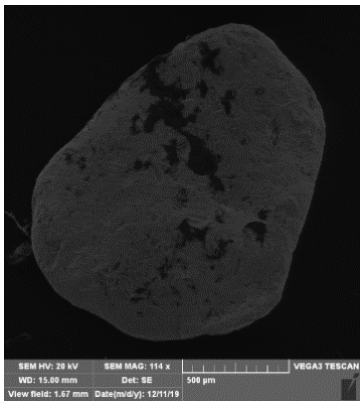
7.4



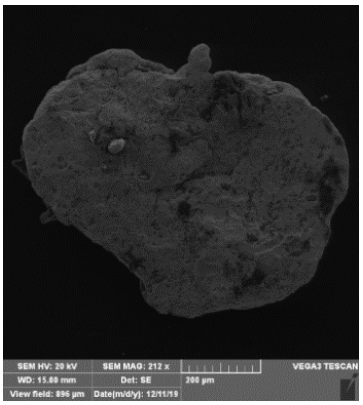
7.5



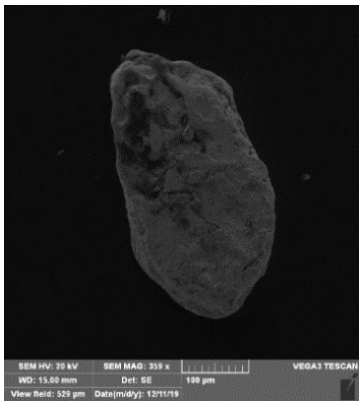
7.6



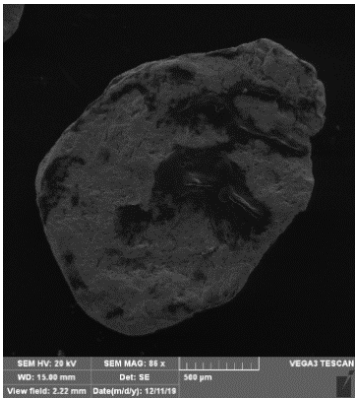
3.1



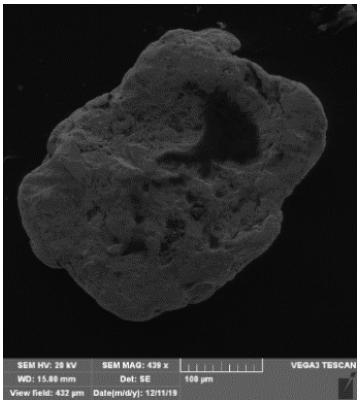
3.2



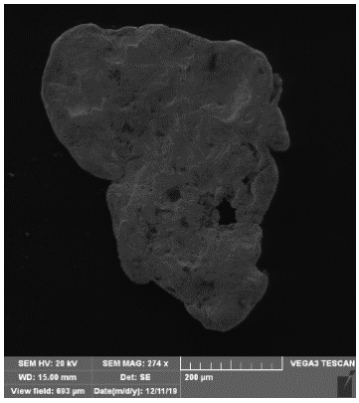
6



ST



OT-1



OT-2

Сл. 2. Морфолошги форми на златните агрегати од река Отиња и Липовдолска река
7.1 – 7.6 и 6 се златни агрегати од Липоволска рекач
ST, OT-1 и OT-2 се златни агрегати од река Отиња

ЗАКЛУЧОК

Врз основа на добиените резултати може да се извлечат неколку заклучоци кои дават насоки за понатамошните истражувања.

Со шлиховската проспекција во алувионите на Липодолска река и река Отиња се пронајдоа златни зрна. Испитувањата на хемискиот состав покажаа дека станува збор за самородно злато кое се карактеризира со висока чистота која се движи околу 998 што го воврстува ова злато во групата на многу високопробно злато. Од примесите по ред на застапеност се присутни железото (0,02–4%), среброто (0,02–2,3) и бакарот (0,02–0,3%).

Големината на златните агрегати се движи од околу 450 микрони до 2мм. За одбележување е дека речиси сите златни агрегати се со сплескана форма и со заоблени надворешни рабови. Овој начин на појавување на златните агрегати укажува транспорт кој веројатно е подолг од 1 км.

Имајки ги во предвид наведените карактеристики може да се каже дека овие испитувања треба да продолжат по горните текови на Липовдолска река и Калапетровска река со цел да се види од каде би можело да потекнува ова самородно злато. Дали терциерниот магматизам е носител на минерализацијата исто како што е во наоѓалиштето Бучим каде за овој магматизам е поврзана бакарната минерализација и со неа поврзаната минерализација на злато. При ова треба да се има во предвид дека магматизмот е ист, терциерен, потоа гнајсевите како средината на депонирање исто така зе застапени во геологијата на овој терен. Постојат и раседи чиј правец на протегање е сличен, како оние во наоѓалиштето Бучим. Можеби примарниот извор на минерализацијата е заеднички со Бучимскиот. Со ова истражување се отвораат прашања за кои одговорот е во продолжување на истражувањата на овој терен.

ЛИТЕРАТУРА

Dumula, M. R., Mortensen, J. K., (2001): Composition of placer and lode gold as an exploration toolin the Stewart River map area, western Yukon, Yukon Exploration and geology, pp. 87–98.

Márquez-Zavalía, M. F., Southam, G., Graig, J. R., Galliski. M. A. (2004): Morphological and Chemical study of placer gold from the San Luis range, Argentina. *The Canadian Mineralogist*, **42** (1),,pp 169–182.

Knight J. B., Mortensen J. K., Morison S. R. (eds) (1994): Shape and composition of lode and placer gold from the Klondike District, Yukon Canada (115O, parts of 116 B). Indian and Northern Affairs Canada, Exploration and Geological Services Division, Yukon Ragion. *Bulletin* **3**, 142 p.

Knight J. B., Morison S. R., Mortensen J. K. (1999): The relationship between placer gold particleshape, rimming, and distance of fluvial transport as exemplified by gold from the Klondike District, Yukon Territory, Canada. *Economic Geology*, **94**, 635–648.

Kovacev V., Stefanova V., Nedelkov R., Mladenov V. (2007): Eluvial-alluvial gold from gold-copper occurrence Borov Dol (R. Macedonia). Part I: Geochemistry of stream sediments and their relation to the source rocks and ores. *Review of the Bulgarian Geological Society*, pp. 66–76.

Mortensen, K. J., Chapman, R., LeBarge, W., Jackson, L. (2004): Application of placer goldand lode gold geochemistry to gold exploration in western Yokon. Yukon Exploration and geology, pp. 205–212.

Mortensen, J. K., Chapman, R., LeBarge W., Jackson, L. (2006): Compositional studies of placer and lode gold from western Yukon: Implications for lode sources. In: *Yukon Exploration and geology* (2005), pp. 247–255.

Moles N., Chapman R. (2011): Placer gold microchemistry in conjunction with mineralogy and mineralchemistry of heavy mineral concentrates to characterize bedrock sources. *Indicator Mineral Methods in 25th International Applied Geochemistry Symposium, Mineral Exploration*, Workshop-3, pp. 19–25.

Nakagawa, M., Santosh, M., Nambiar. C. G., Matsubara, C. (2005): Morphology and chemistry of placer gold from Attapadi Valley, southern India; *Gondwana Research*, Volume 8, Issue 2, pp 213–222.

Tishcenko, E. I. (1981): The problem of the evolution of the gold-flake flattening in alluvial placers. *Soviet Geology and Geophysics*, **22**, 28–33.

Townley, B. K., Herail, G., Maksaev, V., Palacios, C., De Parseval, P., Sepulveda, F., Orellana, R., Rivas, P., Ulloa, C. (2003): Gold grain morphology and composition as an exploration tool: application to gold exploration in covered areas; *Geological Society of London*, **3**, 29–38.

Chapman, R. J., Leake, R. C., Moles, N.R., Earls. G., Cooper, C., Harington, K., Berzins., R. (2000): The aplication of Microchemical Analysis od Alluvial Gold Grains to the Understanding of Complex Local and Regional Gold Mineralizaction: A case Study in the Irish and Scottish Caledonides, *Economic Geology*, **95** (8), pp. 1753–1773.

Chapman, R. J., Mortensen J. K., Craword E. C., Lebarge W. P. (2010_: Microchemical Studies of Placer and Lode Gold

in the Klondike District, Yukon, Canada: 1. Evidence for a Small, Gold-Rich, Orogenic Hydrothermal Systemin the Bonanza and Eldorado Creek Area. Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, **105** (8), pp. 1369–1392.

Chapman, R. J., Mortensen, J. K., Craword, E. C., Lebarge W. P. (2010): Microchemical Studies of Placer and Lode Gold in the Klondike District, Yukon, Canada: 2. Constraints on the Nature and Location of Regional Lode Sources. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, **105** (8), pp. 1393–1410.

Chapman, R. J., Mortensen J. K., Lebarge W. P. (2011): Styles of lode gold mineralization contributing to the placersof the Indian River and Black Hills Creek, Yukon Territory, Canada as deduced from microchemical characterization of placer gold grains. *Miner Deposita*, **46,** pp 881–903.

Stefanova V., Kovacev V., Mladenov V., Stanimirova C. 2007: Eluvial-alluvial gold from gold-copper occurrence Borov Dol (R. Macedonia). Part II: Mineralogy of gold and stream sediments. Review of the Bulgarian *Geological Society*, **68**, 77–91.

Stefanova, V., Volkov, V. A., Serafimovski, T. (2013): Native gold the Plavica Epithermal deposit, Republic of Macedonia. *Doklady Earth Sciences*, Vol. **451**, Part 2, pp. 818–823.

Stefanova, V., Serafimovski, T., Tasev, G., Boev, B. (2014): Placer gold and following minerals along the Stara reka around the Lukar water intake, Kozuf area R. Macedonia. *2nd International workshop. Environm-ental ipmact assesment of the Kozuf metallogeni district in southern Mmacedonia in relation to groundwater resources*, surface water, soils and socio-*economic consequences* (ENIGMA), pp. 23–31.

Stefanova, V., Serafimovski, T., Tasev, G., 2014: Morphological and Chemical Characteristics of Placer Gold De-posits from Meckin Dol, Locality of Borov Dol, Eastern Macedonia. *Tehnika, casopis Saveza inzinera i tehnicara Srbija*, No. 3, pp. 409–415.

Stefanova, V., Volkov, A.V., Serafimovski, T., Sidorov, A. A. (2015): Native Gold of the Borovik Ore Field, Repubic of Macedonia (FYROM). *Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii*, 2015, Vol. **57**, No. 2, pp. 148–153.

Stefanova, V., Aleksandrov, M. Serafimovski, T., Tasev, G., Mircovski, V. (2016) Резултати од прелиминарните проспекциски испитувања на злато во алувионот на Пекљанска река, Виница. *Special Issue of Geologica Macedonica*, **4** (2). pp. 635–642.

Stefanova, V., Serafimovski, T., Tasev, G. (2018): Native gold composition and morphology through the mineral processing stages at the Bučim copper mine, Republic of Macedonia. *Geologica Macedonica*, **32** (1). pp. 59-74. ISSN 0352–120.

Stefanova, V., Serafimovski, T. (2019): Placer gold prospection in Suševska River, Suševo Village, North Macedonia. *Geologica Macedonica*, **33** (1). pp. 39-51. ISSN 0352–206.

3-EG-03
UDC: 622.343.013(497.741)

TECHNO-ECONOMIC PARAMETERS OF THE NORTHEASTERN PART OF CENTRAL PART ORE BODY, BUČIM COPPER MINE, REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA

Goran Tasev[1], Kiril Filev[2], Dalibor Serafimovski[3], Todor Serafimovski[1]

[1]*Faculty of Natural and Technical Sciences, "Goce Delčev" University in Štip, North Macedonia*
[2]*DPTU "Bučim Mine" DOO, Radoviš, North Macedonia*
[3]*Faculty of Electrical engineering, "Goce Delčev" Universityin Štip, North Macedonia*
goran.tasev@ugd.edu.mk

A b s t r a c t: Calculated ore-bearing coefficient in the Northeastern part of the Central Ore Body, Bučim Mine was 0.51%, meaning that within the ore body boundaries 49% of mass is not mineralized somehow, which is slightly different than the remaining three ore bodies within the Bučim porphyry copper mine. The calculated value of variation coefficient (V) has shown value of 58.65% that is in the range of 43–100%, which displays that this ore body belongs to the third group of deposits with uneven mineralization. An average copper and gold concentrations were determined as 0.229% Cu and 0.232 g/t Au, respectively. Minimal economic content (MEC) within the Northeastern part of the Central Ore Body, as represent of this kind of mineralization, was determined as 0.205% Cu. In similar manner was calculated the lowest copper boundary (cutoff grade), which have shown value of 0.127% Cu and thus allowing certain decrease of contents in exploited ore. Also, there were calculated so called copper monometal values, which included influence of the present gold in the ore. Calculated copper monometal was set at relatively fair 0.2388% Cu that represents solid mainstay for exploitation of copper in these low percentage ores. Calculated ore reserves in this particular part of the Central Part ore body were 12 303 965 t of ore with 0.229% Cu, and 0.232 g/t Au and increased mine life for additional 2.15 years.

Key words: Northeastern part Central Ore Body, copper mineralization, variation coefficient

ТЕХНО-ЕКОНОМСКИ ПАРАМЕТРИ НА СЕВЕРОИСТОЧНИОТ ДЕЛ ОД ЦЕНТРАЛНОТО РУДНО ТЕЛО, РУДНИК ЗА БАКАР БУЧИМ, РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

А п с т р а к т: Пресметаниот коефициент на рудоносност во Североисточниот дел од Централното Рудно Тело, рудник Бучим изнесува 0,51 %, што значи дека границите на рудното тело 49 % од масата не е минерализирана, што е нешто поразлично од останатите три рудни тела во рамките на рудникот за бакар Бучим. Пресметаната вредност за коефициентот на варијација (V) покажа вредност од 58,65% која е во опсегот од 43 до 100%, која покажува дека ова рудно тело припаѓа на третата група наоѓалишта со нерамномерна минерализација. Средните концентрации на бакар и злато се одредени како 0,229% Cu и 0,232 g/t Au, соодветно. Минималната економска содржина (MEC) во рудното тело Североисточниот дел од Централното Рудно Тело, како претставник на овој тип на минерализација, беше одредена како 0,205% Cu. На сличен начин беше пресметана најниската гранична содржина на бакарот (ГС), која покажа вредност од 0,127% Cu што дозволува одредено намалување на содржините во рудата која се експлоатира. Исто така, пресметани се вредностите за таканареченото бакар монометал, кои го вклучуваат влијанието на присутното злато во рудата. Пресметаниот бакар монометал е поставен на релативно коректните 0,2388% Cu што претставува солидна основа за експлоатација на бакарот од овие нископроцентни руди. Пресметаните рудни резерви во овој дел од Централното Рудно Тело беа 12 303 965 t на руда со 0,229% Cu и 0,232 g/t Au и го зголеми векот на рудникот за дополнителни 2,15 години.

Клучни зборови: Североисточен дел од Централно рудно тело, бакарна минерализација, коефициент на варијација

INTRODUCTION

The only active porphyry Cu mine, the Bučim Mine is located in the border area between the Serbo-Macedonian Massif (SMM) and the Vardar Zone (VZ) and in terms of metallogeny it belongs to the famous Lece-Chalkidiki metallogenic zone (Serafimovski, 1993). The deposit itself is located in eastern central parts of the Republic North Macedonia, 10 km western of the town of Radoviš. Here

we would like to stress some facts for the Northeastern part of the Central Part ore body, which is one of the four bodies within the Bučim copper mine that is in active exploitation. The Cu-Au mineralization within this ore body is mainly of primary type, formed during hydrothermal processes at several subsequent stages within the temperature range 300 – 400ºC (Čifliganec, 1987; Serafimovski et al., 2013). The latest findings defined ores with copper concentrations in the range 0.1 to 0.359% Cu, while gold concentrations were high as well, reaching up to 0.38 g/t Au. Above mentioned features of this ore mineralization gave us an initiative to calculate several important techno-economic parameters, which define the economic type of this mineralization. Namely, the degree of ore bearing in these types of ore mineralization is variable, but calculation at particular levels and different drill holes gave the more realistic ratio of mixed types of mineralization within this ore body. Some techno-economic parameters related to the Northeastern part of the Central Part ore body can be found in previous works (Čifliganec, 1987; Serafimovski et al., 2013).

GEOLOGICAL FEATURES

Geological setting of the Bučim copper porphyry deposit consists of the Precambrian metamorphic (gneiss, micaschist and amphibolite) and Tertiary rocks. Gneisses are the most common lithology members and are the most favorable lithology setting for deposition of ore mineralization. Several alternating varieties of gneisses are determined according to their mineral composition: biotitic, amphibole-biotitic, micas, metasomatic etc. Tertiary magmatic rocks are present as several latitic subvolcanic-volcanic crosscuts and andesite-latites around which three ore bodies are lineated, which points to direct relationship of the magmatism and mineralization in the deposit. Spatially and paragenetically porphyry copper mineralization is related to latites and latite-andesites. They occur as small subvolcanic intrusions (dikes and necks) distributed NNW-SSE and NE-SW along fault structures and with pronounced holo to hipo-crystalline porphyritic structure and massive texture. The age of the rocks ranges from 27.5 to 24.5 m.y. (Stojanov and Serafimovski, 1990).

ORE MINERALIZATIONS

The Bučim deposit is composed of a magmatic complex consisting of three proven finger-like porphyry stocks (Central Part, Vršnik and Bunardžik) while the Čukar ore body, a supergene mineralization developed in gneiss, has already been mined out (Figure 1; Čifliganec, 1987). More than five decades of study of this deposit have shown that it is characterrized by a complex mineral assemblage and mineral paragenesis (Serafimovski, 1993; Stojanov and Serafimovski 1990; Čifliganec 1987; Serafimovski 1990; Serafimovski et al., 1990; Serafimovski et al., 1996; Čifliganec et al. 1997). The Central Part, Bunardžik and Vršnik ore bodies are related to andesitic porphyry intrusions, whereas the Cukar ore body consists of a supergene copper mineralization [9]. The primary sulphide mineralization plays the major role in production of copper. The Central Part ore body is the most important ore body in the Bucim deposit. It hosts nearly 70% of the total mineralization, which are formed in gneiss and round latite dike, and represents a typical example of primary copper mineralization (Čifliganec 1987). The dimensions, registered so far are: (a) about 250 m vertical interval (at the 650-400 m absolute level) and (b) on a plane, the mineralized surface in the upper portion of the ore body, together with the andesite intrusion, has a diameter of some 600 m. That means that the Central part ore body has the form of an irregular ring

There have been identified the following ore minerals: pyrite, magnetite, chalcopyrite, rutile, sphene, ilmenite, hematite, pyrrhotite, vallerite, cubanite, sphalerite, galena, bismuthinite, bornite, enargite, native gold, lineite. Also, there has been confirmed presence of Bi-Se association: bismuthine, galenobismuthine, friedrichite, krupkaite, emplectite, laitakarite, native bismuth and cosalite (Čifliganec 1987).

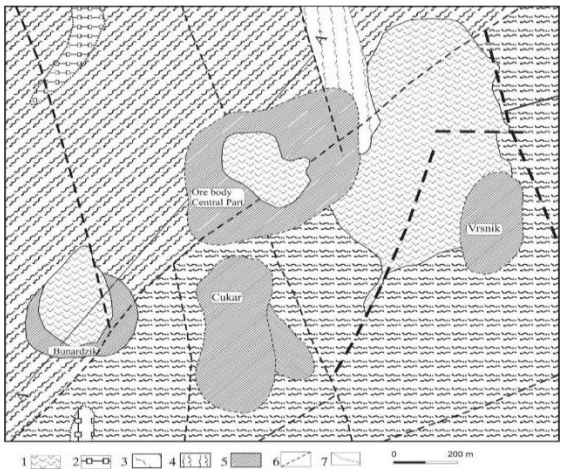


Fig. 1. Simplified geological map of the Bučim deposit (Stojanov and Serafimovski, 1990)
1) Andesite and latite, 2) Amphibolite, 3) Muscovite schist, 4) Gneiss, 5) Ore body, 6) Fault, 7) Ore body contour

TECHNO-ECONOMIC PARAMETERS

Techno-economic parameters are one of the most important links in the chain of economic evaluation of a certain ore deposit, so in this part of the paper we are going to focus on them. The major parameters of the techno-economic evaluation of the Northeastern part of the Central Part ore body situated in the Bučim copper mine directly are pointing out to a possibility of productive exploitation of copper ore from this particular ore body and possibility to create profit. Here in more details are given results from calculations of ore-bearing coefficient, variation coefficient, average concentrations of major ore metals (Cu, Au), minimal economic concentration, cutoff grade, calculation of mine life as a function of calculated ore reserves.

Ore-bearing coefficient. As already mentioned elsewhere [3] the ore-bearing coefficient defines the ratio between the total mineralized area within the ore body and certain poor (waste) zones (content below the limit of 0.15% Cu), within that same ore body. In the Northeastern part of the Central Part ore body from the 8 exploration cross sections with 24 drill holes and 2999.6 m of mineralized area, 1527 m were mineralized above 0.15% Cu while the 1472.6 m displayed mineralization below the limit of 0.15% Cu, but however significantly over the Clark values. Using the formula given below (Čifliganec 1993), we have managed to calculate aforementioned coefficient.

$$K_r = \frac{m_1}{m_2} = \frac{1527}{2999.6} = 0.51$$

where:

K_r – Ore-bearing coefficient,

m_1 – Productive interval (mineralized area >0.15% Cu),

m_2 – Total mineralized interval.

This gave us an opportunity to calculate the ore-bearing coefficient of 0.51, which points out that within the defined ore body there are 49% of rock mass below the accepted minimal economic concentration of 0.15% Cu. Additionally we would like to stress out that the ore-bearing coefficients throughout all drill holes ranged from 0.12 up to 1.00 while along the exploration cross sections those ranges were slightly narrower, 0.15–0.69.

***Variation coefficient*:** This coefficient defines spatial distribution of useful mineral components in the the deposit or more precisely how evenly mineralization is represented in the deposit (ore body). In the Northeastern part of the Central Part ore body's case there were drilled 33 exploration drill holes of which 24 drill holes defined the ore body. In those 24 drill holes were sampled 715 samples, which have defined an average content of Cu, Au, Ag and Fe_3O_4. The basic parameters for calculation of variation coeficient in the Northeastern part of the Central Part ore body were selected from 7 the most representative drill holes totaling 515 m (Table 1).

First of all we have calculated an average copper content, as it is given below:

$$\bar{C} = \frac{\sum C}{N} = \frac{165.734}{715} = 0.2318\%$$

where:

N – total number of samples

C – Average copper concentration (Cu%)

Then we have proceeded with calculation of median sqaure deviation and variation coefficient as given below:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum X^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{13.105}{714}} = \sqrt{0.018354} = 0.136$$

where:

$\sum X^2$ – Sum of square deviations from an average values

δ – medium square deviation

$$V = \frac{??x100}{\bar{C}} = \frac{0.231x100}{0.135478} = \frac{23.10}{0.135478} = 58.65\%$$

V – Variation coefficient

The value of 58.65% for the variation coefficient is within the range of 32–92%, which points out to an irregular mineralization representative for most of the hydrothermal copper and polymetallic mineralizations.

An average concentration of useful component(s). An average concentation of useful component represents the average presence of one or more components within an ore body. By the basic method of calculation of ore reserves within the Northeastern part of the Central Part ore body (level blocks) it was determined that for calculated B and C1 category of reserves the average values of useful components are 0.229% Cu and 0.232g/t Au.

T a b l e 1

Basic parameters for calculation of variation coefficient in the Northeastern part of the Central Part ore body, Bučim Mine

Cross section	Drill hole	N Tot. no. samples	C^{-} (%) average contents Cu	$\Sigma(x^2)$ Sum of an average values squares	δ average square discrep.	V (%) variation coefficient
BV-BV'	B-52	2	0.1	0	0	0
	B-157	15	0.161	0.221	0.126	78.26
	B-159	21	0.195	1.055	0.23	117.95
	3	38	0.18	1.276	0.173	96.11
BVI-BVI'	B-51	14	0.27	0.22	0.141	52.22
	B-158	15	0.189	0.086	0.078	41.27
	2	29	0.23	0.306	0.1	43.48
BVII-BVII'	B-40	61	0.17	0.37	0.1	58.82
	B-56	8	0.27	0.15	0.141	52.22
	B-120p	23	0.2	0.1	0	0.00
	B-155	23	0.359	1.344	0.247	68.80
	B-408	8	0.206	0.029	0.064	31.07
	5	123	0.22	1.993	0.141	64.09
BVIII-BVIII'	B-31	15	0.27	0.36	0.173	64.07
	B-32	39	0.21	0.49	0.1	47.62
	B-154	34	0.251	0.639	0.139	55.38
	B-412	70	0.315	3.37	0.221	70.16
	B-412k	63	0.208	0.499	0.09	43.27
	B-413	8	0.17	0.186	0.163	95.88
	6	229	0.25	5.544	0.141	56.40
BIX-BIX'	SB-34	88	0.21	1.27	0.1	47.62
	B-411	33	0.259	0.267	0.1	38.61
	B-411pr	23	0.25	0.095	0.066	26.40
	B-411k	70	0.261	1.65	0.141	54.02
	4	214	0.24	3.282	0.141	58.75
BX-BX'	B-152	15	0.112	0.05	0	0.00
	B-409	36	0.239	0.365	0.102	42.68
	2	51	0.2	0.415	0.102	51.00
BXI-BXI'	B-410	23	0.221	0.200	0.095	42.99
BXII-BXII'	B-417	8	0.209	0.089	0.113	54.07
Σ	**24**	**715**	**0.23**	**13.105**	**0.136**	**58.65**

Calculating the Minimal Economic Concentration (MEC). This calculation should provide a clear answer to the question, does the explored deposit or ore body (represented by calculated reserves within) can fulfill the economic requirements for viable exploitation of that ore body. Aforementioned calculation should display, does the exploitation will cover all the production costs and in the same time to achieve adequate profit, equivalent to the required cost effectives coefficient. Bearing in mind that here we were working only with one small part of the Bučim deposits, we used Gudalin's formula (Janković, S. and Milovanović, D, 1985; Čifliganec 1987) where have been considered the following parameters: exploitation costs, utilization of the mineral resource, price of the final product or more precisely the final ore product (copper, gold and silver). As we already mentioned, this calculation was performed by the formula:

$$MEC = \frac{100 \cdot S}{Ie \cdot Io \cdot \mathrm{Im} \cdot \left(Co - Sm - \frac{100 \cdot St}{g \cdot \mathrm{Im}} \right)}$$

where:

S – costs of exploitation and processing of 1 t ore (Te and To) 9.0 US$/t

r – dillution during the exploitation 3%

Ie – dillution coefficient during the exploitation (1 – (*r*/100))

Io – coefficient of extraction during enrihment, 86%

Im – efficiency coefficient during the metalurgical processing, 95%

Co – market price of copper (at the moment of calculation), 6700 US$/t

Sm – costs of metalurgical processing of the final product unit, 1000 US$/t

St – cost for transport per tonne ore concentrate, 30 US$/t

g – concentration of metal in ore concentrate, 20%

$$MEC = \frac{100 \cdot S}{Ie \cdot Io \cdot Im \cdot \left(Co - Sm - \frac{100 \cdot St}{g \cdot Im}()\right)} =$$

$$= \frac{100 \cdot 9.0}{0.07 \cdot 0.86 \cdot 0.95\left(6700 - 1000 - \frac{100 \cdot 30}{20 \cdot 95}\right)} =$$

$$= \frac{900}{0.79249 \cdot (5700 - 157.895)} =$$

$$= \frac{900}{4392.063} = 0.205\% Cu$$

MEC = 0.205 % Cu.

Calculated minimal economic concentration displays that for a cost effective production the MEC value should not be lower than 0.205% Cu.

Calculation of monometal. Ore reserves calculation of the Northeastern part of the Central Part ore body have shown that it is natural product that contains in average 0.229% Cu and associated gold 0.232g/t Au. Comparing those values of useful components with the necessary MEC (0.205% Cu) we may conclude that the ore body have contents higher than the minimal one. In those case we trying to calculate all present useful components to one monometal (in this case copper). That calculation was performed using transformation factor (*f*) for associated component (Au) on the basis of Cu expressed as monometal. The transformation factor is calculated as follows (Čifliganec 1987):

$$f_{\mathrm{Au}} = \frac{C_{\mathrm{Au}} \cdot Io_{\mathrm{Au}} \cdot Im_{\mathrm{Au}} \cdot Co_{\mathrm{Au}}}{C_{\mathrm{Cu}} \cdot Io_{\mathrm{Cu}} \cdot Im_{\mathrm{Cu}} \cdot Co_{\mathrm{Cu}}}$$

C_{Au} – average content of Au in ore (g/t),

Io_{Au} – usage efficiency of Au in flotation process (%),

Im_{Au} – metallurgical usage of Au (%),

Co_{Au} – gold in concentrate (g/t),

C_{Cu} – average content of Cu in ore (%),

Io_{Cu} – usage efficiency of Cu in flotation process (%),

Im_{Cu} – metallurgical usage of Cu (%),

Co_{Cu} – copper in concentrate (%).

In that manner we have calculated for the Northeastern part of the Central Part ore body:

$$f_{Au} = \frac{0.232 \cdot 0.5 \cdot 0.92 \cdot 15}{2.29 \cdot 0.86 \cdot 0.95 \cdot 20} = \frac{1.6008}{37.4186} =$$
$$= 0.04278$$

$$\mathrm{Cu} = C_{\mathrm{Cu}} + (Cu_{Cu} \cdot f_{\mathrm{Au}})$$

$$Cu = 0.229 + (0.229 \cdot 0.42781) = 0.238797\%$$

$$Cu_{monometal} = 0.238797\%$$

The calculation above have shown that useful components calculated to the Cu monometal is 0.238797% Cu, which is higher than the needed one calculated with MEC (0.205% Cu) and in that direction the ore reserves can be considered as economically viable itself.

Cutoff grade.- This grade defined as the level of mineral in an ore below which it is not economically feasible to mine (GS) was calculated after intensive analysis of several parameters such are: dilution coefficient of ore during excavation (3%; L_e=100-(3/100)=0.9), efficiency of usability during enrichment (L_o=86%), efficiency of usability during metallurgical processing (L_m=95.0%), cost for enrichment of 1t ore (S_o=5.60 US$/t), transport costs for 1 t of ore concentrate (S_t=25 US$/t), costs for metallurgical processing per unit of final product (S_m=1000 US$/t), market price of copper at the moment of calculation (C_o=6700 US$/t), costs for excavation of 1t of ore and copper metal content in ore concentrate (g=20%). In that manner we have calculated the cutoff grade as follows:

$$GS = \frac{100 \cdot So}{Le \cdot Lo \cdot Lm \cdot \left(Co - Sm - \frac{100St}{gLm}\right)} =$$

$$= \frac{100 \cdot 5.6}{0.97 \cdot 0.86 \cdot 0.95\left(6700 - 1000 - \frac{100 \cdot 25}{20 \cdot 0.95}\right)}$$

$$= \frac{560}{0.97 \cdot 0.86 \cdot 0.95\left(5700 - \frac{2500}{19}\right)} = 0.127\%$$

GS = 0.127% Cu.

The calculated cutoff grade takes only copper in consideration although we have gold as valuable components in the Northeastern part of the Central Part ore body's ore, also. Bearing in mind all the above calculated parameters we have calculated the ore reserves within the Northeastern part of the Central Part ore body and corresponding concentrations of certain metals in them (Table 2).

T a b l e 2

Calculation of ore reserves in the Northeastern part of the Central Part ore body

Parameters		Category		
		B	C_1	B + C_1
Commodity	unit	5 455 946	6 848 019	12 303 965
Cu	%	0.240	0.221	0.229
Au	g/t	0.287	0.189	0.232
Cu	t	13 078	15 141	28 219
Au	kg	1 566	1 294	2 860

The total of calculated ore reserves in the Northeastern part of the Central Part ore body are in an ammount of 12 303 965 t (B+C_1 category) with an average content of 0.229% Cu and 0.232 g/t Au.

CONCLUSION

The Northeastern part of the Central Part ore body is very important ore body for the production of copper ore in the Bučim Mine with calculated ore reserves of 12 303 965 t of ore with an average content of 0.229% Cu and 0.232 g/t Au and specific style of primary porphyry copper ore mineralization, followed by gold contents, since the calculated reserves are the last ones to be produced fom this mine. The ore bearing coeffiecient was calculated at 0.51, variation coefficient 58.65%, minimal economic concentration 0.205% Cu and cutoff grade of 0.127% Cu. All these techno-economic parameters have positive effects to the exploitation of this ore body, which with existing capacity of the Bučim mine provides additional 2.15 years of production.

REFERENCES

Serafimovski, T. (1993): *Structural-Metallogenetic Features of the Lece-Chakidiki Zone: Types of Mineral Deposits and Distribution*. Faculty of Mining and Geology, Geological Department, Special Issue No. 2, p.328, Štip.

Čifliganec, V. (1987): *Metallogenic features of the Bučim copper deposit within the Serbo-Macedonian metallogenic province.* PhD thesis, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 190 p. (in Serbian).

Serafimovski, T., Barutskij, V., Filev, K. and Tasev, G. (2013): Cu-Au valorization from poorly mineralized ore bodies in the Bučim copper mine, Eastern Macedonia. *13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Conference Proceedings*, Volume **1**, Albena, R. Bulgaria, pp. 381–388.

Stojanov, R., Serafimovski, T. (1990): Basic features of the Tertiary magmatism in the Bučim-Borov Dol area. *XII Congress of Geologists of Yugoslavia*, Ohrid, Vol. **2**, pp. 404–423 (in Macedonian).

Serafimovski, T. (1990): *Metalogeny of the zone Lece-Chalkidiki*. Doctoral thesis, Faculty of Mining and Geology, Štip, 380 p (in Macedonian).

Serafimovski, T., Mankov, S., Čifliganec, V. (1990): Bismuth-selenium mineralization in the copper deposit Bučim-Radoviš. *XII Congress of Geologists of Yugoslavia*, Ohrid, Vol. **3**, pp. 73–85 (in Macedonian).

Serafimovski, T., Čifliganec, V., Janković, S., Boev, B. (1996): Genetic Model of the Bučim Porphyry copper deposits, republic of Macedonia: Plate_Tectonic Aspects of the Alpine Metallogeny in the Carpatho–Balkan Region, In: *Proceedings of the Annual Meeting*, v. **1**, pp. 63–73

Čifliganec, V., Serafimovski, T., Stefanova, V. (1997): Content and Distribution of Gold-Bearing Minerals From the Bucim Porphyry Copper Deposit. *Symposium-Annual Meeting, Proceeding – Abstract*, 277–278, Dojran.

Čifliganec, V. (1993): *Copper Mineralization in the Republic of Macedonia: Types and Distribution Pattern*. Geol. Dept., Faculty Min. Geol., Spec. Issue, Vol. **1**., 303 p. (in Macedonian with extended summary in English).

Janković, S., Milovanović, D. (1985): *Economic geology and basics of mineral resources economy*. Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 403 p. (in Serbian).

3-EG-04
UDC: 553.411.08(497.2)

STYLES OF EPITHERMAL MINERALIZATION IN THE SURNAK DEPOSIT, KROUMOVGRAD GOLDFIELD, SE BULGARIA. DATA FROM SURFACE OUTCROPS

AleksandarGadzhalov, Irina Marinova*

Institute of Mineralogy and Crystallography, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 107, 1113 Sofia;
irimari@gmail.com

A b s t r a c t: The paper presents styles of mineralization in the epithermal, low-sulfidation Surnak gold deposit in SE Bulgaria, of ongoing exploration. Data comes from sampling of surface outcrops within the deposit. The samples were examined for textures and mineral composition by stereomicroscope, optical microscope in transmitted and reflected light and powder X-ray diffraction. Two major styles are recognized: layer-like one of pervasive massive silicification of both PrePaleocene metamorphic basement and overlying Paleocene-Eocene sediments and a vein/veinlet one of quartz, quartz-adularia, pyrite and barite veinlets, which cross-cut the first style. Pyrite is the main ore mineral and the vein/veinlet style seems more premising for precious metals than the layer-like one. Presence of colloform quartz and quartz microspheres in veinlets indicates high supersaturation in respect to quartz likely achieved through episodic boiling of fluids. However, non-boiling fluids appear to have predominated. A comparison with the next bigger Khan Krum deposit is made and considerations about some textural and mineral differences are expressed.

Key words: style of mineralization, epithermal, low-sulfidation, quartz microspheres, colloform, Surnak gold deposit, Kroumovgrad goldfield

ТИПОВИ НА ЕПИТЕРМАЛНА МИНЕРАЛИЗАЦИЈА ВО SURNAK НАОЃАЛИШТЕТО, КРУМОВГРАД ЗЛАТОНОСНО ПОЛЕ. ПОДАТОЦИ ОД ПОВРШИНСКИ ИЗДАНОЦИ

А п с т р а к т: Овој труд ги презаентира типовите на минерализација во епитермалното наоѓалиште на злато со ниско сулфидирање, Surnak, во Југо-Источна Бугарија, чие што истражување е во тек. Податоците се добиени од опробувањето на површинските изданоци во склоп на лежиштето. На примероците им беа испитувани нивните текстури и минералниот состав со стереомикроскоп, оптички микроскоп со пропуштена и одбиена светлина и рендгенска дифракција на прав. Се издвојуваат два главни видови: услоена, сеприсутна, масивна силификација од Пред-палеозојска метаморфна основа и Палеоценски- Еоценски седименти кои лежат врз неа како и жични изградени од кварц, кварц-адулар, жилички на пирит и барит, кои што попречно го сечат првиот тип. Пиритот е главниот руден минерал, а жичниот тип на минералицазија се чини дека дава поголема надеж за благородни метали отколку услоениот тип. Присуството на колоформниот кварц и кварците микросфери во жиличките укажуваат на висока презаситеност во однос на кварцот кој што е најверојатно настанат преку повремено вриење на флуидите. Сепак, се чини дека течностите кои што не вријат се предоминантни. Направена е споредба со следното поголемо лежиште Khan Krum и прикажани се размислувања во врска со структурните и минералните разлики.

Клучни зборови: тип на минерализација, епитермална, ниско-сулфидирање, кварцни микросфери, колоформна, лежиштето на злато Surnak златоносно поле на Kroumovgrad

INTRODUCTION

Surnak deposit is known from geological exploration carried out in the early 90s of 20th century. It is considered as a part of the Kroumovgrad goldfield (Figure 1) and is classified as an epithermal, low-sulfidation deposit (adularia-sericite type) (Kunov et al., 1999). It is a small gold-silver deposit of 2 tones at 2.5 g/t gold (personal comm. of D. Jelev).

Mutafchiev and Gergelchev (1999) defined Surnak as a gold-jasperoid deposit. Georgiev (2007a) referred the ore bodies in the Surnak and next Han Krum deposit to as linear stockworks and layer-like ones in favourable of replacement rocks and in tectonic zones (detachment fault). Marton (2009) recognized brecciated and silicified zones in amphibolite and carbon-rich sandstone and siltstone. He emphasized the role of host-rock lithologies as feeder, reactive or permeable zones.

In view of the ongoing exploration of the deposit, the aim of the present study is to present more comprehensive data on the mineralization styles in

the Surnak deposit and their relationships, based on data from surface outcrops.

MATERIAL AND METHODS

Samples taken from surface outcrops within the Surnak deposit appear material used in this study. The sampling was carried out mainly in 2007-2008 and two samples were added in 2020. 13 samples were taken from surface outcrops each of them of about 3–5 kg. The sampling sites and their numbers are indicated on the geological map of Surnak deposit (Figure 1). Their geographic coordinates were taken by GPS. Non-altered and hydrothermally altered rocks, tectonic zones, zones of silicification, veins and veinlets were sampled. Thin and polished thin sections as well powder samples were prepared from the taken surface samples and then examined under stereomicroscope, optical microscope in transmitted and reflected light, and powder X-ray diffraction.

GEOLOGY

The Surnak deposit is located in the Eastern Rhodope Mountain, SE Bulgaria, in the Rhodope Metallogenic Province (Georgiev, 2007a) (Figure 1), where several gold-base metal volcanic-hosted deposits, related to Oligocene magmatism, are well known (Marchev et al. 2005; Georgiev 2007b). In addition, several sedimentary rock-hosted gold deposits are characteristic for this region. Some of them are situated near the Kroumovgrad town, and therefore are united in the Kroumovgrad Goldfield (about 60 km^2 in area) (Marinova, 2019). The Kroumovgrad Goldfield comprises the Khan Krum (known also as Ada Tepe), Kuklitsa and Surnak deposits, as well as the Skalak, Synap, and Kupel occurrences (Jelev, 2007). All these deposits and occurrences share common structural position. Among them, the Khan Krum deposit is outstanding because it is the oldest gold mine in Europe, operating from 1,500 to about 600 BC (Popov et al. 2011), and it comprises most of the precious-metal reserve of the Krumovgrad goldfield (Jelev, 2007). The regional and local geology of the goldfield are described in detail by Marchev et al. (2004), Jelev (2007), Marton et al. (2010) and Marinova (2019). Here, we cite only the main characteristics of the Surnak deposit.

The Surnak deposit is situated 5 km to the SW of the Kroumovgrad town. It is developed on the northern periphery of the extensional Kessebir - Kardamos metamorphic dome which documents early Tertiary extension. The dome consists of three superposed crustal units bounded by a low-angle NNE-dipping detachment fault on its northern flank in Bulgaria (Tokachka detachment fault). The detachment separates footwall gneiss and migmatite in a lower unit from intermediate metamorphic unit (amphibolite, gneiss, marble and calc-shist) and overlying upper sedimentary unit in the hanging wall (Bonev et al., 2006) (Figure 1). Non-mineralized Upper-Eocene sediments cover the gold–silver mineralization (Jelev and Hasson, 2002; Jelev, 2007). The age of protoliths of the intermediate metamorphic unit of the Kessebir gneiss dome, determined by U–Pb LA-ICP-MS zircon geochronology, is Ordovician (Bonev et al. 2010). Rb–Sr ages of 328±25 Ma (Carboniferous) were obtained for the lower structural complex, dominated by igneous protoliths (Peycheva et al. 1998). The gold–silver vein-style mineralization in the Khan Krum deposit developed from 34.71±0.16 to 35.36±0.21 Ma (Marchev et al., 2004). The mineralization of the Surnak deposit is not yet dated. The earliest known magmatism took place at the near Iran Tepe volcano to the North of Kroumovgrad town, from 33.97±0.36 to 34.62±0.46 Ma and was of calc-alkaline type (Ar/Ar dating of biotite and sanidine, and U–Pb geochronology on zircons, Marchev et al., 2010). It almost coincides with the end of the hydrothermal mineralization. The mineralization of the Surnak deposit is hosted by the metamorphic basement and the overlying sediments but close to their contact (data of Dundee Precious Metals Kroumovgrad, DPMK).

Three main ore associations have been identified as well as the temperature and salinity of the hydrothermal solutions (low salinity and Na-K-Cl composition) (Kunov et al., 1999). These are the mineral associations and their respective temperature and salinity: quartz, pyrite and marcasite (240–160 °C; 0.9–2.1% NaCl eq.); quartz, pyrite and arsenopyrite (240–210 °C; 0.7–1.2% NaCl eq.); quartz, sphalerite, galena and gold; quartz and carbonate (220–150 °C; 1.9–2.1% NaCl eq.).

Mutafchiev and Gergelchev (1999) have given a different scheme of mineral formation; they have determined galena-sphalerite-chalcopyrite (sporadic), pyrite-marcasite, quartz-specularitic (main ore), quartz-gold (main ore with adularia, pyrite, pentlandite, marcasite, arsenopyrite, gold), quartz-carbonate (quartz, calcite, ankerite, gold, pyrite, nickel-bearing pyrite and acanthite?) and melnikovite pyrite paragenetic associations.

Marton (2009) identified electrum, pyrite, arsenic-rich pyrite (mainly in the form of distinct arsenic-rich zones in pyrite), arsenopyrite, sphalerite and tetrahedrite.

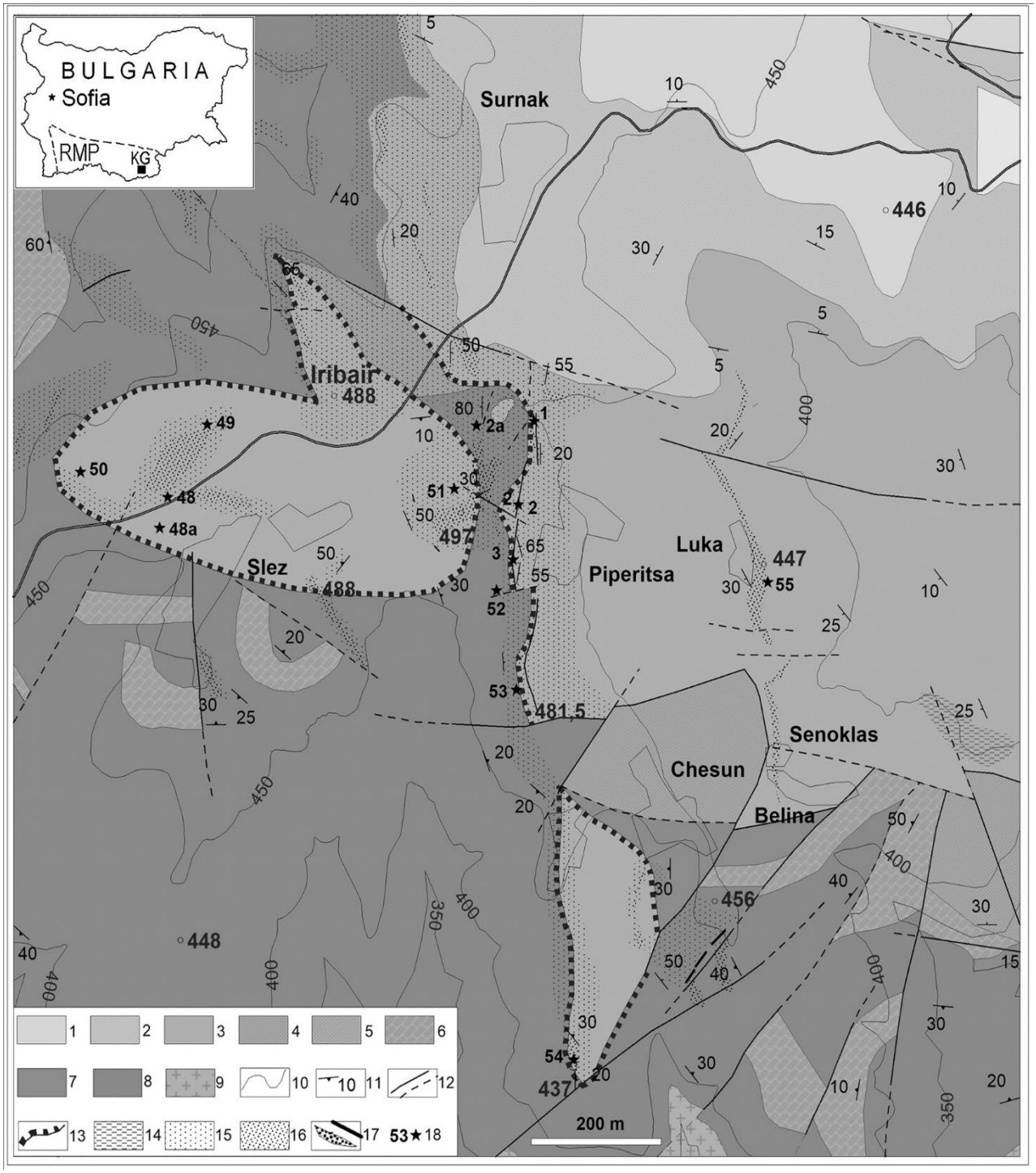


Fig. 1. Geological map of the Surnak deposit with modifications of the authors (courtesy of DPMK): 1-3 – Eocene: 1 - Marly-Limestone Formation (thin bedded calcareous sandstone and limestone, siltstone, marl), 2 - Marly-Limestone Formation (organogenic reef limestone and marl), 3 - Coal-bearing–Sandstone Formation (massive limestone and siltstones); Paleocene: 4 - Continental Terrigenous Limestone Formation (Kroumovgrad Group - coarse breccia-conglomerate and sandstone); 5-9 – PrePaleocene Basement: 5 - granitic pegmatite, 6 - marble and calc-shist, 7 - amphibolite, amphibole and biotite gneiss, 8 - amphibolite, 9 - equigranular and porphyritic metagranite and granitic gneiss, 10 - geological boundary, 11 - foliation/bedding, 12 - fault (left traced, right supposed), 13 - Tokachka Detachment Fault, 14 - silica sinter, 15 - argilization, 16 - moderate silicification, 17- strong silicification (left linear, right vein type), 18 - sample and its number. Inset: location of the Kroumovgrad goldfield (KG) within the Bulgarian territory and the Rhodope Metallogenic Province (RMP) (after Georgiev, 2007b)

RESULTS

Styles of mineralization

Field work, observation of surface outcrops and examination of taken samples visually and under optical microscope confirmed earlier data about layer-like and vein/veinlet epithermal mineralization in the Surnak deposit (Mutafchiev and Gergelchev, 1999; Mutafchiev, 1999; Marton, 2009).

Layer-like epithermal mineralization

The layer-like epithermal mineralization is presented by pervasive silicification of host rocks (Figure 2a). Small-sized surface outcrops do not allow to trace the relationships with weakly silicified and unsilicified rocks. Most favorable to pervasive silicification were gravel-sized breccia-conglomerate (Figure 2b), and to a lesser extent - amphibolite and amphibole gneiss. The replacement varies from intense, of quartz, in the case of gravel-sized breccia-conglomerate to weaker, by chlorite and quartz, in the case of amphibolite and amphibole gneiss. In some surface outcrops the texture of the primary rock is preserved (Figure 2b), in other the primary rock is entirely obliterated (Figure 2c). Most often the texture of layer-like silicification is massive one (Figures 2a-b), less often it is banded or fluidal (Figure 2c). Numerous small cavities (usually in the millimeter range, less often in the centimeter range) are visible in the layer-like massive silicification (Figure 2d) as well as lining of cavities with thin crusts or fine-grained quartz (Figures 2d-e). In the optical microscope it is visible that most cavities are below a millimeter and the lining quartz is below 1 mm long. The layer-like silicification is cross-cut by several veinlet generations among which quartz veinlets predominate. Often the veinlets are of healed contacts thus indicating hydrofracturing by forced hydrothermal fluid. There are also tectonic fracture and cracks, often delineated by brown goethite (Figure 2d).

Hand specimen of surface outcrop no. 3 (Figure 2f) reveals the role of rheology and permeability for the formation of layer-like style of epithermal mineralization. The hand specimen represents grey massive pelitic marl which contacts with medium-grained sandstone. The sandstone is poorly consolidated and is crumble. The marl is dense, compact and is cross-cut by stockwerk cracks, which in the sandstone become subhorizontal, following the contact. It is visible that dense marl maintains brittle cracks whereas the sandstone cannot do it. That is why the hydrothermal fluid entering the sandstone spreads in layers along bedding. Observations at a different scale revealed that after pervasive silicifying of sandstones and breccia-conglomerates happened, they were fractured and the fractures were filled with veinlets of hydrothermal mineralization (Figure 2a).

Veinlet type epithermal mineralization

The veinlet mineralization is presented by steep veinlets of different kind: steep veinlets within tectonic zones of clear contacts (Figure 3a); bundles of stockwerk veinlets of one generation; cross-cutting veinlets of different generations (Figure 3b), and of single veinlets (Figure 3c) what suggests multiple tectonic deformation events and accompanying hydrothermal activity.

The veinlets are usually of small thickness, most often around a few centimeters (Figure 3a) to hairline ones. Along length they are short and discontinuous (in cm and dm range). The cross-cutting veinlets of different mineral composition have quite different orientation what indicated close relationship between the tectonic deformation and the hydrothermal activity. Often veinlet contacts bear proof for tearing and hydrofracturing rather than tectonic shear (Figures 4, 5).

MINERAL COMPOSITION OF THE EPITHERMAL MINERALIZATION

Layer-like mineralization

Under optical microscope the layer-like bodies are composed mainly of microcrystalline anhedral to subhedral quartz (over 90%); rare muscovite flakes also are seen as well as clay mineral which fills voids in quartz and quartz interstices thus indicating later origin. Powder X-ray diffraction identified the clay mineral as kaolinite, which most likely is supergene. Quartz is of highly variable sizes. There are areas of very fine anhedral quartz (a few microns across), which pass into coarser quartz of 20 to 100–200 μm in size as the transition is sharp.

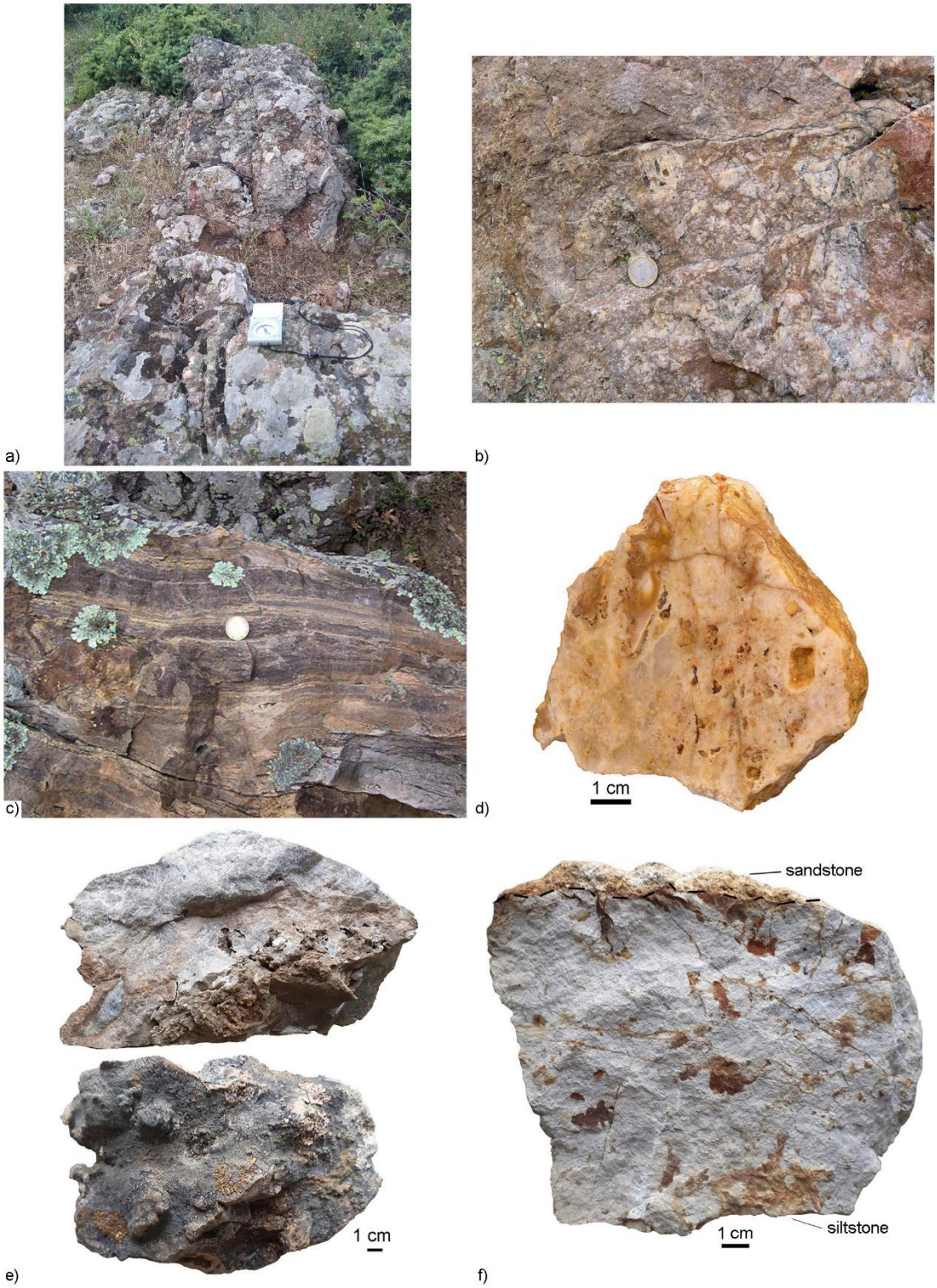


Fig. 2. Photographs of surface outcrops and hand specimens of the layer-like mineralization: a) surface outcrop of layer-like massive silicification. Steep fractures are seen. Surface outcrop no. 48a; b) Surface outcrop of strongly silicified gravel-sized breccia-conglomerate. Clast shapes in the former breccia-conglomerate are preserved. The silicification is pervasive and massive. Surface outcrop no. 48; c) layer-like massive silicification of fluidal texture. The natural cut displays entirely silicified rock of obliterated primary texture. Surface outcrop no. 55; d) hand specimen of layer-like massive silicification. Seen are numerous cavities, some of them lined with quartz and later veinlets of healed contacts. Surface outcrop no. 48; e) hand specimen of layer-like massive silicification – front and back. The front displays entirely silicified rock of homogeneous fine-grained massive texture whereas the back demonstrates shapes of clasts of former breccia-conglomerate. Surface outcrop no. 55; f) hand specimen of grey pelite-sized marl (bottom) and rusty medium-grained sandstone (top). Black dashed line delineates the contact between them. The marl is cross-cut by brittle cracks whereas the sandstone is altered along its bedding. Brown spots and cracks are filled with brown goethite. Surface outcrop no. 3. Scale: compass 7 cm wide and coin 2.5 cm in diameter

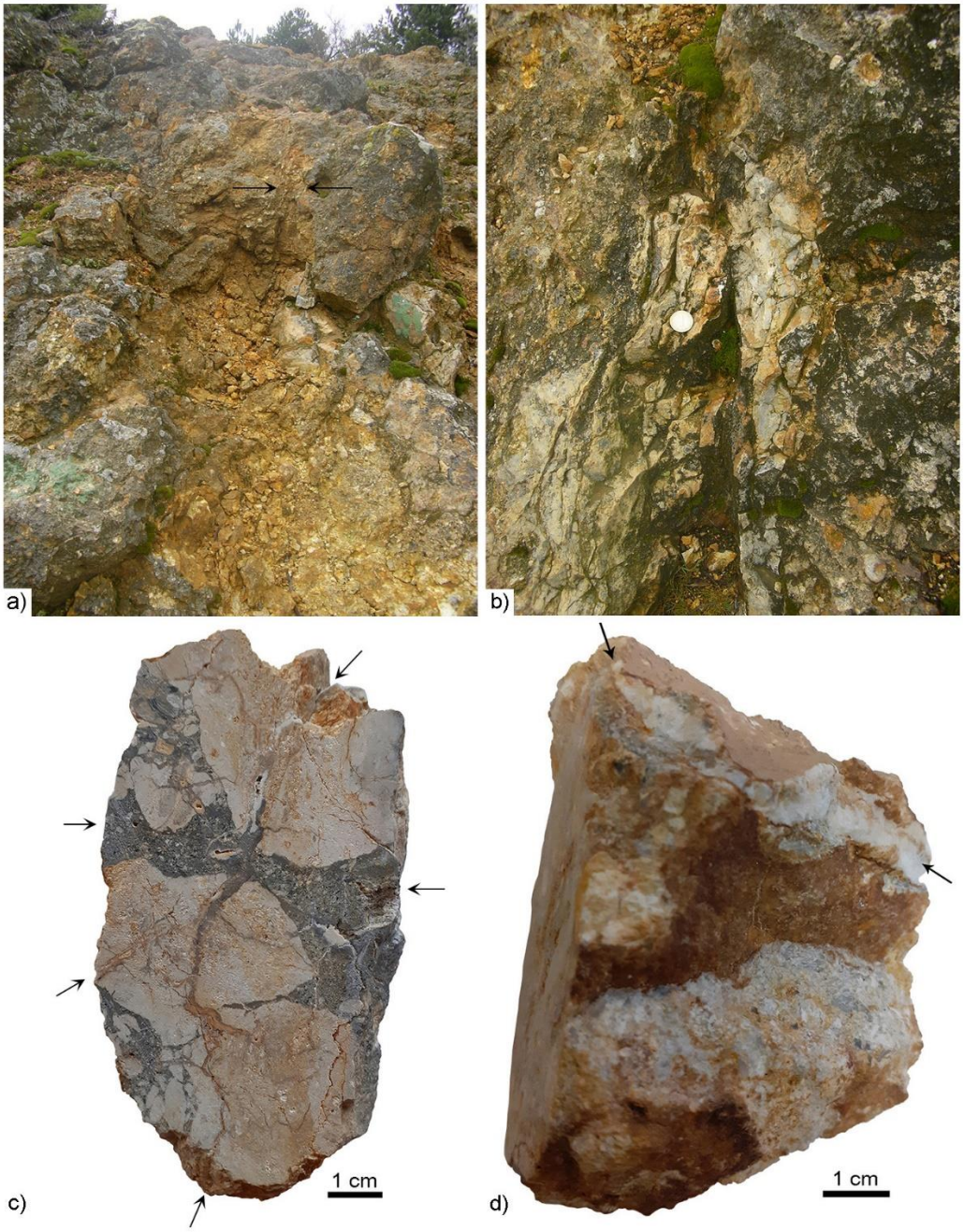


Fig. 3. Veinlet style of epithermal mineralization: a) tectonic zone of clear contacts and a thickness of around 50 cm is filled with thin subparrallel veinlets. Surface outcrop no. 1; b) silicified tectonic zone in breccia-conglomerate. A veinlet along the left zone's contact. Scale – a coin of 2.5 cm in diameter; c) hand specimen of breccia-conglomerate is cross-cut by thin veinlets of three generations, indicated by arrows. The subvertical veinlet contains adularia. The subhorizontal thicker veinlet of highly variable thickness presents hydrothermal breccia of milled fluidized rock. Surface outcrop no. 1; d) barite veinlet (indicated by arrows) cross-cuts fine-grained breccia-conglomerate (from Gadjalov and Marinova, 2020). Surface outcrop no. 2

Veinlet epithermal mineralization

Veinlets of quartz, quartz-adularia, pyrite and barite compositions were indentified. Quartz veinlets sharply predominate over the other compositions. Quartz-adularia veinlets were found in surface outcrops nos. 1–3 and are related to a north-south tectonic zone, traced on the geological map of the Surnak deposit, compiled by DPMK. According to drillhole data of DPMK that zone intersects sediments and in depth continues in the metamorphic basement. Quartz-adularia veinlets were indentified also in surface outcrops nos. 52 и 53, again close to the Tokachka Detachment Fault. A barite veinlet was identified only in the surface outcrop no. 2.

Quartz veinlets

They are composed of microcrystalline quartz and clay mineral in quartz interstices. There was also seen pyrite transformed into goethite, the former appearing as single cubes. On rare occasions marcasite is present, represented by acicular crystals altered into goethite. Quartz size greatly varies from veinlet to veinlet. There are veinlets, where quiartz is extremely fine-grained, a few microns across, (Figure 4a) and others where quiartz is coarser, around 20 μm (Figure 4c). In the former, quartz forms isometric anhedral grains, whereas in the latter – elongated subhedral quartz grains predominate. Pores are lined with euhedral quartz crystals up to 100–200 μm long. These observations indicate different degree of saturation / rate of cooling / rate of nucleation and growth, likely in result of different physical conditions during the formation of individual quartz veinlet generations.

Pyrite veinlets

They occur rarely. Usually pyrite forms scarce grains or disseminated aggregates in hydrothermal quartz, clasts of metamorphic rocks and in fine-grained clastic sedimentary rocks. Short pyrite veinlets were observed along the foliation of metamorphic clasts and along cracks between mineral clasts in clastic rocks. Everywhere pyrite appears in square outlines and is altered into goethite (Figures 4e-f).

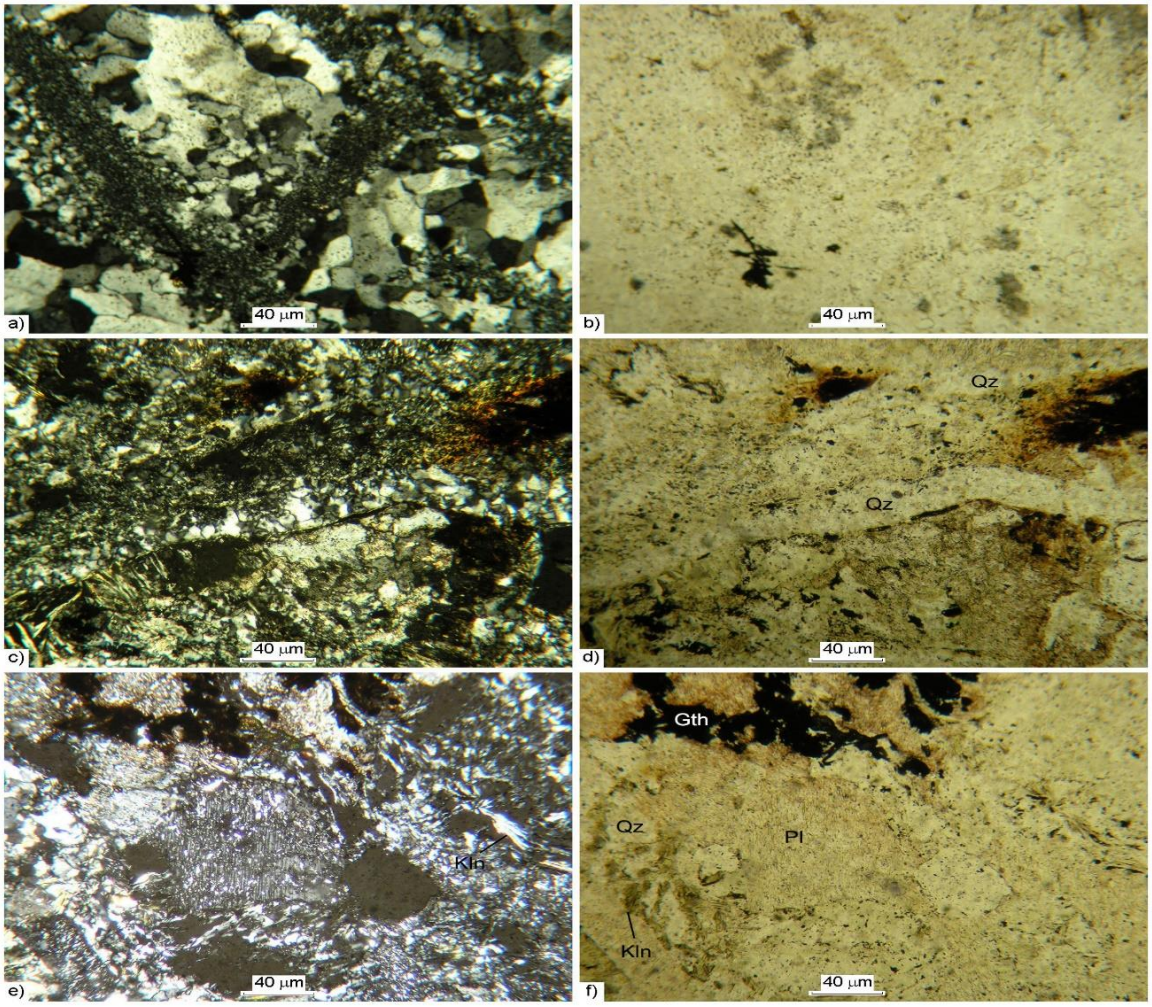


Fig. 4. Photomicrographs of quartz and pyrite veinlets in transmitted light (left panel – in cross polarized light, right panel – in plain polarized light): a-b) zig-zag-shaped quartz veinlet of very fine-grained quartz (2-3 μm across) cross-cuts coarser subhedral hydrothermal quartz up to 100 μm long. The veinlet contains former marcasite aggregate, now goethite (black acicular mineral in b); c-d) two subparallel quartz veinlets, both around 20-30 μm thick, composed of an- to subhedral quartz. Contacts of the lower veinlet are delineated in part by goethite and clay mineral. Host rock is highly hydrothermally altered: silicified, pyritized (pyrite is altered into goethite) and kaolinized; e-f) pyrite veinlet along the margins of kaolinized plagioclase grains in silicified granite clast. *Abbr*.: Qz – quartz, Pl - plagioclase, Gth – goethite, Kln - kaolinite\

Quartz veinlets of colloform texture

In three outcrops (nos. 48, 48a and 50) quartz exhibits colloform textures. The latter are present in millimeter-thick veinlets cross-cutting layer-like silicification. Only in such veinlets arsenopyrite and tetraedrite were observed in optical microscope. Such veinlets contain also quartz microspheres (Figure 5) widely accepted to be resulted from crystallization of opal precursor. Such microspheres were found in precipitations from geothermal water (Lebedev, 1967) and in other epithermal gold deposits (Zeeck et al., 2021). Deposition of opal instead of quartz indicates that a high supersaturation in respect to SiO_2 was achieved (Fournier, 1985).

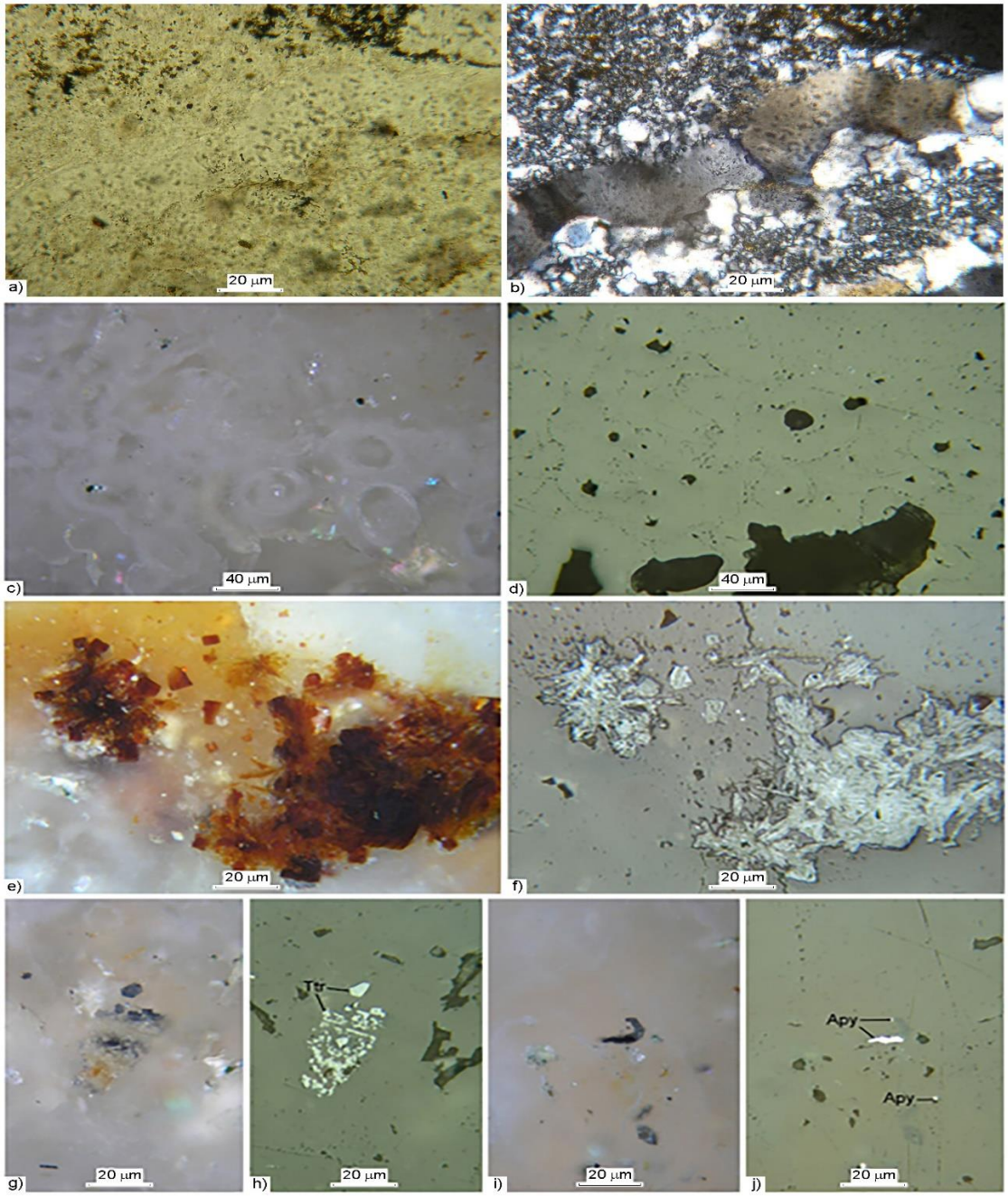


Figure 5. Photomicrographs of quartz veinlets of colloform texture and such containing quartz microspheres which both cross-cut layer-like massive silicification: (a-b) in transmitted light, (c-j) in reflected light; left panel in plain polarized light, right panel in cross polarized light: a-b) colloform quartz micro-band displaying chalcedonic-like extinction; c-d) quartz microspheres in a fissure veinlet; e-f) marcasite aggregates (altered in goethite) between quartz microspheres; g-h) tetrahedrite aggregate between quartz microspheres; i) arsenopyrite on the surface and in subsurface in an area composed of quartz microspheres. Surface outcrop no. 48. *Abbr*.: Py – pyrite, Mrc – marcasite, Ttr – tetrahedrite, Apy – arsenopyrite

Quartz-adularia veinlets

They are composed mainly of quartz and adularia sized around and below 20–30 μm, and display varying quartz/adularia proportions (Figure 6). In most occasions quartz and adularia are anhedral to subhedral as subhedral appear their coarser grains. Often when adularia forms single crystals disseminated in quartz, it forms grains of euhedral rhombic or rhomboid outlines. Adularia is water-clear, colorless, as in places is replaced by submicroscopic clay mineral (Figures 6a-d). The quartz-adularia veinlets contain rare pyrite grains of square outline, altered into goethite.

Barite veinlets

A barite veinlet cross-cutting a breccia-conglomerate and a quartz veinlet was identified by powder X-ray diffraction and optical microscopy (Gadzalov, Marinova, 2020). The veinlet is 1-2 cm thick (Figure 3d). Barite forms lath-shaped crystals to 1–2 mm long (Figures 6e-f). In surface outcrop no. 2 it is white soft mineral, of perfect cleavage. Its deposition follows that of veinlet quartz and pyrite.

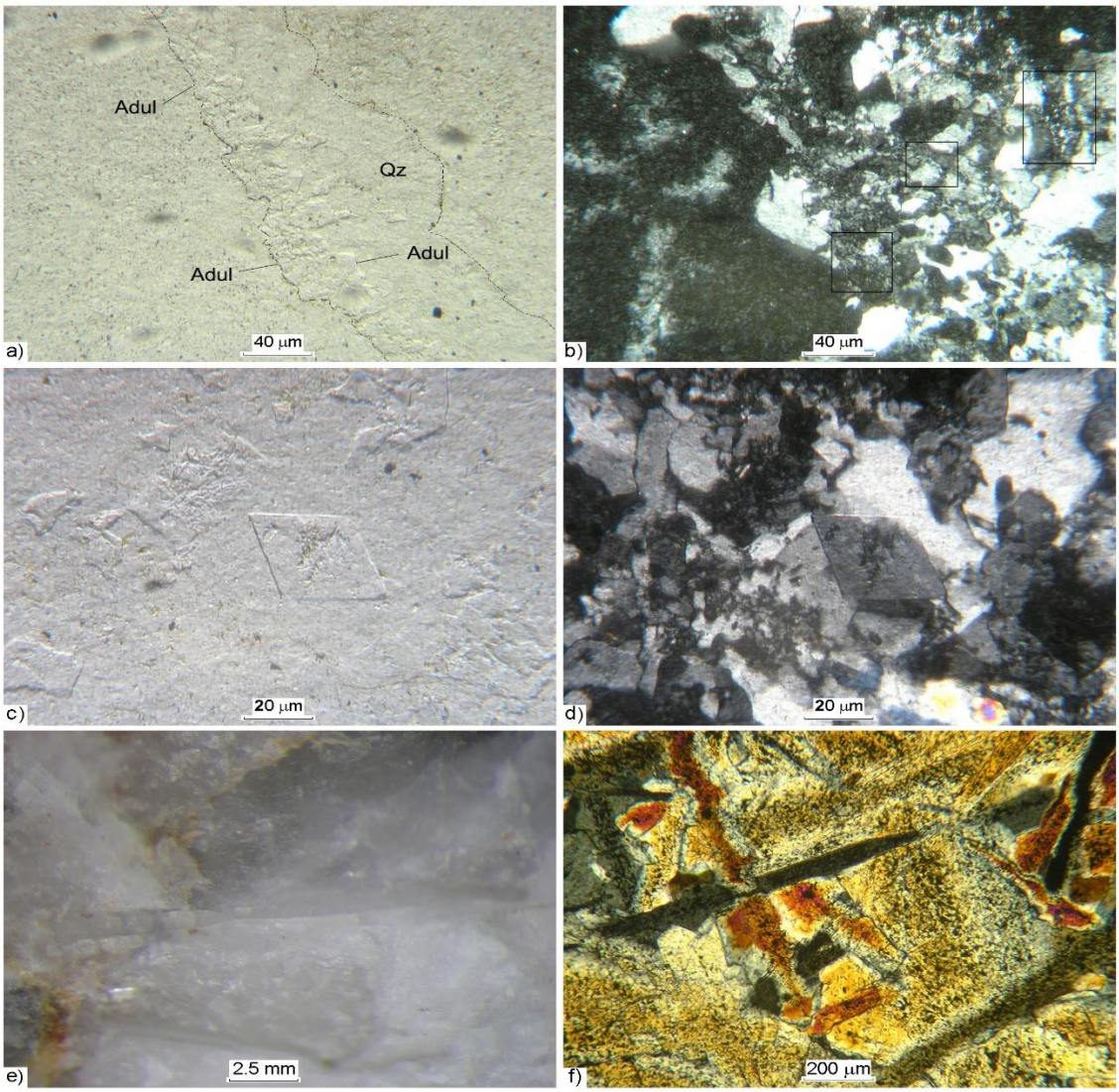


Fig. 6. Photomicrographs in transmitted light of quartz-adularia and barite veinlets; left panel in plain polarized light, right panel in cross polarized light: a-b) quartz-adularia veinlet of predominate adularia along the left veinlet margin and predominate quartz along the right veinlet margin cross-cuts layer-like massive silicification. Likely this veinlet documents two veinlet episodes of formation. Veinlet contacts are reinforced with black dots. The massive silicification is composed of quartz. In (b) seen are numerous grains of kaolinite below 1 μm in size. Some are enclosed in a rectangle to mark. Kaolinite replaces adularia, forms veinlets along quartz grains as well as segregations in pores between several next quartz grains. Surface outcrop no. 2; c-d) in the center a relatively coarse adularia crystal is seen in anhedral quartz and very fine-grained clay mineral. The adularia crystal itself is replaced by the clay mineral. Surface outcrop no. 52; e-f) lath-shaped barite crystals in a monomineral barite veinlet: left – in stereomicroscope (from Gadzhalov and Marinova, 2020), right – in transmitted cross polarized light. Surface outcrop no. 2

DISCUSSION

Fine-grained mineralization in the Surnak deposit indicates large and rapid changes in the physical or chemical nature of the hydrothermal fluids like rapid cooling, pressure drop, pH change, high rate of nucleation and crystal growth what indicate near surface conditions. Highly varying size of quartz from veinlet to veinlet is additional evidence for sharp changes of physical and chemical conditions in life of the hydrothermal system. Multiple veinlet generations mean multiple episodes of deformation and hydrothermal activity.

Presence of colloform quartz bands and of quartz microspheres, the latter likely developed after opal precursor, indicate episodes of high supersaturation in respect to quartz. The deposition of marcasite, arsenopyrite and tetrahedrite coincides with these events. In addition, presence of adularia is an indication for boiling of fluids (Browne, 1978). Most likely these episodes were related to boiling of hydrothermal fluids.

By presence of two main styles of epithermal mineralization (layer-like and veinlet) the Surnak deposit is similar to the next Khan Krum and Kuklitsa deposits. By mineral composition there are some differences. In the Surnak deposit visible gold, colloform macrotextures and platy calcite are absent. In the Khan Krum and Kuklitsa deposits barite is lacking. At that time these deposits are hosted by different kind of structures and different rocks lay in depth The Khan Krum and Kuklitsa deposits are hosted by breccia-conglomerate and sandstone of Ludetina Graben (Goranov et al., 1995) and mainly metamorphosed granite and gneiss build up the metamorphic basement in depth. The Surnak deposit is hosted in the Surnak horst and the metamorphic basement is composed mainly of amphibolite. These two elements seem key ones for the character of fliud/rock interactions, fluid pressure, temperature and likely have impacted the mineral composition of the hydrothermal fluids.

Some previous studies emphasized the importance of the layer-like style of mineralization and found similarity with the Carlin type epithermal gold deposits in Nevada (USA). (Mutafchiev and Gergelchev, 1999). Our results show that the vein style mineralization is expected to have main contribution to the gold and silver reserves in the Surnak deposit like in the other deposits and occurrences in the Kroumovgrad Goldfield – Хан Крум (Marinova et al., 2014), Kupel (Marinova, Tacheva, 2018) and Kuklitsa (Marinova, 2019).

CONCLUSIONS

1. In surface outcrops in the Surnak deposit two styles of mineralization were recognized: a layer-like one and later vein/veinlet one, what confirmed earlier published studies. The layer-like style has formed by massive silicification of host rocks, mainly breccia-conglomerate, amphibolite and biotite gneiss. Later veins and veinlets cross-cut the layer-like silicification and filled open space. Quartz, quartz-adularia, pyrite and barite veinlets were identified.

2. Pyrite is main opaque mineral whereas the gangue minerals are quartz and adularia. Quartz amount clearly dominates over that of adularia. Barite deposition follows quartz veinlet formation in time. Pyrite, quartz and adularia are very fine-grained indicating rapid cooling, and high rate of nucleation and growth. The highly varying size of veinlet quartz from veinlet to veinlet suggests multiple episodes of quartz formation under highly varying physical conditions: temperature and pressure fluctuations.

3. Presence of collomorph microcrystalline quartz and quartz microspheres in veinlets suggests episodes of high degree of supersaturation. Presence of vein adularia indicates boiling of fluids. The connection of marcasite, arsenopyrite and tetrahedrite with quartz microspheres implies that boiling was responsible for their deposition.

4. The mineral differences between the Surnak deposit, on one side and the Khan Krum and Kuklitsa deposits, on the other, is ascribed to fluid/rock interactions and different fluid temperature and pressure conditions in the host horst (for the Surnak deposit) and graben (for the Khan Krum and Kuskitsa deposits).

***Acknowledgement*:** authors thank Dundee Precious Metals Kroumovgrad for provided geological map, permission to sample and logistic support.

REFERENCES

Bonev, N., Burg, J.-P., Ivanov. Z. (2006): Mesozoic–Tertiary structural evolution of an extensional gneiss dome – the Kesebir-Kardamos dome, Eastern Rhodope (Bulgaria-Greece). *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch)*, **95**, 318–340.

Bonev, N., Marchev, P., Ovtcharova, M., Moritz, R., Ulianov, A. (2010): U-Pb LA-ICP/MS zircon geochronology of metamorphic basement and Oligogene volcanic rocks from the SE Rhodopes: inferences for the geological history of the Rhodope crystalline basement. *Proceedings of Nat. Confer. of the Bulgarian Geol. Soc*., Sofia, 115–116.

Browne, P. R. L. (1978): Hydrothermal alteration in active geothermal fields. *Ann. Rev. Earth Planet Sci*., **6**, 229–250.

Fourier, R. O. (1985): The Behavior of Silica in Hydrothermal Solutions. In: *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*, Eds B. R. Berger, P. M. Bethke, 45–62.

Gadzhalov, A., Marinova, I. (2020)*:* First finding of barite in the Sarnak deposit, Kroumovgrad goldfield, SE Bulgaria. Preliminary data. *Proceedings* "*Geosciences 2020*", Annual National Conference of the Bulg. Geol. Soc., 3-4 Dec. 2020, Sofia, *Review Bulg. Geol. Soc*., **81** (3), 34–36.

Georgiev V. (2007a). Eastern Rhodopian ore region. In: *Gold Deposits of Bulgaria*, Ed. V. Milev, Sofia, Zemya'93, Sofia, 98–140 (in Bulgarian).

Georgiev, V. (2007b): Metallogenic map of gold deposits in Bulgaria. In: *Gold Deposits of Bulgaria*, Ed. V. Milev, Sofia, Zemya'93, 213 p., map inset.

Goranov, A., Kozhoukharov, D., Boyanov, I., I. Kozhoukharova, I. (1995): *Explanatory note to the Geological map of Bulgaria, 100,000 scale. Krumovgrad and Sape map sheets*, Sofia, Geological Institute, 97 p.

Jelev, D. (2007): Khan Krum gold deposit, Ada Tepe prospect. In: *Gold deposits in Bulgaria*, Ed. V. Milev, Sofia, Zemya'93, pp 104–115 (in Bulgarian).

Jelev, D., Hasson, S.. (2002): Geology of Khan Krum gold deposit. In: *Modern problems of the Bulgarian geology*, eds C. Dabovski and M. Ivanov Abstracts, Sofia, 58–59.

Kunov, A., Hristova, J., Stamatova, V., Atanasova, R. (1999): Alteration types and characteristics of ore-metasomatic systems of some meso- and epithermal gold and gold-bearing deposits and occurrences in Bulgaria. In: *Metalogeny of Bulgaria*, 58–61 (in Bulgarian).

Lebedev, L. M. (1967): *Metacolloids in endogenic deposits*, Plenum Press, New York, 298 p.

Marinova, I., Ganev, V., Titorenkova, R. (2014): Colloidal origin of colloform-banded textures in the Paleogene low-sulfidation Khan Krum gold deposit, SE Bulgaria. *Miner. Deposita*, **49** (1), 49–74.

Marinova, I., Tacheva, E. (2018): Boiling assemblages in the Kupel occurrence, Krumovgrad goldfield, SE Bulgaria. *Proceed. the 1st International Electronic Conference on Mineral Sci.*; 16–31 July 2018,
DOI: 10.3390/IECMS2018-05454.

Marinova, I. (2019): Bladed texture and exploration implications. A case study from the Kuklitsa deposit, Krumovgrad goldfield, SE Bulgaria. *Geology of ore deposits*, **61** (2), 185–197.

Marchev, P., Singer, B., Jelev, D., Hasson, S., Moritz, R., Bonev, N. (2004): The Ada Tepe deposit: a sediment-hosted, detachment faultcontroled, low-sulfidation gold deposit in the Eastern Rhodopes, SE Bulgaria. *Schweiz. Mineral. und Petrogr. Mitt.*, **84**, 59–78.

Marchev, P., Kaiser-Rohrmeier, M., Heinrich, C., Ovtcharova, M., von Quadt, A., Raicheva, R. (2005): Hydrothermal ore deposits related to post-orogenic extensional magmatism and core complex formation: the Rhodope massif of Bulgaria and Greece. *Ore Geol. Rev.*, **27**, 53–89.

Marton, I. (2009): *Formation, Preservation and Exhumation of Sedimentary Rock-Hosted Gold Deposits in the Eastern Rhodopes, Bulgaria*. PhD Thesis. University of Geneva, Terre & Environment, 134 p.

Marton, I., Moritz, R., Spikings, R. (2010): Application of low-temperature thermochronology to hydrothermal ore deposits: formation, preservation and exhumation of epithermal gold systems from the Eastern Rhodopes, Bulgaria. *Tectonophysics*, **483**, 240–254.

Mutafchiev, A., Gergelchev, V. (1999): Comparative mineralogical analysis of the gold-silver mineralizations in the Zvezdel-Pcheloyd ore-magmatic junction. In: *Metalogeny of Bulgaria*, 76–80 (in Bulgarian).

Peycheva, I., Ovtcharova, M., Sarov, S., Kostitsin, Y. (1998): Age and metamorphic evolution of metagranites from Kessebir reka region, Eastern Rhodopes – Rb–Sr isotope data. *XVI Congress CBGA*, Abstracts, Vienna, p. 471.

Popov, H., Jockenhövel, A., Tsintsov, Z., Iliev, S. (2011): Montanarhcäologische Forschungen in den Ostrhodopen, Südostbulgarien. In: *Interdisziplinäre Forschungen zum Kulturerbe auf der Balkan halbinsel*, Eds V. Nikolov, K. Bachvarov, H. Popov, Humboldt-Union in Bulgaria, Sofia, 253–290.

Zeeck, L., Monecke, T., Reynolds, T., Tharalson, E., Pfaff, K., Kelly, N., Hennigh, Q. (2021): Textural Characteristics of Barren and Mineralized Colloform Quartz Bands at the Low-Sulfidation Epithermal Deposits of the Omu Camp in Hokkaido, Japan: Implications for Processes Resulting in Bonanza-Grade Precious Metal Enrichment. *Econ. Geol.*, **116** (2), 407–425.

3-EG-05
UDC: 553.463.078(497.2)

TUNGSTEN IN SOILS, SEDIMENTS AND WATERS IN THE AREA OF THE GRANTCHARITSA TUNGTEN DEPOSIT, WESTERN RHODOPES, BULGARIA

Mihail Tarassov[1], Eugenia Tarassova[1], Alexey Benderev[2], Milen Stavrev[2], Elena Tacheva[1], Alexandar Nikolov[1], Mila Trayanova[2]

[1]*Institute of Mineralogy and Crystallography, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Street 107, Sofia 1113, Bulgaria,*
[2]*Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria*
mptarassov@gmail.com // etarassova@mail.bg

A b s t r a c t: The paper reports the results of studying the content, distribution and forms of occurrence of W in the oxidation zone, soils, stream sediments and waters, drainage waters and their precipitates in the area of the Grantcharitsa deposit, Bulgaria. It is currently not developed, although is one of the largest deposits of W in Europe. Scheelite, secondary tungsten minerals (iron–containing meymacite, tungstite, hydrotungstite, hydrokenoelsmoreite) and W–enriched goethite and hematite are the most typical W carries in the oxidation zone of the deposit. It is found that, the soils covering the deposit and its oxidation zone although being enriched in W up to 70–80 ppm contains only a small amount of tungsten minerals – ferrihydrite is considered the main carrier of W. For W in the soils there is a pronounced zonal distribution – the highest contents are typical for the upper parts (topsoil) of the soils. In the stream sediments the content of W is 20–60 ppm and mainly is related to the presence of scheelite – the contents of W are higher in the areas of abandoned prospecting galleries. All waters (surface, underground and drainage) in the area of the deposit are with low salinity – 70–120 mg/L. The surface waters are poor in W <1 µm/L while in the underground waters the W content reaches 20 µm/L. Drainage waters are with variable content of W – 0.01–3 µm/L which is actively removed from the water by newly formed low crystalline ferric iron oxide/hydroxide precipitates. It is concluded that the geochemical behavior of W in the area of the deposit is closely associated with the behavior of Fe – from decomposition of the primary scheelite and formation of the secondary W minerals to intensive sorption of W and purification of waters by low crystalline ferric iron oxide phases.

Key words: tungsten, scheelite, oxidation zone, soils, stream sediments, waters

ВОЛФРАМ ВО ПОЧВИ, СЕДИМЕНТИ И ВОДА ВО ПОШИРОКИОТ РЕГИОН НА НАОЃАЛИШТЕТО ЗА ВОЛФРАМ ГРНЧАРИЦА, ЗАПАДНИ РОДОПИ, БУГАРИЈА

А п с т р а к т: Овој труд ги прикажува резултатите од проучувањето на содржината, распределбата и формите на појавата на волфрам во зоната на оксидација, почвите, стрим седиментите и водите, дренажните води и нивните преципитати во областа на наоѓалиштето Грнчарица ,Бугарија. Моментално, тоа не е развиено, иако претставува едно од најголемите наоѓалишта на волфрам во Европа. Шелитот, секундарните минерали на волфрам (мејмацит кој содржи железо, волфрамит, хидроволфрамит, хидрокеноелсморит) и гетит и хематит збогатени со волфрам се најтипичните носители на волфрам во зоната на оксидација на лежиштето. Беше откриено дека, почвата која што го покрива лежиштето и неговата зона на оксидација иако е богата со волфрам до 70–80 ppm, содржи само мала количина на минерали на волфрамит – ферихидрит кој се смета за главен носител на волфрам. За волфрамот во почвите, постои изразита зонална распределба – највисоките содржини се типични за горните делови (површинскиот слој) на почвите. Во стрим седиментите, содржината на волфрамот е 20–60 ppm а тоа е воглавно поврзано со присуството на шелитот – содржините на волфрам се повисоки во зоните на напуштените истражувачки галерии. Сите води (површинска, подземна и дренажна) на површината на лежиштето имаат низок солинитет – 70–120 mg/L. Површинските води се сиромашни со волфрам, W <1 µm/L додека во подземните води, содржината на волфрамот достигнува 20 µm/L. Дренажните води имаат варијабилна содржина од W – 0.01–3 µm/L која што е активно отстранета од водата преку новоформираните преципитати со ниско кристален железен оксид/хидроксид. Се доаѓа до заклучок дека геотермалното однесување на волфрамот на површината на лежиштето е тесно поврзано со однесувањето на Fe (железото) – од разлагањето на примарниот шелит и формирањето на секундарните минерали на волфрам до интензивна сорпција на волфрам и прочистување на водите преку фази на железен оксид (Fe_3^+) со ниска кристализација.

Клучни зборови: волфрам, шелит, зона на оксидација, почви, стрим седименти, води

INTRODUCTION

Tungsten is a metal of high strategic importance due to its very wide application as hard carbides, metal wires, electrodes, superalloys, catalysts, incandescent wires and others. Recently, however, the metal has become the subject of scientific focus due to the possible impact of W on acute lymphocytic leukemia diagnosed in children and adolescents in Fallon, Nevada (USA) (Koutsospyros et al., 2006). It has been established that the inhabitants of the town are exposed to high levels of W from drinking water. The natural weathering of W–bearing mineral deposits in the region is considered to be one of the main sources of W in groundwater.

The Grantcharitsa scheelite–pyrite deposit (Western Rhodopes, Bulgaria) is one of the largest deposits of W in Europe. It is located southwest, 18 km in a straight line, from the town of Velingrad – a modern resort town and SPA center of Bulgaria. Exploration of the deposit began in 1960 and in 2009 preparations for its exploitation began, which received a mixed reaction from the local population, worried about the possible contamination of drinking and thermal mineral waters. Currently, all activities at the Grancharitsa deposit have been suspended, since in 2017, sanitary protection zones were established on the Grancharitsa River and its tributaries, the boundaries of which pass through the richest ores of the deposit, including oxidized ores.

The present work summarizes the results of studies conducted by the authors in 2019–2020 on the territory of the Grancharitsa deposit, aimed at elucidating the natural levels of tungsten content and its distribution in soils, sediments and waters.

GEOLOGICAL SETTING

The Grantcharitsa deposit is located in the northern part of the Grantcharitsa granitoid body (granite–granodiorite and porphyritic granodiorite, 69–67 Ma) of the Rila–West Rhodope batholith, in close proximity to the Babyak–Grashevo shear zone which separates these granitoids from the younger medium– to coarse–grained biotite granite (40–35 Ma) of the West Rhodopes body (Figure 1). The ore mineralization of the deposit is associated with pegmatoid quartz–feldspar veins characterized by an almost sub–latitudinal strike – a dip to the northwest of ~ 350° with a slope of ~ 30°, and with the host rocks in the form of vein–disseminated ores ("mineralized granitoids"). The mineral composition of the vein ores is strongly dominated by quartz, SiO_2, and microcline, $KAlSi_3O_8$ among the gangue minerals, and by pyrite, FeS_2, and scheelite, $CaWO_4$, among the ore minerals.

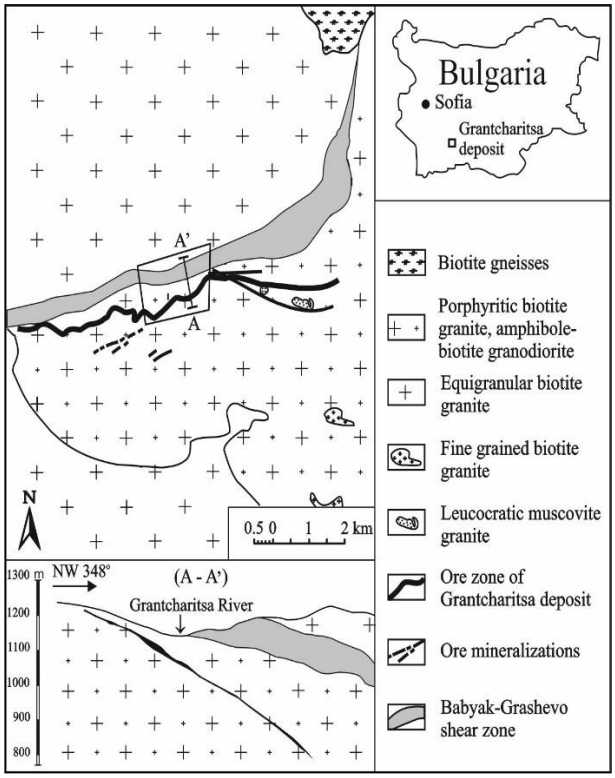


Fig. 1. Simplified geological map of the Grantcharitsa deposit area (after Kozhuharov et al., 1958; Vasilev et al., 1981 (unpublished data))

MATERIAL AND METHODS

Samples of soils, stream sediments, surface and underground waters, drainage water and their ferric iron oxide precipitates were taken in the area of the deposit in 2019 and 2020. Personal author's collection of fresh and oxidized ores was also used in the study. The studied waters were found to be with low salinity; therefore a dry residue was analyzed for a part of water samples. All solid materials were examined using SEM and EPMA on a ZEISS SEM EVO 25LS with an EDAX Trident system (Institute of Mineralogy and crystallography, BAS) and LA–ICP–MS analysis on a PerkinElmer ELAN DRC–e ICP–MS with a New Wave UP193FX LA system (Geological Institute, BAS). The waters composition was analyzed by ICP–OES – for main components (SPECTROBLUE ICP–OES spectrometer, Eurotest–Control EAD, Sofia) and by EPMA and LA–ICP–MS – for main and minor elements in dry residues.

TUNGSTEN IN THE OXIDATION ZONE

Oxidized (or weathered) ores in the deposit is the most important source of W for the surrounding soils, sediments and waters. Two principal trends of structural and chemical evolution of mineral forms of W are distinguished in the oxidation zone of the deposit (Tarassov, Tarassova, 2018). The first trend refers to the processes that occur when the overall pH of supergene solutions decreases due to the oxidation of pyrite and the formation of natural sulfuric acid. The first trend is well illustrated by Eh–pH diagram in Figure 2 and includes: (1) dissolution of scheelite accompanied by the formation of polytungstate ions in the water at pH ~6–4; (2) pseudomorphic replacement of scheelite by poorly crystalline $WO_3.xFe_2O_3.nH_2O$ (iron–containing meymacite) at pH ~4–1; (3) crystallization of tungstite, $WO_3.H_2O$, and hydrotungstite, $WO_3.2H_2O$, at the expense of meymacite at pH <1.

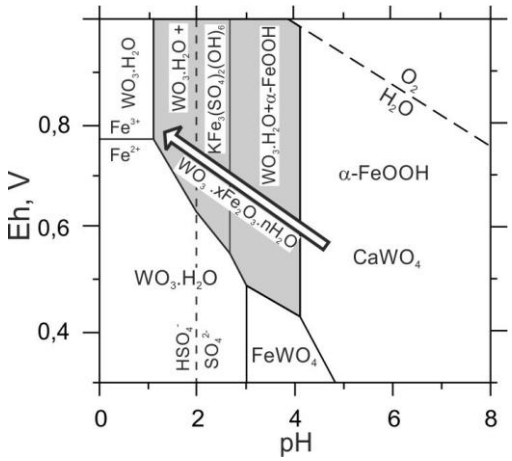


Fig. 2. Eh–pH diagram with outlined (shaded) areas corresponding to the conditions of alteration scheelite via a pseudomorphic replacement by $WO_3.xFe_2O_3.nH_2O$ (25ºC, 1 atm, ΣFe – 10^{-4}, Ca^{2+} – 10^{-4}, ΣS – 10^{-2}, K^+ – 10^{-3}, W – 10^{-5}) (according to Tarassov, Tarassova (2018))

The second group of processes takes place when the pH of supergene solutions increases and includes: (1) partial dissolution of meymacite (pH ~ 1–3); (2) occasional precipitation of amorphous gels $WO_3.xFe_2O_3.nH_2O$ – chemical analogues of meymacite (pH ~ 1–3); (3) crystallization of hydrokenoelmoreite, $(W,Fe)_2(O,OH)_6.H_2O$ – as a result of the interaction of meymacite and a solution enriched with K, Na, Ca and W at pH ~ 3–4; (4) formation of mineral carriers of W: goethite, α–FeOOH, hematite, α–Fe_2O_3. These two types of processes are carried out *in situ* and *ex situ* with involving the ground waters and essential transport of dissolved W including its polytungstate ion forms.

TUNGSTEN IN THE SOILS

The studied soils in the area of the Grancharitsa deposit are characterized by a markedly increased W content (20–80 ppm) compared to the metal concentration in unpolluted soils 0.4–5 ppm (Datta et al., 2017). Figure 3 shows the distribution of W over the depth of the soil (denoted by letter A in figure) located just above the oxidation zone in the central part of the deposit. For comparison, the same figure shows the distribution of W for unpolluted soil (B) outside the deposit.

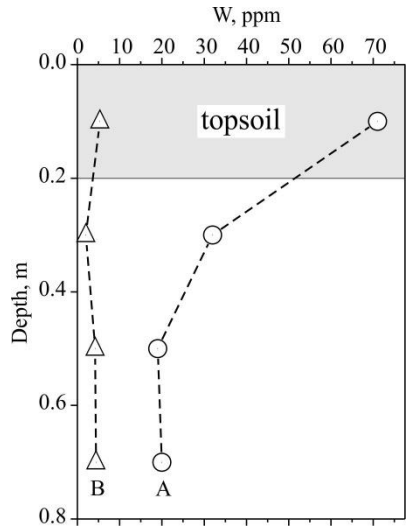


Fig. 3. Distribution of W in depth (in ppm) in soils at the Grantcharitsa deposit (A) (Central section) and in the territory remote from the deposit (B)

As seen in Figure 3, a pronounced zonal distribution is typical for W in the soils of the deposit – the highest contents are characteristic of the upper parts (topsoil) of soils up to 70–80 ppm. It is important to note, that these concentrations of W are higher than those established for topsoils in Fallon (NV, USA) – 10–67 ppm (Koutsospyros et al., 2006). It is noteworthy that the increased W content is not associated with the presence of scheelite or secondary W minerals. The amount of scheelite grains increases to deeper soil horizons. Sporadic W–enriched goethite grains are found in the topsoil, but their contribution is insignificant in the total W concentration. Low–crystalline iron oxide/hydroxide (ferrihydrite) appears to be the most important carrier of W in the studied soils.

TUNGSTEN IN THE STREAM SEDIMENTS

The W content in the stream sediment taken in the territory of the Grantcharitsa deposit (Grantcharitsa River, Veziov dol Creek) shows the variation in the range 20–60 ppm almost completely associated with the presence of scheelite and sometimes of W–containing goethite and hematite. The highest contents of W up to 60 ppm were established in areas near abandoned prospecting galleries.

TUNGSTEN IN THE WATERS AND DRAINAGE PRECIPITATES

All sampled waters (surface, underground and drainage) were recognized as low mineralized water as was evidenced by comparatively low values of the measured water conductivity (between 44.7 and 136 µS/cm) (Tarassov et al., 2019). The pH values for most waters were close to neutral (~7) or ranged from slightly acidic to moderately alkaline with the exception of the drainage waters demonstrated seasonal variations between 2.4 (spring 2019) and 6.5 (autumn 2019). The total mineralization of the water calculated from the weighed dry residues is 70–120 mg/L (Tarassov et al., 2020; and present work). Among all the waters studied, the lowest concentration of W was found for the surface waters – 0.3–0.5 µg/L, and the highest concentration of W up to 20 µg/L – in the groundwater of the floodplain terrace of the Grancharitsa River. These concentrations are lower than the maximum permissible concentration of W in drinking water (50 µg/L) in Russia (for other countries there is no data) and essentially lower than the maximal W content in drinking water in Fallon, Nevada, – 337 µg/L (Koutsospyros et al., 2006) and in underground water – 742 µg/L (Seiler et al., 2005) reported for the Carson Desert near the town of Fallon. It is noticeable that the obtained by us concentration of W are lower than the highest content of W 29 µg/L in the thermomineral waters in the region of Velingrad (Stoyanov, Hristov, 2018).

Drainage waters from the abandoned prospecting galleries have a variable content of W – 0.01–3 µm/L strongly depending on the pH of the water – the lowest values are typical for more acidic conditions (pH <5). The discharge of drainage water is accompanied by intensive precipitation of ochreous iron oxides/hydroxides. Similar ochreous material is also formed after the ingress of drainage water into local streams (Figure 4). The concentration of W in ochreous precipitates reaches 770 ppm thus indicating that the newly formed ferric iron oxide/hydroxides actively remove W from the water via adsorption and co–precipitation processes.

Fig. 4. Stream with precipitates of ferric iron oxide/hydroxides (Grantcharitsa deposit, Veziov dol Creek)

CONCLUSION

In general, the geochemical behavior of W in the studied deposit is closely related to the behavior of Fe – from decomposition of scheelite and the formation of secondary minerals to intensive sorption of W and purification of waters with ochreous ferric iron oxide/hydroxides.

The highest levels of W in local waters (20 µm/L) found in groundwater are well below the critical values for drinking water (50 µm/L) and well below the highest concentration of W in drinking water and groundwater near the town of Fallon, Nevada. Soils and sediments are expected to have elevated levels of W as they form above the oxidation zone of the deposit. It is necessary to take into account that the concentration of W in the topsoils up to 80 ppm in the Grancharitsa deposit is higher than that in Fallon, Nevada. The relationship between groundwater and soil in relation to W

behavior also needs to be studied in detail. A more detailed understanding of the relationship between drainage water and ochreous sediments is needed.

Acknowledgements: The study was supported by the National Science Fund of Bulgaria (Contract № KP–06–OPR 03/5, 2018).

REFERENCES

Datta, S., Vero, S. E., Hettiarachchi, G. M., Johannesson K. (2017): Tungsten contamination of soils and sediments: current state of science. *Current pollution reports*, **3** (1): 55–64.

Koutsospyros, A., Braida, W., Christodoulatos, C., Dermatas, D., Strigul, N. (2006): A review of tungsten: from environmental obscurity to scrutiny. *J. Hazard Mater*., **136**, 1, 1–19.

Seiler, R. L., Stollenwerk, K. G., Garbarino, J. R. (2005): Factors controlling tungsten concentrations in ground water, Carson Desert, Nevada. *Appl. Geochem*., **20** (2): 423–441.

Stoyanov, N., Hristov, V. (2018): Metals in thermomineral waters in the town of Velingrad. *Review BGS*, **79** (1): 13–27 (in Bulgarian with English abstract).

Tarassov, M. P., Tarassova, E. D. (2018): Structural and chemical evolution of mineral forms of tungsten in the oxidation zone of the Grantcharitza deposit (Western Rhodopes, Bulgaria). *Bul. Chem. Commun*., 50, *Special Issue J*: 270–280.

Tarassov, M., Benderev, A., Trayanova, M., Tarassova, E. (2019): Preliminary data on the content of W, As and U in the waters in the area of the Grantcharitza deposit, Western Rhodopes. *Review BGS*, **80** (3): 239–241.

Tarassov, M., Stavrev, M., Tarassova, E., Tacheva, E., Benderev, A. (2020): Formation and chemical composition of iron oxide precipitates from drainage waters in the western part of the Grantcharitsa deposit, Western Rhodopes. *Review BGS*, **81** (3): 52–54.

3-EG-06
UDC: 552.4:550.42(497)

LISTWANITES OF DINARIDE AND CENTRAL VARDAR ZONE OPHIOLITES
A Review

Hazim Hrvatović[1], Ladislav Palinkaš[2], Tola Merza[3], Petar Katanić[4], Enver Kamberović[5]

[1]*Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Saraevo, Bosnia and Herzegovina*
[2]*University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Mineralogy and Petrology, 10000 Zagreb, Croatia*
[3]*Universityof Sulaymani, Kurdistan Region, Iraq*
[4]*"Sočkovac"a.d. Sočkovac, Sočkovački put b.b.. Bosnia and Herzegovina*
[5]*Sarajevo, Bosnia and Herzegovina*
hharish@bih.net.ba

A b s t r a c t: Listwanite is a rock type that forms when ultramafic rocks, most commonly mantle peridotites, are partially altered to carbonate minerals and cut by ubiquitous carbonate veins containing magnesite, calcite, dolomite, ankerite and/or siderite. Original pyroxene and olivine in the peridotite are commonly altered to Mg- or Ca-carbonate and hydrous Mg-silicates, such as serpentine and talc. Complete carbonation of peridotite means formation of secondary carbonate minerals such a magnesite, calcite, and siderite, while silica is deposited as quartz, serpentine, and talc. In terms of bulk mineralogy, listwanites consist primarily of quartz (often of a rusty red colour), carbonate, serpentine, talc, ± mariposite/fuchsite (i.e., Cr-muscovite) ± gold.

Key words: Listwanite (possible spelling; listvenite; listvanite; or listwaenite) are discovered on Ural; described by german geologist G.Rose for the first times (1842)

ЛИСТВАНИТИТЕ НА ОФИОЛИТИТЕ ОД ДИНАРИДИТЕ И ВАРДАРСКАТА ЦЕНТРАЛНА ЗОНА
Преглед

А п с т р а к т: Листванит е тип на карпа што се формира кога ултрамафичните карпи, најчесто перидотити, делумно се променети во карбонатни минерали и пресечени со сеприсутни карбонатни жици што содржат магнезит, калцит, доломит, анкерит и / или сидерит. Примарните пироксени и оливини во перидотитот најчесто се променети во Mg- или Ca-карбонатни и хидрирани Mg-силикати, како што се серпентин и талк. Целосна карбонизација на перидотит значи формирање секундарни карбонатни минерали како магнезит, калцит и сидерит, додека силициум диоксидот се депонира како кварц, серпентин и талк. Во однос на целокупната минералогија, листванитите се состојат првенствено од кварц (со црвена боја на 'рѓа), карбонати, серпентин, талк, ± марипозит / фуксит (т.е. Cr -мусковит) ± злато.

Клучни зборови: Листванитите се откриени на Урал, прв ги опишал германскиот геолог Г. Роуз (1842)

LISTWANITE OF THE OZREN AND KONJUUH MTS., DINARIDIC OPHIOLITES

Listwanite ore in Dinaride is situated on the NE margine of Dinaridic ophiolite zone, along the Sprecha-Kozara fault. The Spreča-Kozara fault zone, which strikes and dips on the regional scale, accommodates a number of Jurassic ophiolite formations, serpentinites, Triassic meta-carbonates, Paleozoic phillites and post-orogenic magmatic rocks (Figure 1).

Listwanites within the Dinaridic ophiolite zone, on the northeastern margin of the Ozren ultramafic massive, were registered by Vakanjac (1962), Pamić and Olujić (1973) described them from the mineralogical and petrological aspects. Pamić (1979) classified them into three groups: talc-,quartz- and carbonate-listwanites.

Geological survey of Sarajevo was exploring ultramafic massive of Ozren Mt. in the period between 1968 and 1970 y. on the northeastern margin of the ophiolite zone, and localized geophysical anomaly on the depth of 25 and 80 m. Exploration drilling and mining exploration works discovered an ore body thick 4 - m (Olujić, 1971, revealed by Baraković, 2005). The listwanite ore bodies are situated along the fault, in the zone extending from a few hundred meter to 2 km and width of several hundred meter. Ore body comprises a part of the silicic-carbonate listwanite with average contents of

Pb = 0,2 – 3,1%; Zn – 0,5 – 4,9% and Ni = 0,1 – 2,9%. Chemical analyses of drillholes cores at some specific sites determined extraordinary content of zinc 10%wt. and nickle 2 – 15 % wt.

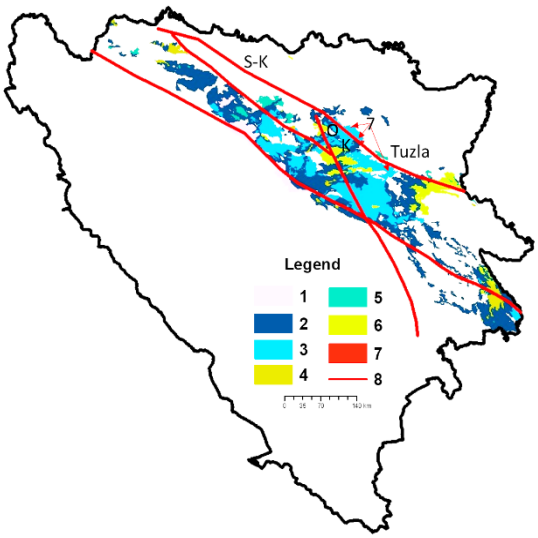


Fig. 1. Simplified geological map of the Dinaride Ophiolite Zone (Bosnia and Herzegovina)
Legend: 1).Late Triassic-Midlle Jurassic Radiolaritie formation, 2) Jurassic ophiolite melange or wild flysch (olistostrome or/and tectonic melange, wild flysch), 3) Jurrasic Ultramafic formations (tectonic peridotite, cumulate gabbros and peridotites, diabases, basalt), 4) Spilite, 5) Serpentinite, 6) Transgresive formations (Late Jurassic reefal limestone, Pogari formation, Late Cretaceous limestones), 7) Listwanite, 8) Deep fault. O-Ozren, K-Konjuh, S-K Spreča.Kozara deep fault

Besides, ore appears as lenses and dm-m thick veins in serpentinized peridotites as silicified breccia (Figure 2, 3, 4, 4a). The ore has red-brown and brown colour, impregnated with mm veinlets and mm-cm lenses with quartz and pyrite (Figure 3). A very specific textural characteristic of listwanite is porosity, which is ascribed to their hydrothermal origin by metasomatic activity of CO_2 . The region is under influence of young Tertiary magmatism, resulted in widespread alteration of ultramafic terrains, with magnesite, talc and asbestos ore deposits. According to Pamić (1979) listwanization is related to syenitic-granitic igneous activity.

Mineralization

Ore microscopy revealed following ore minerals:

Sulfides: galena, PbS; jemsonite, $Pb_4FeSb_6S_{14}$; sphalerite, (Zn,Fe,Mn,Cd)S, chalcopyrite, $CuFeS_2$; chalcocite, Cu_2S; covellite, CuS; tetrahedrite, $(Cu_2ZnFe)_3(AsSb)_2S_6$; milerite, NiS; pentlandite, (Fe,Ni)S; breithauptite, NiSbS; kovelin CuS; tetraedrit $(Cu_2ZnFe)_3$ $(AsSb)_2S_6$, milerit NiS, petlandit (Fe,Ni)S, brajthauptit NiSbS, arsenopyrite, FeAsS; pyrite, FeS; markasit FeS_2 .

Carbonates: cerusite, $PbCO_3$; smitsonite, $ZnCO_3$; siderite, $FeCO_3$; ankerite, $CaFe(CO_3)_2$; calcite, $CaCO_3$

Oxides: cuprite, Cu_2O; limonite, FeO(OH); goetite, FeO(OH); qurtz, SiO_2; opal $SiO_2x\ nH_2O$; chalcedon, SiO_2

The footwall of the ore body is overlain by silicic-listwanites (Figure.2) on the surface of 2 $km^{2.}$. Their geochemistry, presented in the Table 2. raises the economic perspectives of the showings due to the increased values of Au up to 1ppm, Ag 17 ppm, Ni 4600 ppm, Co 471 ppm, Pb 1150 ppm, Zn 1100 ppm and Fe up to 43%. Lateral host rocks are green clays with high Ni-4600 ppm, Ag-3.2 ppm and Zn-776 ppm (Table 2)

Fig. 2. Silicic-listwanite
(perimetar of Ozren Mt., analysis, in the Table 1)

Fig. 3. Silicic-listwanite from the drillhole core (sample .Table 1)

Fig. 4. Brecciated silicic-listwanite (perimetar of Konjuh Mt., analysis numbep 7 in Table 2)

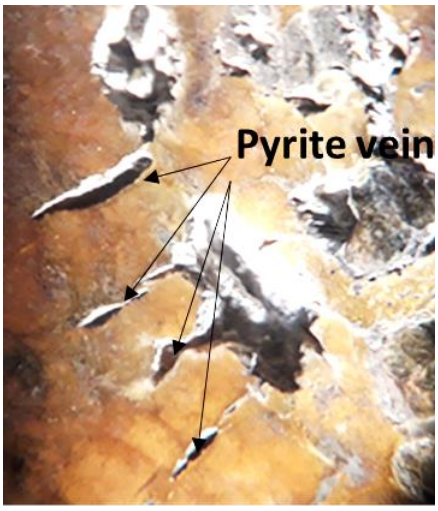


Fig. 4a. Detail from Figure 4

T a b l e 1

Lithogeochemical analysis of the ore
(Analyses done by Burea Veritas (Canada) and ALS Minerals (R Serbia).

Au	**Ag**	**Al**	**As**	**Ba**	**Be**	**Bi**	**Ca**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Ga**
ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
0.45	**126**	0.32	420	40	1.3	9	1.73	7.6	47	22	**955**	**34.7**	<10
Hg	**K**	**La**	**Mg**	**Mn**	**Mo**	**Na**	**Ni**	**P**	**Pb**	**S**	**Sb**	**Sc**	**Sr**
ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm
11.0	0.12	<10	0.45	9530	<1	0.02	**946**	540	**8.9**	1.94	121	1	7
Th	**Ti**	**U**	**V**	**W**	**Zn**	**Cs**	**Hf**	**Nb**	**Rb**	**Sn**	**Ta**	**Zr**	**Y**
ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0.5	0.01	20	<10	21	**1.19**	1.2	0.3	1.4	11.9	9	<0.1	14.2	4.6
La	**Ce**	**Pr**	**Nd**	**Sm**	**Eu**	**Gd**	**Tb**	**Dy**	**Ho**	**Er**	**Tm**	**Yb**	**Lu**
ppm	ppm	**p**pm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2.3	4.2	0.48	2.3	0.52	0.11	0.67	0.11	0.63	0.14	0.34	0.05	0.31	0.50

T a b l e 2

Lithogeochemical analysis of the listwanites (Samples from the margins of Ozren Mt.),
Analyses done by Burea Veritas (Canada) and ALS Minerals (R Serbia)

S.	**Ag**	**Al**	**As**	**Co**	**Cu**	**Fe**	**Mg**	**Ni**	**Pb**	**Sb**	**Sc**	**Zn**	**Au**
	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	0.8	1.22	32	17	45	15.3	0.03	260	142	15	12	450	-
2	**7**	0.88	164	66	25	2.41	0.13	374	130	63	4	421	-
3	<0.5	1.68	116	**471**	32	43.5	0.3	**4050**	50	23	9	**1840**	-
4	5.5	0.95	164	32	20	3.59	0.16	579	271	26	8	775	-
5	<0.5	0.48	14	11	7	1.93	0.11	424	7	<5	4	152	-
6	<0.5	0.48	8	19	11	0.85	0.1	207	2	<5	1	122	-
7	**17.6**	1.67	591	63	125	6	0.23	**1160**	**1525**	159	11	**1150**	-
8	0.9	0.33	144	34	9	4.32	0.11	761	50	120	6	178	-
9	1.5	3.2	26	72	25	6.72	5.33	932	92	12	12	205	-
10	0.5	6.87	184	111	62	8.05	0.81	**4120**	133	130	81	**2700**	-
11	<0.5	3.18	<5	122	6	32.8	0.75	**1550**	46	<5	32	**527**	-
12	0.8	0.43	168	51	12	6.31	0.14	**1320**	50	72	7	213	-
13	<0.5	0.39	513	114	8	8.09	0.11	**2940**	2	9	6	212	-
14	3.2	4.66	<5	189	50	7.67	0.46	**4640**	52	<5	51	776	-
15	<0.5	0.5	163	65	8	2.14	3.03	1460	55	15	4	261	-
16	0.8	0.48	195	57	13	6.27	0.11	1100	80	118	9	279	-
17	<0.5	0.36	375	96	7	7.82	0.11	**2630**	<2	9	7	178	-
18	0.9	0.47	173	40	9	4.75	0.13	866	65	88	8	181	0.012
19	0.03	0.18	4.0	3.7	8.4	0.18	0.03	38.2	-	1.5	1.7	4.3	**1.0**

Samples from the margins of Ozren Mt.: 1, 2, 3, 4, 8, 11, 12, 16, 17 (limonitized silisic listwanite); 10, 14 green clays in the footwall of listwanite); 5, 6, 7, 8, 9, 13, 15, 18, 19 (silicic listwanite)

T a b l e 3

Lithogeochemical analysis of the listvenite (samples from margin of Konjuh Mt.)
Analyses done by Burea Veritas (Canada) and ALS Minerals (R Serbia)

S.	**Au** ppm	**Ag** pm	**Al** %	**As** ppm	**Ca** %	**Co** ppm	**Cu** ppm	**Fe** %	**Mg** %	**Mn** ppm	**Ni** ppm	**Pb** ppm	**Zn** ppm
1	0.006	<0.5	0.28	<5	0.47	78	6	3.32	4.47	537	**1530**	2	39
2	0.006	1.3	0.64	9	0.4	5	9	0.99	0.1	190	64	7	18
3	<0.005	<0.5	0.38	<5	0.8	43	6	3.8	3.44	231	871	<2	19
4	**0.013**	<0.5	1.07	<5	2.67	105	68	6.25	23.4	1620	**2120**	<2	39
5	0.005	<0.5	0.2	<5	0.79	18	40	1.93	2.13	412	307	<2	8
6	<0.005	<0.5	0.2	14	1.12	31	99	2.69	4.43	502	587	138	72
7.	**7.6**	0.006	0.27	0.2	0.04	44.9	6.4	2.14	3.63	225	649	23.6	19

Sample: 1, 3, 5 and 7 (breccia silicic listwanite, 2.4 i 6 (silica listwanite)

Genetical consideration

1.Genesis of listwanite in Ozren and Konjuh Mts. ophiolite zone is connected with Tertiary magmatizam (Miocene), which penetrated orogenic nape-stackings system with obducted ophiolites. The masses of ultramafics,primarily peridotites, were hydrothermally metasomatized, including listwanization, by CO_2 rich fluids.

2. The key role in listwanization played Sprecha-Kozara fault zone, a possible conduit for metasomatic fluids.

3. Listwanites assumed a quality of ore by high content of Pb-8,9%, Zn, 3,1%, Ni-2,9%, Ag-126 ppm and Au-7,6 ppm and Cu-955 ppm.

4. Promising area for ore localization is long 60 km and wide about 1 km.

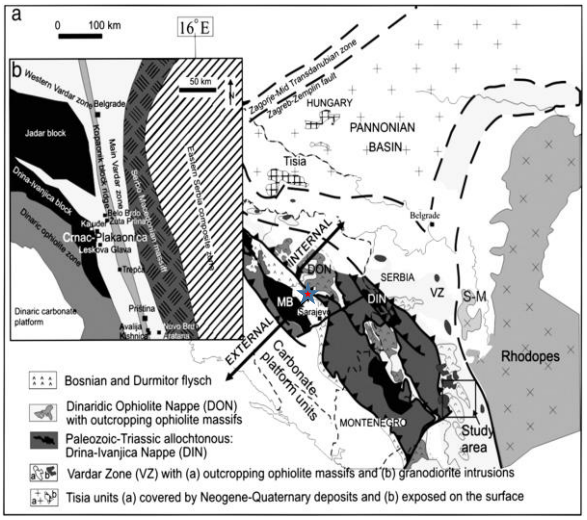


Fig. 5. Geological structural scheme of the Central Vardar zone and surrounding area and location of study area (Borojević Šoštarić et et al. 2013)

LISTWANITES OF THE CENTRAL VARDAR ZONE OPHIOLITES

The Crnac epithermal Pb–Zn–Ag deposit is exploited as an underground mine under operation. It is located ca. 30 km north of the Kosovska Mitrovica town and belongs geographically to Rogozna Mts., covering an area of 80 km2 (Figure 5, Borojević Šoštarićet et al. 2013). It predominantly contains the assemblage pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, sphalerite, chalcopyrite, galena and tetrahedrite. Alteration styles include propylitization, silicification,sericitization, kaolinitization and carbonatization. In the time period from 1967 to 1998 a total of 2.2 Mt ore at a combined grade of 5.7% metal was mined. The remaining reserves are estimated at 1.7 Mt of ore, containing average 7.6% lead, 2.9% zinc, and 102 g/t silver.

Genetical consideration

Pb–Zn–Ag vein and listwaenite types of mineralization in Crnac deposit, Western Vardar zone, were deposited within several stages: (i) the pre-ore stage comprises pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, quartz, kaolinite and is followed by magnetite–pyrite; (ii) the syn-ore stage is composed of galena, sphalerite, tetrahedrite and stefanite; and (iii) the post-ore stage is composed of carbonates, pyrite, arsenopyrite and minor galena.

The vein type mineralization is hosted by Jurassic amphibolites and veins terminate within overlying serpentinites. **Mineralized listwanit**es are developed along the serpentinite–amphibolite interface (Figure 6).

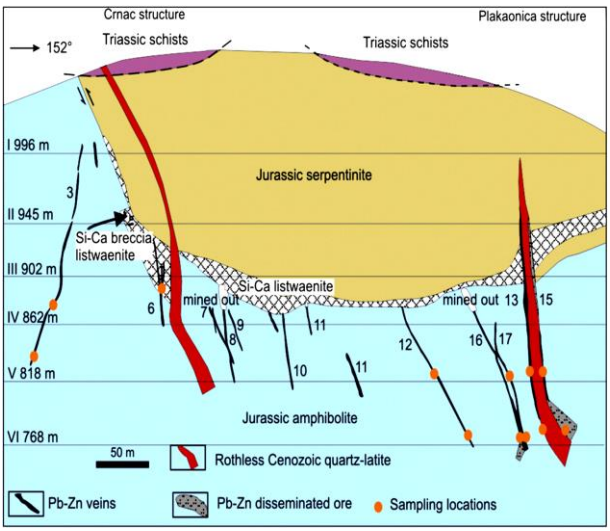


Fig. 6. Geological cross-section of the Crnac Pb–Zn–Ag deposit, with listwanite zone (Borojević Šoštarić et al. 2013)

Based on geochemical data, two fluid sources are responsible for genesis: (i) a magmatic source, supported by sulfur isotopic compositions within pre- and syn-ore minerals and a high mol% of fluorine found within pre- and syn-ore leachates, and (ii) a meteoric source, deduced by coincident pyrite–magnetite intergrowth, sulfur isotopic trends within syn-ore minerals and decrease of crystallization temperatures from the pre-ore stage (380–350 °C), towards the syn-ore (310–215 °C) and post-ore stages (190 °C). Post-ore fluids are Na–Ca–Mg–K–Li chlorine rich and were modified via water–rock reactions. Simple mineral assemblage and sphalerite composition range from 1.5 to 10.1 mol% of FeS and classified Crnac to a group of intermediate sulfidation epithermal deposit.

LISTWANITES AS COMMON PHENOMENON ALONG THE NEO-TETHYAN OPHIOLITES, EXAMPLED BY ZAGROS

The Zagros orogenic belt is a part of the Alpine-Himalayan orogenic system which streatches in continuity between the Turkish Taurus and the Iranian Zagros ophiolites, complementary with those in Balkans in Europe and to Pakistan and Tibet in Asia. Tectonic analysis of the **Mawat ophiolit complex,** registered system of rupture elements of variable intensity and strike directions, marking the thrust-fault boundaries of the Mawat ophiolite complex. The first order E-W elements delineate the boundaries among three major tectono-stratigraphic units: i) **Northern Mawat Group (NMG)**, (ii) **Median Intrusive complex (MIC),** (iii) **Southern Waraz Group** (**SWG)**. SWG has fully developed sheeted dyke complex, while its existence in the NMG and MIC is ambiguous. In addition, NMG and MIC have significantly different mélange units.

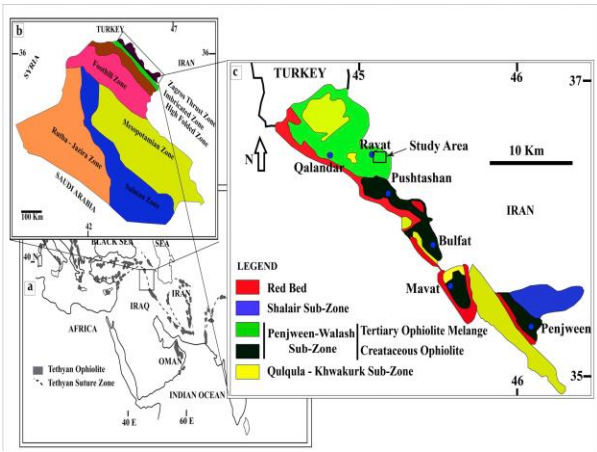


Fig. 7. Simplified geological map of the Iraqi Zagros Suture Zone along Iraq-Iran border (after Moores et al., 2000)

Mélanges

The genesis and architecture of the mélanges reflect their disparate tectonic evolution even at the last stages of Mawat suturing, during obduction on the Arabian stable shallow shelf. The terminology of the mélanges was accepted fully from the discrimination scheme of Festa et al. (2010). Mawat ophiolite suite hosts two type of serpentinite members: (i) Shear serpentinite, at the contact with Miocene Red Beds, and its precursor (ii) Massive serpenite, at the base of the ultramafics, formed during the sea-floor ophiolite episode. Imbricated serpentinites are important constituent of the "**sub-nappe, tectonic**" mélange, which smooth thrust-faulting progress of the leading nappes. They show continuum in transition from the "**broken formation**" to "**block-in-matrix**" mélange, incorporating exotic fragments of red nummulitic limstones of the Naopurdan Group, pillow lava, gabbroic rocks, dunites, in the matrix of scaly **mylonitized serpentinite** (Figure 9). The exotics are erosional artefacts from the base of imbricated thrust sheet. **Serpentinite are cross-cut by veins of listwanite** (Figure 8).

A recent geological field work in the Northeastern part of Iraqi Kurdistan and subsequent analytical studies showed that the previously reported metamorphosed limestone outcrops around Rayat area represent actually listwanite bodies (Figure 7, et al. 2020).

Fig. 8. Listwanite veins in the serpentinite mélanges

Fig. 9. "Block-in-matrix" mélange, incorporating exotic fragments of red nummulitic limstones of the Naopurdan Group, pillow lava, gabbroic rocks, dunites, in the matrix of scaly **mylonitized serpentinite**

Field mapping and remote sensing applications were used to understand the spatial distribution of the listwanite. Additionally, petrographical, mineralogical and geochemical studies provide an initial genetic model, as well as to assess potential mineralizations related to the listwanization. Listwanization occurred as a product of hydrothermal alteration of the Cr-rich serpentinised peridotite that extensively occurs in the area, and resulted in the formation of silica and carbonate listwanites, as well as transitional phases, with fuchsite mineralization being predominant along the sheared zones. Listwanitization occurred as a product of hydrothermal alteration of the Cr-rich serpentinised peridotite that extensively occurs in the area, and resulted in the formation of silica and carbonate listwanites.

REFERENCES

Borojević Šoštarić, S., Palinkaš, L. A, Topa, D. J., Spangenberg, E., Prochaska, W. (2013): Silver–base metal epithermal vein and listwaenite types of deposit Crnac, Rogozna Mts., Kosovo. Part I: *Ore mineral geochemistry and sulfur isotope study. Ore geology reviews*, 50 (2013); 98-117.

Baraković A. & Baraković D. (2005): Polimetalična mineralizacija ležišta «Sočkovac» (Polymetallic mineralization „Sočkovac"), Contributions of the RGGF University of Tuzla)., *Zbornik radova RGGF-a Univerziteta u Tuzli,* broj: **XXIX/II**, str. 155-165, Tuzla..

Festa, A., Pini, G.A., Dilek, Y. Codegone, G. (2010): –0n Mélanges and mélange-forming processes: a historical overview and new concepts. *Inter. Geol. Rev.*, **52**. 10–12, 1040–1105.

Moores, E., Kellogg, L., Dilek, Y. (2000): Tethyan ophiolites, mantle convection, and tectonic 'historical contingency': A resolution of the 'ophiolite conundrum. *Special Paper of the Geological Society of America* 349, 3–12.

Olujić, J. (1971): *Izvještaj o rezultatima istraživanja polimeta ličnog ležišta Sočkovac kod Gračanice*, FSD Institut za geologiju Sarajevo. (Report on results of drillings of polymetallic deposit Sočkovac near Gračanica).

Pirouei M., Kolo K, Kalaitzidis S. P. (2020): Hydrothermal listvenitization and associated mineralizations in Zagros Ophiolites: Implications for mineral exploration in Iraqi Kurdistan. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. **208**, January 2020.

Pamić, J. (1979): *Geologija Bosne i Hercegovine*, Kniga IV Magmatizam i metalogenija, Ozrenski ofiolitski kompleks, str. 135-162. Geoinženjering Sarajevo. (Geology of Bosnia and Herzegovina, Book IV, Magmatizam and metallogeny).

Palinkas, A. L. & Tola Merza. (2020): Ridge-axis and Off-axis volcanic massive sulfides, Cyprus-type, in the Mawat ophiolites, Kurdistan-Iraq. *Reconnaissance survey.* JZS-A, Volume **22**, Issue 1, June 2020.

Vakanjac, B. (1962): *Ležište hrizotil-azbesta u rejonu Bosanskog Petrovog Sela* (*Ore deposit of chrysotile-asbestos in the area of Bosansko Petrovo selo*), disertacija. Univerzitet u Beogradu.

Silver–base metal epithermal vein and listwaenite types of deposit Crnac, Rogozna Mts., Kosovo. Part I: Ore mineral geochemistry and sulfur isotope study.

3-EG-7
UDC: 553.4.045(497.723)

OVERVIEW OF THE NATURAL PARAMETERS FROM THE GEOLOGICAL-ECONOMIC ASSESSMENT OF THE ORE DEPOSIT BALTAŠNICA, ORE FIELD SASA

Lazar Gorgjiev[1], Todor Serafimovski[2], Marin Aleksandrov[3], Goran Tasev[2]

[1]*Kaltun Maddencilik DOO, Boulevard Marx and Engels 1-5/2, Skopje, R. Macedonia*
[2]*Faculty of Natural and Technical Sciences, "Goce Delčev" University in Štip,*
Blvd. Blvd. Krste Misirkov 10-A, P.O, Box 210, 2000 Štip, Republic of North Macedonia
[3]*Reservoir minerals Macedonia, October 11th Street 2/2-2 Skopje, R. Macedonia*
lazar.gorgiev@yahoo.com

A b s t r a c t: The results of the latest research on the Pb-Zn ore deposit Baltašnica, were an incentive to make a calculation of some important techno-economic parameters, which would define the economic type of this mineralization. Namely, the ore-bearing degree in these types of ore mineralization is variable, but the calculation of certain levels and of different drill holes gives a more realistic overview of the variable distribution of mineralization within the ore bodies. The calculated ore-bearing coefficient of the sum of lead and zinc is 0.42%, which means that in the boundaries of the ore bodies 58% of the mass has contents under 4.0% Pb + Zn. The calculated value of the coefficient of variation (V) for lead is 89.30% and for zinc 104.13%, values that are in the range of 85-120%, which shows that these ore bodies belong to the second group and the second subgroup of lead-zinc deposits with medium even mineralization. The average contents of lead, zinc, copper, and silver were determined at 2.96% Pb, 1.79% Zn, 0.089% Cu and 15.97 g/t Ag. The minimum economic content (MEC) in the ore deposit Baltašnica, represented by this type of mineralization, was established at 4.0116% Pb. In a similar way, the cutoff grade of lead was also calculated, which showed a value of 2.8879% Pb. The value of the monometal of lead was also calculated, in which the influence of the zinc and the silver presented in the ore is included. The calculated lead monometal, which is 5.6761%, is a solid base for a profitable exploitation of these poor lead-zinc ores. The calculated ore reserves within this ore deposit are 4.5 Mt of ore and the projected life of the mine is 15 years.

Key words: Baltašnica, natural parameters, lead, zinc, silver

ПРЕГЛЕД НА НАТУРАЛНИТЕ ПАРАМЕТРИ ОД ГЕОЛОШКО-ЕКОНОМСКАТА ОЦЕНА НА РУДНОТО НАОЃАЛИШТЕ БАЛТАШНИЦА, РУДНО ПОЛЕ САСА

А п с т р а к т: : Резултатите од најновите истражувања на Pb-Zn рудно наоѓалиште Балташница, беа потик да се направи пресметка на некои важни техно-економски параметри, кои би го дефинирале економскиот тип на оваа минерализација. Имено, степенот на рудоносност во овие типови на рудна минерализација е променлив, но пресметката на определени нивои и на различни истражни дупчотини дава по реален преглед на променливата распределба на минерализацијата во рамките на рудните тела. Пресметаниот коефициент на рудоносност на збирот на олово и цинк изнесува 0,42%, што значи дека во границите на рудните тела 58% од масата има содржини под 4,0% Pb+Zn. Пресметаната вредност на коефициентот на варијација (V) за олово е 89,30% а за цинк 104,13%, вредности кој се во рангот од 85-120%, што покажува дека овие рудни тела припаѓа во втората група и втората подгрупа на олово-цинкови наоѓалишта со средно рамномерно оруднување. Просечните содржини на олово, цинк, бакар и средбро беа утврдени на 2,96% Pb, 1,79% Zn, 0,089% Cu и 15,97 g/t Ag. Минималната економска содржина (MEC) во рудното наоѓалиште Балташница, представено со ваков вид на минерализации, беше утврдена на 4,0116% Pb. На сличен начин беше пресметана и граничната содржина на олово, која покажа вредност од 2,8879% Pb. Исто така беше пресметана и вредноста на монометал на олово, во која е вклучено влијанието на цинкот и среброто присутни во рудата. Пресметаниот оловен монометал кој е 5,6761% преставува цврста основа за профитабилна експлотација на овие сиромашни оловно цинкови руди. Пресметаните рудни резерви во рамките на ова рудно наоѓалиште се 4,5 Mt на руда и проектиран животен век на рудникот од 15 години.

Клучни зборови: Балташница, натурални параметри, олово цинк, сребро

INTRODUCTION

From a geological and structural aspect, the Pb-Zn ore deposit Baltašnica belongs to the Sasa-Toranica ore region or the Osogovo ore region. This ore region lies entirely in the Serbian-Macedonian massif and according to its basic metallogenetic features is one of the largest and most potential ore regions within the metallogenetic zone Besna Kobila-Osogovo-Thassos. The Baltašnica deposit is located in the Eastern part of North Macedonia, 14-17 km NW of Makedonska Kamenica, near the state border with Bulgaria. The ore deposit is at an altitude of 1450 m to 2025 m. The remains of old mining and metallurgy (old tools, slags, etc.) are visible at the ore deposit Baltašnica. Data for lead-zinc mineralization and occurrences in the Baltašnica ore deposit are presented in the works of Pendzerkovski (1952, 1964), Bogoevski (1964), Djordjevic (1977), Aleksandrov (1979, 1986, 1989, 1992), Gjorgiev (2019) and others.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS

In the geological build of the ore deposit Baltašnica, metamorphic and magmatic rocks generally participate. Both are not unambiguous, i.e. they include rocks of different origins and ages. Thus, the metamorphic rocks are represented by high and low metamorphic representatives, and the magmatic rocks by intrusive and effusive rocks (Figuee 1).

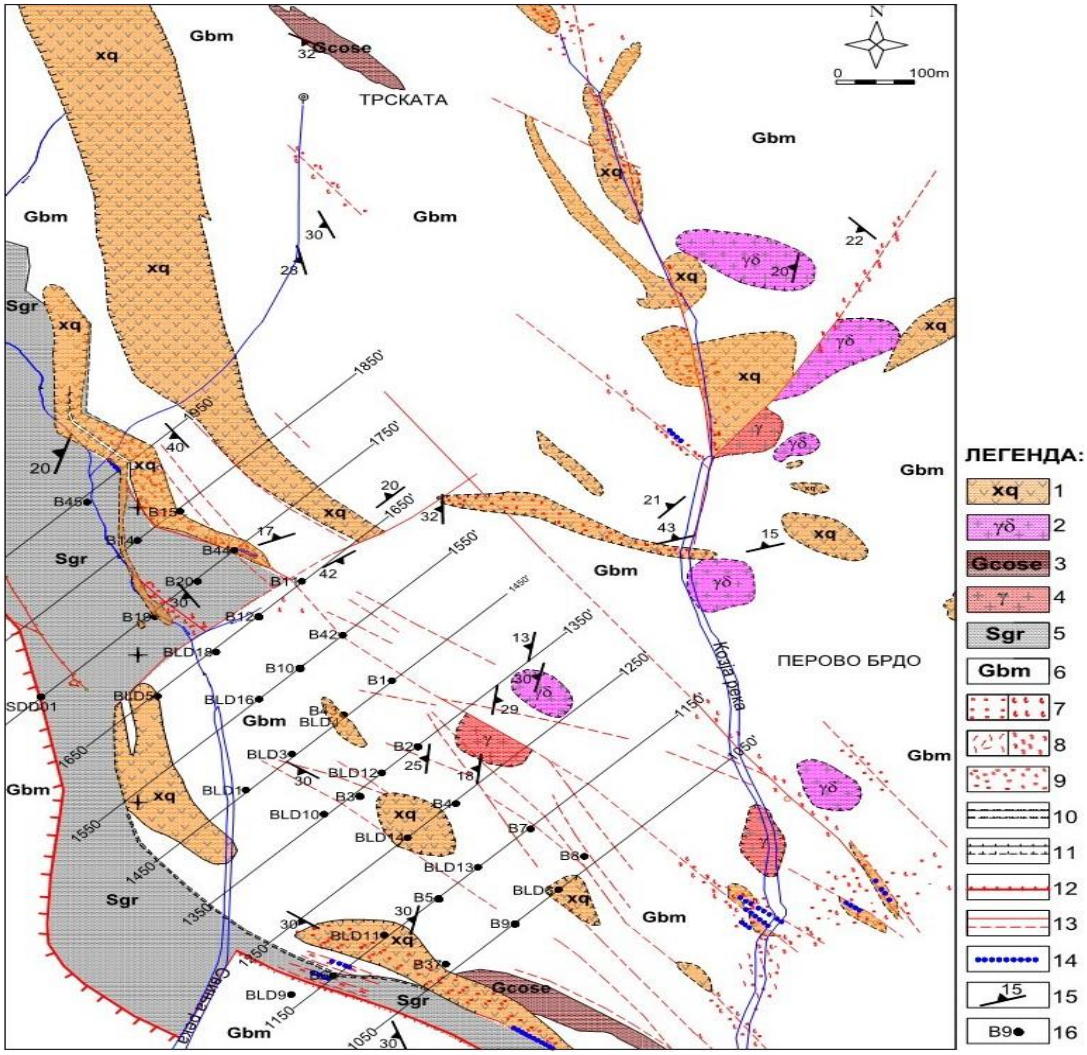


Fig. 1. Geological map of the Baltašnica ore deposit (modified, according to Alexandrov, 1992).
1) Quartzlatite-dacite-lamprophyre; 2) Granodiorite; 3) Chlorite-sericite gneiss; 4) Granite-plagiogranite; 5) Quartz graphite schist; 6) Muscovite-biotite gneiss; 7) Pyritization and limonization; 8) Silification and kaolinization; 9) Propylitization; 10) Transgressive geological boundary (determined and assumed); 11) Intrusive boundary (determined and assumed); 12) Cover forehead; 13) Fault (determined and assumed); 14) PbS-ZnS mineralization; 15) Elements on drop of foliation; 16) Drill hole

The lead-zinc mineralization is spatially connected with fault structures with the stretching direction of 319–325°, with a decline towards the SW (45–60°). They are most often located in the biotite and chlorite-sericite gneisses, and subordinately in the other lithological members (Figure 2). Quite rarely in the Baltašnica ore deposit skarn-metasomatic mineralization also occurs, where adequate conditions for formation for that existed. The ore is formed by filling the empty spaces within the fault structures and around them, regardless of the environment in which they are manifested, while completely subordinated and metasomatical in rhodonite-garnet skarns (Alexandrov, 1992).

Morphologically, the ore bodies have a vein shape; quite often they are with surrounding impregnations, and with greater intensity in the roof parts, and ore bodies with line-stockwork shapes also occur. The strength of the ore veins ranges from 0.2 to 2.0 m, while of the line-stockworks it is from 1.0–40.0 m.

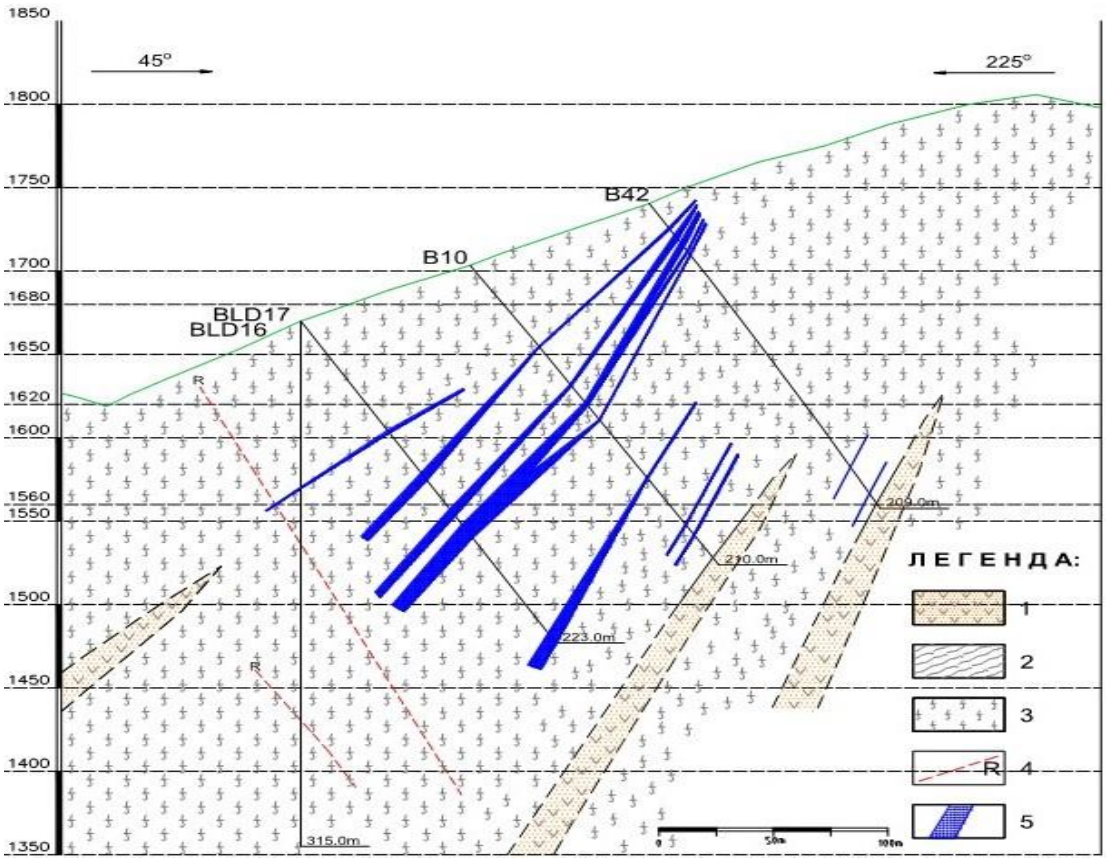


Fig. 2. Transverse profile 1550-1550', Baltašnica ore deposit (Gjorgiev et al., 2019).
1) Quartzlatite-dacite-lamprophyre; 2) Quartz graphite schist, 3) Muscovite-biotite gneiss; 4) Fault (assumed); 5) Pb-Zn ore veins with surrounding impregnations.

MINERAL COMPOSITION

Galena and sphalerite are the leading and at the same time the most important ore minerals for possible future production of lead and zinc in the ore deposit Baltašnica. Permanent followers of the basic ore minerals appear as: chalcopyrite, pyrite, marcasite, and partly pyrotine, aikinite, bismuthine, terardite, tennantite, freibergite, stephanite, native gold, native silver, bornite, chalcocite, etc. (Aleksandrov, 1992).

TECHNO-ECONOMIC PARAMETERS

In this chapter the main parameters of the techno-economic assessment of the Baltašnica ore deposit are presented, which unequivocally indicates the possibility for a productive exploitation of the lead-zinc ore from this special deposit and the possibility to make a profit. Here are given the results from the calculations of: the ore-bearing coefficient, the coefficient of variation, the average concentrations of major ore metals (Pb, Zn, Cu and Ag), the minimum economic content, and the cutoff grade.

Ore-bearing coefficient. - The ore-bearing coefficient defines the ratio between the total mineralized space in the contoured ore bodies and the represented sterile parties (content under the limit of 4.0% Pb + Zn) within the ore bodies. In the ore deposit Baltašnica, from 10 exploration profiles with a total of 38 drill holes and 231.1 m of mineralized surface, 97.4 m are mineralized with over 4.0% Pb + Zn, while 133.7 m have mineralization under the limit of 4.0% Pb + Zn, but significantly above Clark values. With the formula given below, the above-mentioned coefficient is calculated:

$$K_{r(\mathrm{Pb+Zn})} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{97{,}4}{231{,}1} = 0{,}42$$

where:
K_r – Ore-bearing coefficient
m_1 – Productive interval (mineralized area >4.0 % Pb+Zn)
m_2 – Total mineralized interval

The ore-bearing coefficient of the sum of lead and zinc at the drill holes in the Baltašnica ore deposit varies in the range of 0.00 to 1.00, while along the exploration profiles it varies in the narrower range of 0.20 to 0.56. The calculated ore-bearing coefficient of the sum of lead and zinc is 0.42%, which means that in the boundaries of the ore bodies, 58% of the mass has contents under 4.0% Pb + Zn.

Variation coefficient. - This coefficient defines the spatial distribution of the useful mineral components in the ore deposit, i.e., the equivalence of the concentration of the useful mineral components in the ore bodies. In the case of the Baltašnica ore deposit, 38 exploratory drill holes have been drilled, which defines the ore bodies. From those 38 exploratory drill holes, 291 samples have been taken, which have defined average contents of Pb, Zn, Cu and Ag. The basic parameters for calculating the coefficient of variation for lead and zinc in the Baltašnica ore deposit have been taken from all 38 exploratory drill holes (Table 1).

First the average content of lead and zinc is calculated, as given below:

$$C_{Pb}^{-}. \frac{\sum C_{Pb}}{N} = \frac{958{,}651}{291} = 3{,}2943\%$$

$$C_{Zn}^{-} = \frac{\sum C_{Zn}}{N} = \frac{550{,}7662}{291} = 1{,}8927\%$$

Where:
N – Total number of samples
C_{Pb} – Average lead concentration (Pb%)
C_{Zn} – Average zinc concentration (Zn %)

Then, the medium square deviation and the coefficient of variation are calculated, as given below:

$$\delta_{\mathrm{Pb}} = \sqrt{\frac{\sum X_{\mathrm{Pb}}^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{2509{,}95}{290}} = \sqrt{8{,}655} = 2{,}9419$$

$$\delta_{\mathrm{Zn}} = \sqrt{\frac{\sum X_{\mathrm{Zn}}^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{1126{,}43}{290}} = \sqrt{3{,}8842} = 1{,}9708$$

where:
$\sum X_{Pb}^2$ – Sum of square deviations from average values for Pb
$\sum X_{Zn}^2$ – Sum of square deviations from average values for Zn
δ_{Pb} – Medium square deviation for Pb
δ_{Zn} – Medium square deviation for Zn

$$V_{\mathrm{Pb}} = \frac{\delta_{\mathrm{Pb}} \times 100}{C_{\mathrm{Pb}}^{-}} = \frac{2{,}9419 \times 100}{3{,}2943} = \frac{294{,}194}{3{,}2943} = 98{,}30\%$$

$$V_{\mathrm{Zn}} = \frac{\delta_{\mathrm{Zn}} \times 100}{C_{\mathrm{Pb}}^{-}} = \frac{1{,}9708 \times 100}{1{,}8927} = \frac{197{,}08}{1{,}8927} = 104{,}13\%$$

where
V_{Pb} – Variation coefficient for Pb
V_{Zn} – Variation coefficient for Zn

The value of the coefficient of variation for lead is 89.30%, which indicates medium even mineralization. The value of the coefficient of variation for zinc is 104.13%, which also indicates medium even mineralization. According to that, the Baltašnica deposit belongs to the second group and the second subgroup of lead-zinc deposits, in accordance with the rulebook for classification and categorization of the reserves for solid mineral resources no. 53/1973, Official Gazette of SFRY.

An average concentration of useful component(s). - The average concentration of useful component(s) is the average presence of one or more components within the ore bodies. With the method of vertical parallel profiles for calculating the ore reserves in the Baltašnica ore deposit, it has been determined that for the calculated C1 category of reserves, the average concentrations of the useful components are 2.96% Pb, 1.79% Zn, 0.089% Cu and 15.97 g/t Ag.

In addition to these basic useful components that are taken in the calculation procedure and which in future will be treated as basic useful components with commercial value, in the ore deposit Baltašnica there are accompanying useful components that have their economic value, but their valorization should be requested in the metallurgical processing. Here as accompanying components especially interesting are the following: Cd (100-2000 ppm Cd can be found in the ore), Bi, In and other.

T a b l e 1

Basic parameters for calculating the variation coefficient for lead and zinc in the Baltašnica ore deposit

Profile	Borehole	N	C_{Pb}^{-} (%)	Σx_{Pb}^2	δ_{Pb}	V_{Pb} (%)	C_{Zn}^{-} (%)	Σx_{Zn}^2	δ_{Zn}	V_{Zn}(%)
1050-1050'	B37	4	8,0398	83,9541	5,2901	65,80	0,5124	1,8874	0,7932	154,79
	B9	2	2,2670	3,6612	1,9134	84,40	1,4775	0,0001	0,0106	0,72
	BLD6	3	2,9067	0,3125	0,3953	13,60	2,6800	7,5998	1,9493	72,74
	B8	2	2,2250	0,0265	0,1626	7,31	0,8100	0,0072	0,0849	10,48
1150-1150'	BLD9	4	2,9625	4,5701	1,2342	41,66	2,8850	3,0011	1,0002	34,67
	B6	7	2,4643	6,2014	1,0166	41,26	1,1000	4,6610	0,8814	80,13
	BLD11	2	1,8050	1,0225	1,0112	56,02	2,9150	2,0201	1,4213	48,76
	B5	9	3,2923	123,4565	3,9284	119,32	2,4094	12,3751	1,2437	51,62
	BLD13	3	2,5033	2,0725	1,0180	40,66	2,2733	5,9273	1,7215	75,73
	B7	6	3,8790	64,9478	3,6041	92,91	3,1392	109,0004	4,6691	148,74
1250-1250'	BLD14	2	1,3350	0,7321	0,8556	64,09	1,7550	0,6845	0,8273	47,14
	B4	24	2,7423	121,7037	2,3003	83,88	1,8149	197,2340	2,9284	161,35
1350-1350'	BLD10	5	6,6400	300,7678	8,6713	130,59	2,3700	2,5728	0,8020	33,84
	B3	6	3,3192	51,2375	3,2012	96,45	0,5282	2,5479	0,7138	135,14
	BLD12	3	2,6367	24,0765	3,4696	131,59	0,9633	1,3305	0,8156	84,67
	B2	7	2,6507	6,6110	1,0497	39,60	1,7009	6,2089	1,0173	59,81
1450-1450'	BLD1	8	4,4263	104,7590	3,8685	87,40	0,5050	1,8624	0,5158	102,14
	BLD3	3	8,2100	184,9502	9,6164	117,13	0,6700	1,0446	0,7227	107,87
	BLD4	2	1,8650	0,4705	0,6859	36,78	2,5000	0,8450	0,9192	36,77
	B43	2	1,9100	0,0392	0,1980	10,37	1,5550	3,2005	1,7890	115,05
	B1	4	4,3523	19,0546	2,5202	57,91	2,7920	56,4486	4,3378	155,36
1550-1550'	BLD16	8	2,0263	6,6656	0,9758	48,16	1,0938	4,0998	0,7653	69,97
	B10	10	3,2379	76,3688	2,9130	89,96	3,0595	102,1403	3,3688	110,11
	B42	16	1,7813	28,8717	1,3874	77,89	1,5774	13,9178	0,9633	61,06
1650-1650'	BLD5	3	3,3400	13,2696	2,5758	77,12	1,0567	0,8973	0,6698	63,39
	BLD18	3	2,1767	8,5741	2,0705	95,12	2,7833	5,3313	1,6327	58,66
	B12	29	2,6010	106,8866	1,9538	75,12	1,5515	31,2549	1,0565	68,10
	B11	8	2,3690	26,9356	1,9616	82,80	1,4479	10,0139	1,1961	82,61
1750-1750'	SDD01	13	3,7012	59,0190	2,2177	59,92	1,6757	53,7511	2,1164	126,30
	B19	14	4,7960	196,5060	3,8879	81,07	1,9364	189,7989	3,8210	197,33
	B20	21	2,9261	94,9645	2,1790	74,47	2,3547	69,1180	1,8590	78,95
	B44	7	2,7839	14,4327	1,5509	55,71	2,2451	5,5807	0,9644	42,96
1850-1850'	SDD08	8	2,5750	6,7050	0,9787	38,01	2,1119	7,6398	1,0447	49,47
	BLD7	6	1,1450	0,8914	0,4222	36,88	1,2467	1,5807	0,5623	45,10
	B14	10	1,7300	3,5972	0,6322	36,54	2,2670	19,8836	1,4864	65,57
	B15	8	11,3670	573,4181	9,0508	79,62	0,9524	6,4575	0,9605	100,85
1950-1950'	B45	19	3,2989	188,2178	3,2337	98,02	3,1620	184,5005	3,2016	101,25
Sum		291	3,2943	2509,951	2,9419	89,30	1,8927	1126,425	1,9708	104,13

Calculating of the Minimal Economic Concentration (MEC). - MEC is a natural indicator of the geological-economic assessment, and this term means the lowest medium content of the useful component (or sum of components) in one ore deposit. Based on this, the exploitation provides coverage of all costs necessary for obtaining and primary processing of the mineral raw material, by achieving the required level of profitability in relation to the engaged funds. MEC is one of the most important indicators for geological-economic assessment and it plays a crucial role in separating the balance reserves from the off-balance reserves. Here the calculation is made of the MEC of the conditional component lead (as the main component) in the complex ore deposit Baltašnica, which also contains zinc, copper and silver.

The following parameters are included in the calculation of MEC for lead:

S – Costs of underground exploitation and processing (gravity pre-concentration and flotation) of 1t ore (Te and To) – 49,05 US$/t

I_e – Dillution coefficient during underground exploitation – 15 % (0,85)

I_{oPb} – Coefficient of extraction during enrichment of Pb – 90%

I_{oZn} – Coefficient of extraction during enrichment of Zn – 80%

I_{mPb} – Efficiency coefficient during metallurgical processing of Pb – 92 %

I_{mZn} – Efficiency coefficient during metallurgical processing of Zn – 85 %

C_{oPb} – Market price of lead (at the moment of calculation) – 2100 US$/t

C_{oZn} – Market price of zinc (at the moment of calculation) – 2750 US$/t

S_{mPb} – Costs of metallurgical processing of the final product unit of lead – 300 US$/t

S_{mZn} – Costs of metallurgical processing of the final product unit of zinc – 300 US$/t

S_t – Cost of transport per ton ore concentrate – 30 US$/t

g_{Pb} – Concentration of lead in ore Pb-concentrate – 52 % Pb

g_{Zn} – Concentration of zinc in ore Zn-concentrate – 42 % Zn

The minimum content for the conditional component lead is calculated by the formula of G. G. Gudalin (Janković and Milovanović, 1985):

$$MEC = \frac{100 \cdot S}{Ie \cdot Io_{Pb} \cdot \mathrm{Im}_{Pb} \cdot \left(Co_{Pb} - Sm_{Pb} - \left(\frac{100 \cdot St}{g_{Pb} \cdot \mathrm{Im}_{Pb}} \right) \right)} = \frac{100 \cdot 49{,}05}{0{,}85 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}92 \cdot \left(2100 - 300 - \left(\frac{100 \cdot 30}{52 \cdot 0{,}92} \right) \right)} =$$

$$= \frac{4905}{0{,}7038 \cdot (1800 - 62{,}71)} = \frac{4905}{1222{,}70} = 4{,}0116\% Pb$$

The coefficient for rendering the zinc content to the content of the conditional component lead is:

$$K(prZn \rightarrow Pb) = \frac{Ie \cdot Io_{Zn} \cdot \mathrm{Im}_{Zn} \cdot \left(Co_{Zn} - Sm_{Zn} - \left(\frac{100 \cdot St}{g_{Zn} \cdot \mathrm{Im}_{Zn}} \right) \right)}{Ie \cdot Io_{Pb} \cdot \mathrm{Im}_{Pb} \cdot \left(Co_{Pb} - Sm_{Pb} - \left(\frac{100 \cdot St}{g_{Pb} \cdot \mathrm{Im}_{Pb}} \right) \right)} = \frac{0{,}85 \cdot 0{,}80 \cdot 0{,}85 \cdot \left(2750 - 300 - \left(\frac{100 \cdot 30}{42 \cdot 0{,}85} \right) \right)}{0{,}85 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}92 \cdot \left(2100 - 300 - \left(\frac{100 \cdot 30}{52 \cdot 0{,}92} \right) \right)} = \frac{1367{,}53}{1222{,}70} = 1{,}1184$$

The medium content of the conditional component lead in the Baltašnica ore deposit is:

$$1{,}1184 \cdot 1{,}79\% + 2{,}96\% = 4{,}96\% Pb$$

Calculation of monometal. - The ore reserves calculated in the ore bodies of the Baltašnica ore deposit have shown that it is a natural product that contains on average 2.96% Pb, 1.79% Zn, 0.089% Cu and 15.97 g/t Ag. Comparing those values of the useful components with the required MES (4.01% Pb), we can conclude that the ore bodies have contents higher than the minimum. Because in the Pb-concentrate the content of Cu is 0.59%, and in the Zn-concentrate the content of Cu is 0.43%, it follows that Cu has no economic value, because its content in both concentrates is under 1% and it is not paid from the smelters. Therefore, the content of silver is considered to be an accompanying component reduced to the monometal of lead as a basic component, which is later compared with the required MEC, i.e. the balancedness of ore reserves is assessed. That calculation has been performed using the factor of rendering (f) on the accompanying component (Ag) of the basic (Pb), but now expressed as a monometal. The rendering factor is calculated as follows:

$$f_{Ag} = \frac{C_{Ag} \cdot Io_{Ag} \cdot \mathrm{Im}_{Ag} \cdot Co_{Ag}}{(C_{Pb} \cdot Io_{Pb} \cdot \mathrm{Im}_{Pb} \cdot Co_{Pb}) \cdot 100}$$

where

C_{Ag} – Average content of Ag in ore (15,97g/t)

Io_{Ag} – Usage efficiency of Ag in the flotation process (ore Pb-concentrate) (91,0%)

Im_{Ag} – Metallurgical usage of Ag (92,0%)

Co_{Ag} – Silver in concentrate (230g/t)

C_{Pb} – Average content of Pb in ore (2,96%)

Io_{Pb} – Usage efficiency of Pb in flotation process (90,0 %)

Im_{Pb} – Metallurgical usage of Pb (92,0 %)

Co_{Pb} – Lead in concentrate (52,0 %)

The calculation of monometal on the ore deposit Baltašnica:

$$f_{Ag} = \frac{15{,}97 \cdot 0{,}91 \cdot 0{,}92 \cdot 230}{(2{,}96 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}92 \cdot 52) \cdot 100} = \frac{3075{,}12}{12745} = 0{,}2413$$

$$Pb_{monometal} = C_{Pb} + (C_{Zn} \cdot K(prZn \rightarrow Pb)) + (C_{Pb} \cdot f_{Ag}) = 2{,}96 + (1{,}79 \cdot 1{,}1184) + (2{,}96 \cdot 0{,}2413) =$$
$$= 2{,}96 + 2{,}0019 + 0{,}7142 = 5{,}6761\%$$

The calculation above shows that the useful components calculated on Pb monometal give a value of 5.68% Pb, which is higher than the required calculated for MES (4.01% Pb) and in that direction the ore reserves can be considered economically viable in themselves.

Cutoff grade. - It is the lowest content of useful components in the ore which can be exploited without profit but also without loss. The cutoff grade is determined by the formula of G. G. Gudelin (Janković and Milovanović, 1985):

$$GS = \frac{100 \cdot S'}{Ie \cdot Io_{Pb} \cdot \mathrm{Im}_{Pb} \cdot \left(Co_{Pb} - Sm_{Pb} - \left(\frac{100 \cdot St}{g_{Pb} \cdot \mathrm{Im}_{Pb}} \right) \right)}$$

where:

S' – Variable costs of underground exploitation and processing (gravity pre-concentration and flotation) of 1t ore (Te and To) – 35,31 US$/t

The other parameters are the same as in the calculation of MES.

From where it follows:

$$GS = \frac{100 \cdot 35{,}31}{0{,}85 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}92 \cdot \left(2100 - 300 - \left(\frac{100 \cdot 30}{52 \cdot 0{,}92} \right) \right)} = \frac{3531}{1222{,}70} = 2{,}8879\% Pb$$

The total geological ore reserves of 4 526 723 t (C1 category) with medium content of 2.96% Pb, 1.79% Zn, 0.089% Cu and 15.97 g/t Ag in the ore deposit Blatashnica have been calculated by the method of vertical profiles.

CONCLUSION

The Baltašnica ore deposit is a new explored lead zinc ore deposit in the Sasa ore field, with calculated ore reserves of 4.5 Mt (C1 category) with an average content of 2.96% Pb, 1.79% Zn, 0.089% Cu and 15.97 g/t Ag. Accompanying useful metals which are especially interesting in the Baltašnica ore deposit are Cd, Bi, In and other. The ore-bearing coefficient has been calculated at 0.42%, the coefficient of lead variation at 89.30%, the minimum economic content at 4.01% Pb and cutoff grade at 2.89% Pb. The calculated monometal of lead has the value of 5.68% Pb. All these techno-economic parameters should have positive effects on the possible exploitation of this mine, which has a projected life of 15 years.

REFERENCES

Aleksandrov, M. (1992): *Metallogenetic characteristics of the polymetallic ore field Sasa-Eastern Macedonia*, Doctoral dissertation, Faculty of Mining and Geology, Shtip, 264 p.

Djordjević, V. (1977): *Report for the geological investigations in Sasa-Baltašnica in 1976*. Geological Survey – Skopje, OOZT Institute for Exploration of Mineral Resources, Skopje, 29 p. + graphic attachments.

Gjorgiev, L., Hussein, Z., Angelov, V., Peshovska, S., Ivanovski, L. (2019): *Elaborate from the performed detailed geological explorations, with calculation of the geological ore reserves, of metallic mineral raw materials on the locality "Sasa"*, Municipality of Makedonska Kamenica. Kaltun Maddendzilik DOO Skopje, 137 p. + graphic attachments.

Janković, S., Milovanović, D. (1985): *Economic geology and basics of mineral resources economy*. Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 403 p. (in Serbian).

Serafimovski, T., and Alexandrov, M. (1995): *Lead and zinc deposits and occurances in the Republic of Macedonia*. Special edition of the Faculty of Mining and Geology, Shtip, No. 4, 387 p. (with extended summary in English).

Serafimovski, T., Aleksandrov, M., Tasev, G., Gjorgiev, L., Mitev, M. (2015): *Project for detailed geological explorations of mineral raw material - metallic mineral raw materials on the locality "Sasa" Makedonska Kamenica*. University "Goce Delčev", Faculty of Natural and Technical Sciences, Štip, 78 pages + attachments.

4. ПРОГРЕСИВНА ГЕОЛОГИЈА

Примена на ГИС

Геоинформатика

Математичка геокогија

Наногеологија

Медицинска Геологија

4-PG-01
UDC: 622.343.014:004.65(497.741)

THE ACCESS DATABASE FOR THE NORTHEASTERN PART OF THE CENTRAL PART ORE BODY AT THE BUČIM MINE, REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA

Dalibor Serafimovski[1], Goran Tasev[2], Todor Chekerovski[1]

[1]*Faculty of Electrical engineering, "Goce Delčev" University in Štip, North Macedonia*
[2]*Faculty of Natural and Technical Sciences, "Goce Delčev" University in Štip, North Macedonia*
dalibor.serafimovski@ugd.edu.mk

A b s t r a c t: Organization of the Access database of the Northeastern (NE) part of the Central Part Ore body within Bučim deposit, North Macedonia represents the first attempt of this paper authors to synthesize geological exploration data of this ore bearing locality in one professional database available for the interested parties. Ours experience in organization of similar databases for other metal deposits such are Zletovo, Borov Dol, Kadiica, Sasa etc., gave us the necessary knowledge and experience to construct quality Access database for the NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit. The Bučim has been classified as porphyry mineralization (0.3 % Cu, 0.3 – 0.5 ppm Au), which is spatially and temporarily associated with Tertiary subvolcanic intrusions of latitic and latitic-andesitic composition. The intrusions occurred during Oligo-Miocene time (24 to 27 Ma), a period of intensive tectono-magmatic and ore-forming processes. The whole array of major ore (hypogen) minerals was identified up to date: chalcopyrite, pyrite, magnetite, haematite, cubanite, valleriite, native Au and bornite, while sporadically occur chalcocite, covellite, tenorite, native Cu, malachite, azurite, calaverite, krennerite, electrum, petzite and bismuth±selenium minerals (bismuthinite, galenobismutite, krupkaite, friedrichite, emplectite, cosalite, laitakarite and native bismuth). This paper focuses on efforts we made to organize Microsoft Access database with the most representative data for this particular deposit in the Republic North Macedonia. At the very beginning, with the software package "Microsoft Access" we have organized database with information of the most important geological, metallogenic and economic features of the deposit. The database was adapted for simple and sophisticated querying of particular deposit features and allows edition of reports and a geographic display of the queried information. Major data that completed database for the NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit are: the deposit belongs to the famous Damjan–Bučim–Borov Dol ore district, it is at the industrial production stage under exploitation concession of the Solway company with proved reserves of 12.3 Mt of copper and gold with 0.229% Cu and 0.232 g/t Au, mineralization/rocks part of the database showed the mineralization age (relative 16.4 – 13.6 Ma; absolute 16 Ma) and host rock age (relative 28.4 – 23.03 Ma; absolute 27 Ma, K/Ar method) with main host lithology consisting of gneiss, andesite and latite, economic parameters were dominated by the fact that of proved mineral reserves of 12.3 Mt (as of 2020 and combined copper and gold metal potential of 28 219 t Cu and 2 860 kg Au), also on the comments section we stressed out that its metallogeny is related to Tertiary calk-alkaline magmatism (predominantly Oligocene) where mineralization is in gneiss, andesite and latite complex while ore bodies are of disseminated character.

Key words: NE part Central Part Ore body, Bučim deposit, Access database, reserves, economy

АКЦЕС БАЗА НА ПОДАТОЦИ ЗА СЕВЕРОИСТОЧНИОТ ДЕЛ ОД ЦЕНТРАЛНОТО РУДНОТО ТЕЛО ВО РУДНИКОТ БУЧИМ, СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

А п с т р а к т: Поставувањето на МС акцес база на податоци за северноисточниот дел на централниот дел на рудното тело во Бучим, Северна Македонија, претставува прв обид на авторите на овој труд да синтетизираат податоци за геолошко истражување на овој рударски локалитет во една професионална база на податоци достапна за сите заинтересирани страни. Нашето минато искуство во поставување на слични бази на податоци за други метални наоѓалишта како на пример Злетово, Боров Дол, Саса, Кадиица и сл. ни го дава потребното знаење и искуство за конструирање на квалитетна Акцес база на податоци за северноисточниот дел на централното рудно тело на рудникот Бучим. Бучим е класифициран како порфирска минерализација (0,3% Cu, 0,3 – 0,5 ppm Au), која е просторно и временски е поврзана со терцијарни субвулкански интрузии со латитски и латитски-андезитски состав. Интрузиите се случиле за време на Олиго-Миоцен (24 – 27 Ma), периодот на интензивни тектоно-магматски процеси проследени со процеси на формирање на руда. До денес е идентификуван целиот спектар на главни рудни минерали (хипогени): халкопирит, пирит, магнетит, хематит, кубанит, валерит, самородно злато и борнит, додека спорадично се појавуваат халкозин, ковелит, тенорит, самороден бакар, малахит, азурит, калаверит, кренерит, електрум, пецит и бизмут ± селен минерали(бизмутинит, галенобизмутит, крупкаит, фридрихит, емплектит, косалит, лаитакарит и самороден бизмут). Трудот се фокусира на напорите кои ги вложивме за креирање на МС Акцес база на податоци со најрепрезентативните информации за споменатото наоѓалиште во Република Македонија. На самиот почеток со помош на софтверскиот пакет МС Акцес, ја конструиравме базата на податоци со информации за најважните геолошки, металогенетски и економски карактеристи на ова лежиште. Базата на податоци е прилагодена за едноставно и софистицирано пребарување на специфични параметри од базата поврзани со наоѓалиштето и овозможува креирање на

извештаи и географски приказ на податоците од базата. Главните податоци кои ја комплетираа базата на податоци за северноисточниот дел на централното рудно тело во наоѓалиштето на Бучим се: наоѓалиштето припаѓа на познатото рудно подрачје Дамјан-Бучим-Боров Дол, се наоѓа во фаза на индустриско производство под концесија за експлоатација на компанијата "Солвеј" со докажани резерви од 12.Mt на бакар и злато со 0,229% Cu и 0,232 g/t Au, делот од базата на податоци за минерализација / карпи ја покажува староста на минерализацијата (релативна 16,4 – 13,6 Ma; апсолутна 16 Ma) и староста на карпата домаќин (релативна 28,4 – 23,03 Ma; апсолутна 27 Ma, метод K/Ar) со главна литологија на домаќинот составена од гнајс, андезит и латит, во економските параметри доминираше фактот дека докажаните минерални резерви од 12,3 Mt (заклучно со 2020 година и комбинираниот потенцијал на метали на бакар и злато од 28 219 t Cu и 2 860 kg Au), исто така на делот за коментари што го истакнавме дека неговата металогенија е поврзана со терцијарен теле-алкален магматизам (претежно олигоцен) каде минерализацијата е во гнајс, андезит и латит комплекс, додека рудните тела се од расеан карактер.

Клучни зборови: северноисточен дел; централно рудно тело; наоѓалиште Бучим; МС акцес база на податоци; резерви; економија

INTRODUCTION

The Bučim porphyry Cu deposit is located in the border area between the Serbo–Macedonian Massif (SMM) and the Vardar Zone (VZ). It is an integral part of the Bučim–Damjan–Borov Dol ore district located in the eastern part of the Republic of Macedonia. In terms of its metallogeny, it belongs to the Lece–Chalkidiki metallogenic zone (Serafimovski 1990), which is a part of the Alpine-Balkan–Carpathian–Dinarides metallogenetic belt (Heinrich and Neubauer 2002). The intrusions of the district belong to the Late Eocene – Oligocene magmatic zone (Harkovska et al. 1989), which cross cuts older tectonic structures (Schefer et al. 2011), and occurs within the Circum Rhodope unit according to the compilation map (Schmid et al. 2013). The Late Oligocene–Miocene intrusions are associated with both economic and uneconomic ore mineralization. Although the mine at Bučim has been known since ancient times, it was not explored in detail until the 1970's (Serafimovski et al. 2010). In terms of its output and ore reserves, it is a small porhyry deposit. Since 1979, 80 Mt of the 120 Mt estimated reserves (as mineral resources), have been mined, with a production dynamic of 4 000 000 tonnes ore annually and an average ore grade of 0.34% Cu and 0.35 g/t Au [Čifliganec 1993; Serafimovski et al. 1996; Serafimovski et al. 2010; Volkov et al. 2010). It should also be mentionned that this is characterristic of all porphyry deposits determined in the border area between the SMM and the VZ or the Lece–Chalkidiki zone. The deposit consists of four ore bodies, three of which are related to porphyry fingers and one is distinguished as a supergene mineralization (Čifliganec 1993).

Serafimovski and Boev 1996; Serafimovski et al. 2010; Volkov et al. 2010). The intrusions are of andesitic to trachy-andesitic composition with crystallization ages ranging between 27.5 and 24.9 Ma (K/Ar whole rock ages) [6, 7]. Various mineralogical and fluid inclusion studies have been undertaken in the district but only a limited amount of data related to the magmatic-hydrothermal history of the system have been published (Čifliganec 1993; Serafimovski and Boev 1996; Strashimirov et al. 1996; Serafimovski et al. 2010; Volkov et al. 2010).

Up to date, in the Republic North Macedonia there weren't professional databases that should be in accordance to the European directives, although there is an initiative in ours Ministry of Economy that such database(s) should be prepared and included in similar modern European databases (ex. BRGM Mineral database). Here we were aiming to organize databases with an information about some of the most representative NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit features, regarding natural issues. Bearing in mind that the Bučim deposit has a long history of exploration, we knew that building aforementioned database is not an easy task to fulfill. We had to systematize data from exploration longer than five decades. Organization of the Access database was carried out under several main topics, which are in accordance with the GIS related mineral databases principles given elsewhere (Goodchild and Dopal 1989; Harris et al. 2001; Cassard and Itard 2003; Itard et al. 2002; Barnett and Williams 2006; Vuollo et al. 2010).

DISCUSSION

The particular mineral database itself was structured under the main topics:

General information where has been enclosed information about the mining company, status, latitude/longitude, ore district name, comments etc. (Figure 1). For example on our sample of the NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit we gave an accent that it is an operating mine/ deposit with certain potentials in regards to copper-gold and some other associated metals (Ag, Cd, Pb, Zn ....).

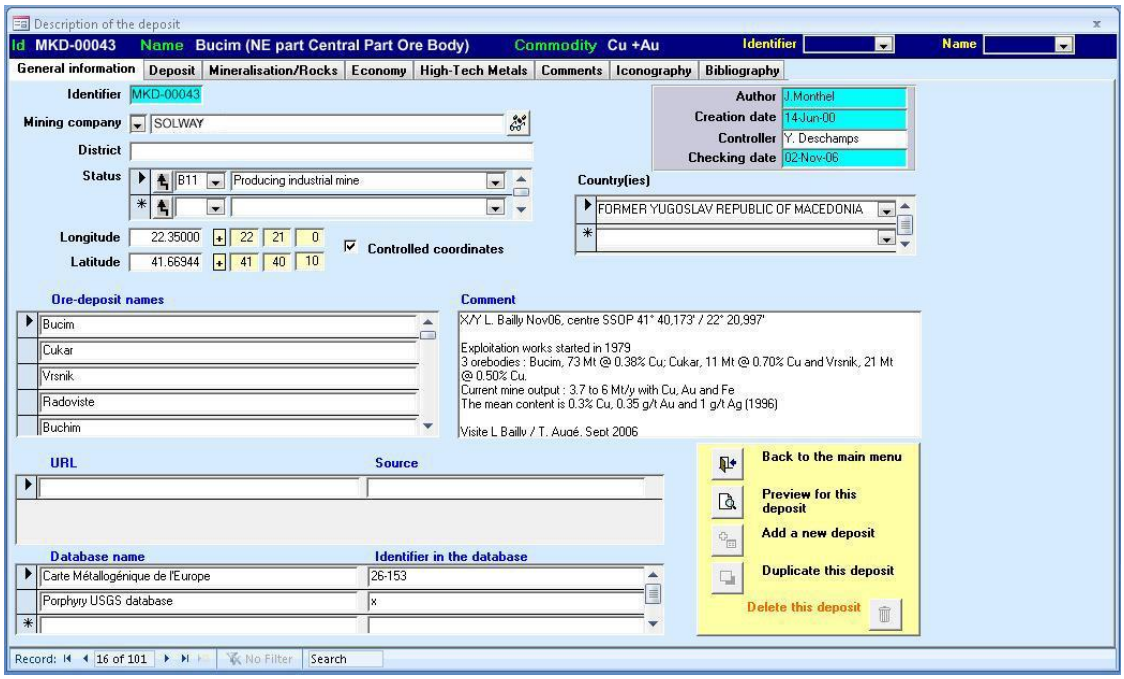


Fig. 1. General information datasheet of the database

That information was followed by detailed coordinates and name of the exploration concession owner, as well as familiar names used by locals for the locality and short general comments.

Deposit features sheet is organized in a manner that should be given details about the parameters: deposit type, main morphology and secondary morphology (Figure 2). On our example deposit, NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit/mine, we have entered data about the deposit's combined type where we have pointed out its porphyry Cu-Au to polymetallic type sometimes followed by secondary Cu-sulphide (cementation zone) morphologies.

Mineralization/Rocks data sheet usually should contain data about age (supposed and absolute), ore mineralogy, gangue mineralogy, hydrothermal alteration, host rock (age supposed/absolute, host rock formation, name and lithology). All of them being grouped into separate main window (Figure 3).

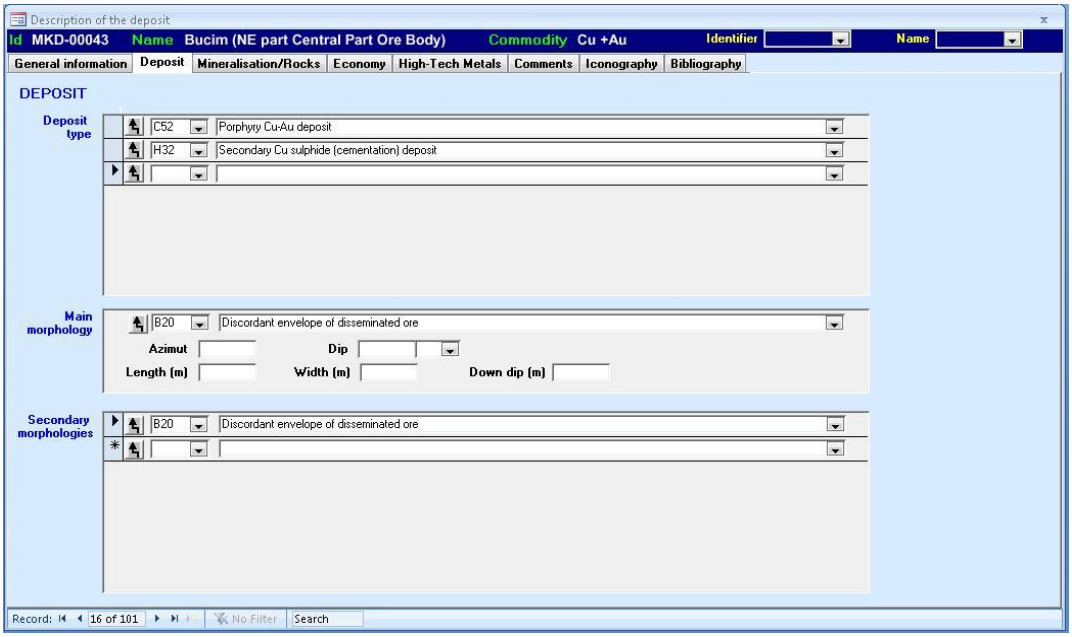


Fig. 2. Deposit features datasheet of the database

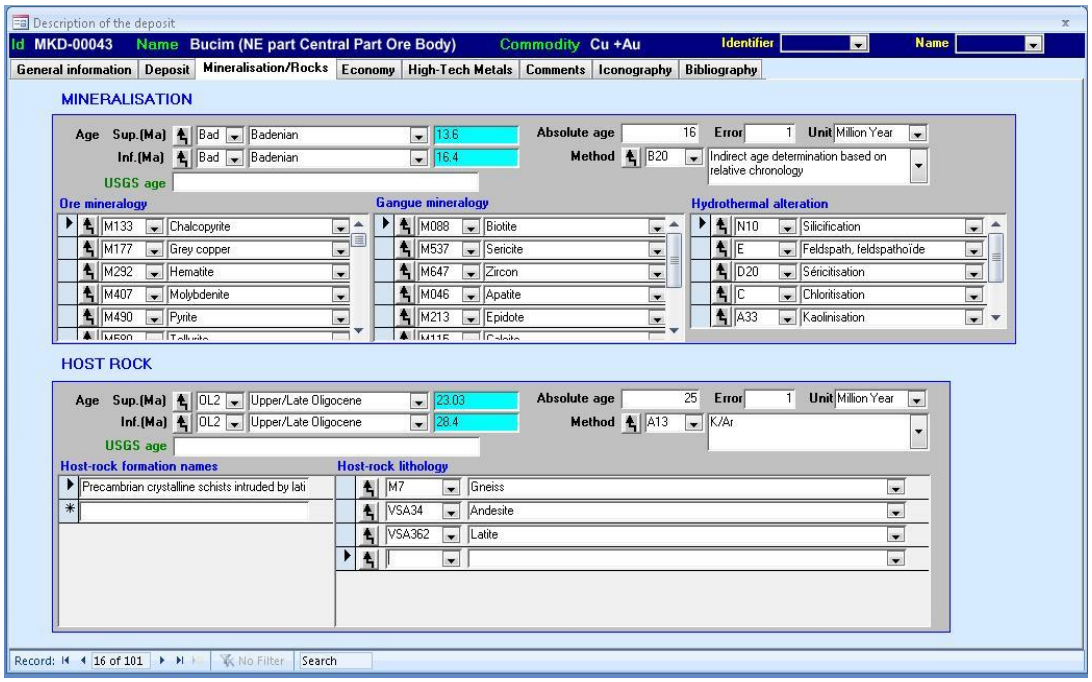


Fig. 3. Mineralization-rocks information datasheet of the database

This part of the database was filled with a significant amount of data regarding the minerali-zation age (relative 16.4 – 13.6 Ma; absolute 16 Ma), ore mineralogy (chalcopyrite, pyrite, magnetite, haematite, cubanite, valleriite, native Au, born-ite chalcocite, etc.), gangue mineralogy (biotite, sericite, zircon, apatite, quartz etc.) and diverse hydrothermal alterations (silicification, K-feldspar, sericitization, chloritization, kaolinization etc.). After that the database was enriched with an information about the host rock age (relative 28.4 – 23.03 Ma; absolute 27 Ma, K/Ar method) and host rock lithology (mainly gneiss, andesite and latite).

Economy data sheet provides an information about ore type, grade unit, former production, average grade of production, years of exploitation, reserves, average grade, type of reserves, resources, average grade of resources, type of resources organized in windows named exploitation type and main commodity/commodities (Figure 4).

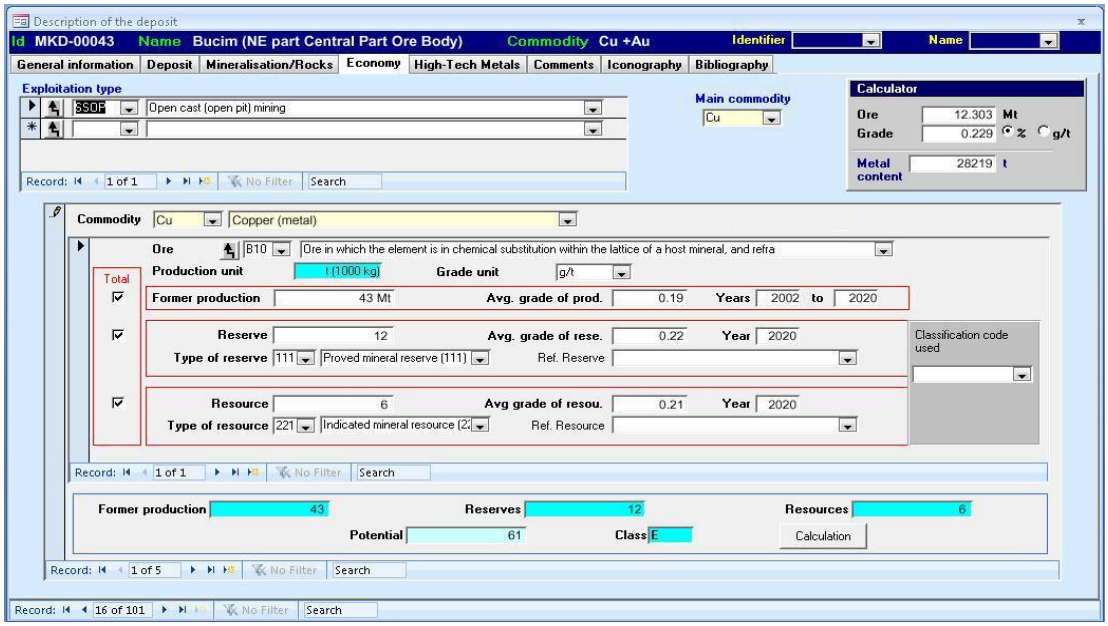


Fig. 4. Economy information datasheet of the database

So, here for the NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit/mine, was given information about the operating status of exploitation type where the main commodities, copper and gold, are represented by primary sulfide ore (complex sulfides, sulphosalts etc.).

Also, reserves has been quoted as 43 Mt of former production, proved mineral reserves of 12.3 Mt (as of 2020 with 0.229% Cu and gold with 0.223 g/t Au) followed by data about additional commodities (Ag, Cd) given as separate records within this datasheet (metal production, not the raw ore).

High-Tech Metals data sheet was divided into two different windows, which have been established in order to characterize (i) Potential of specific commodities or capacities (ii) where the anthropogenic products are processed. To characterize High-Tech metals, user has to enter a commodity (ex. Re, Se, Ga…), and then he will be able to give information about host minerals (e.g. molybdenite), grades (i.e. minimum, maximum and average grade) and abundance of host minerals in the ore. The right window give information about processing site(s) (e.g. concentrator, mill, smelter…). Due to nature of exploitation of the NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit/mine (still major metals /Cu and Au/ are the only ones obtained from the deposit), we haven't entered any additional data regarding this information sheet of the database.

Comments sheet, which is composed of two windows where it is possible to write free texts describing details about geology and/or details about economy of a particular deposit gives a fine opportunity to describe particular deposit in more details (Figure 5). Here we have entered extensive free text data about the detailed geological and mineralization features of the deposit, not mentioned elsewhere in the database (Figure 5).

Here we accented that the NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit/mine is relatively old mine with its specific geology. Also, here we stressed out that its metallogeny is related to tertiary calk-alkaline magmatism (predominantly Oligocene) where mineralisation is in relation to the host lithology consisting of gneiss, andesite and latite.

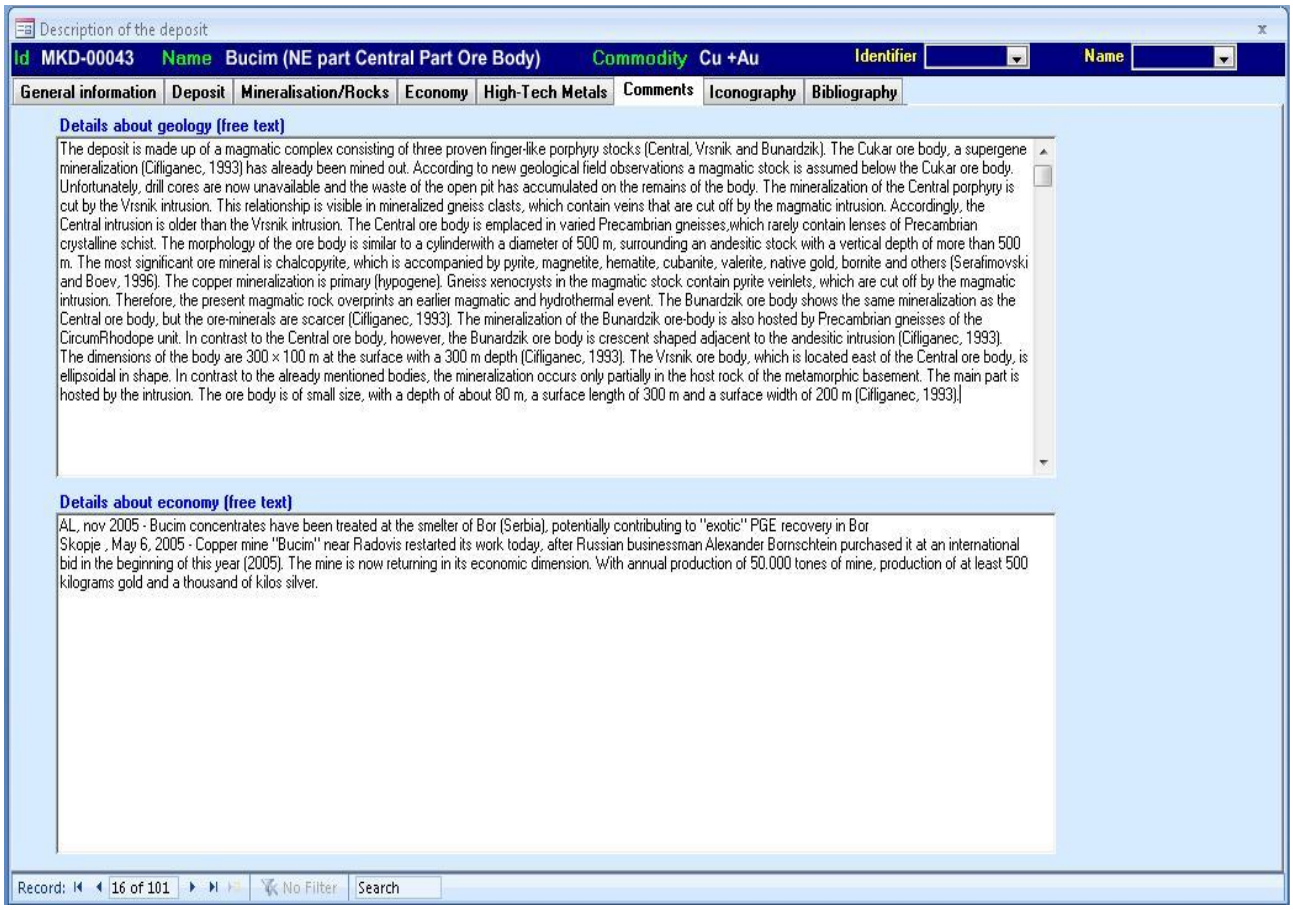


Fig. 5. Comments information datasheet of the database

In the lower window were given details on the economical aspect of the mine such were total reserves, excavated and remaining ones. Economic parameters were dominated by the fact that proved mineral reserves of 12.3 Mt are having copper and gold concentration of 0.229% Cu and 0.223 g/t Au.

Iconography sheet has been elaborated in order to attach images with a deposit. The first step being definition of paths of the image directory and the image viewer (e.g. Photo Editor, Windows picture viewer, Picasa..) by clicking on "Configuration" button.

Bibliography data sheet for particular deposits was intended to give an overview of geological bibliography (references relating to the geology of the deposit) and economical bibliography (references relating to deposit's economic data) as can be seen at Figure 6.

For the NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit/mine, we made significant input in regards to both types of bibliography, geological and economical ones. All the known and commonly used references to this particular deposit have been covered in this data sheet.

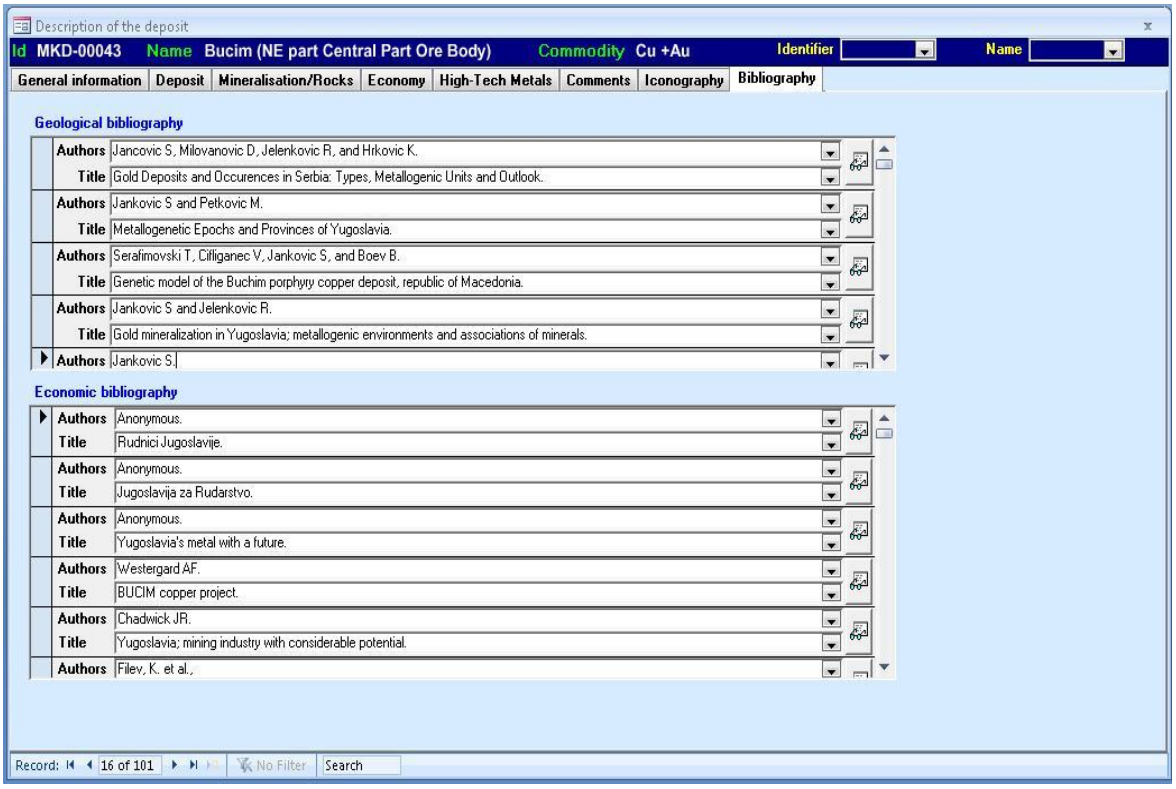


Fig. 6. Bibliography information datasheet of the database

CONCLUSION

For the purposes of building the Access database for the NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit/mine we kept in mind its major accents in the qualitative-quantitative parameters and natural indicators in function to present and future valorization of metals that were subject to the establishment of the database, in accordance with professional mineral databases, as well as economic viability of the particular ore elements in the near future bearing in mind the complex and variable nature of market and prices of copper concentration given in the particular Access database. The major findings and accents were that the NE part of the Central Part Ore body within Bučim deposit/mine is at the advanced stage of exploitation with certain copper and gold potentials complemented by eventual by-products such are Ag, Fe etc. Certain parts of the database showed the mineralization age of 16 Ma with host rock age around 27 Ma (K/Ar method) where the main host lithology consists of gneiss, andesite and latite. From the economic point of view were accented proved mineral reserves of 12.3 Mt (with 0.229% Cu and .223 g/t Au) while in the regards of metallogeny was stressed out that it is related to Tertiary calk-alkaline magmatism (predominantly Oligocene).

REFERENCES

Serafimovski, T. (1990): *Metallogeny of the Lece-Chalkidiki zone* – in Macedonian. Ph.D. thesis, Faculty of Mining and Geology, Stip, 390 p.

Heinrich, C.A. & Neubauer, F. (2002): Cu–Au–Pb–Zn–Ag metallogeny of the Alpine–Balkan–Carpathian–Dinaride geodynamic province. *Min. Dep*., **37**, 533–540.

Harkovska, A., Yanev, Y. & Marchev, P. (1989): General features of the Paleogene orogenic magmatism in Bulgaria. *Geol. Balc*., **19**, 37–72.

Schefer, S., Cvetkovic, Fügenschuh, B., Kounov, A., Ovtcharova, M., Schaltegger, U. & Schmid, S. M. (2011): Cenozoic granitoids in the Dinarides of southern Serbia: age of intrusion, isotope geochemistry, exhumation history and significance for the geodynamic evolution of the Balkan Peninsula. *Int. J. Earth Sci*., **100**, 1181–1206.

Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Kounov, A., Oberhänsli, R., Schefer, S., Van Hinsbergen, D. & Ustaszewski, K. (2013): Similarities and differences between Alps Carpathians. Dinarides–Hellenides and Anatolides–Taurides. *EGU*, **15**, 3525.

Serafimovski, T., Stefanova, V. & Volkov, A. V. (2010): Dwarf copper–gold porphyry deposits of the Bučim–Damjan–Borov Dol ore district, Republic of Macedonia (FYROM). *Geol. Ore Dep*. **52**, 179–195.

Čifliganec, V. (1993): *Copper Mineralization in the Republic of Macedonia: Types and Distribution Patterns* (In Macedonian with extended summary in English). University "Sts. Cyril and Methodius" Skopje, Faculty of Mining and Geology, Štip, Spec. Issue, **1**, 303 p.

Serafimovski, T., Čifliganec, V., Janković, S. & Boev, B. (1996): Genetic Model of the Bučim Porphyry Copper Deposit, R. Macedonia. In: *Proceedings of the Annual Meeting*, UNESCO-IGCP Project 356, Sofia, **1**, 63–75.

Volkov, A., Serafimovski, T. & Stefanova, V. (2010): Formation Mechanism of Dwarfish Cu-Au Porphyry Deposits of Macedonia. Dokl. Earth Sci. **431** (5), 649–655.

Serafimovski, T. & Boev, B. (1996): Metallogeny of the Kratovo-Zletovo volcano-intrusive complex. *Terranes of Serbia*, **356**, 347–352.

Strashimirov, Str., Serafimovski, T. & Kovachev, V. (1996): Temperatures of the Ore-forming Processes in the Bučim Porphyry Copper Deposit (Macedonia): Data from Fluid Inclusion Studies. *Geol. Ore Dep*., Moscow, **38** (4), 373–377.

Albert, J. H., and Rossman, A. J. (2001): Workshop statistics: Discovery withdata, a Bayesian approach: Emeryville, Key College Publishing, 350 p.

Barnett, C.T., and Williams, P. M. (2006). Mineral exploration using modern data mining techniques: *Society of Economic Geologists, Special Publication*, **12**, pp. 295–310.

Cassard, D. and Itard, Y. (2003): Metallogenic and envi-ronmental information systems: A modern tool forthe sustainable development of mineral resources. In: Mineral resource base of the Southern Caucasus and sys-tems for its management in the XXI century, NATO Science Series, IV. *Earth and Environmental Sciences*, **17**, 167–180.

Goodchild, M. and Dopal, S. (1989): *Accuracy of spatial databases.* Taylor & Francis, London.

Harris, J. R., Wilkinson, L., Heather, K., Fumerton, S., Bernier, M.A., Ayer, J. and Dahn, R. (2001): Application of GIS processing techniques for producingmineral prospectivity maps-a case study: mesother-mal Au in the Wayze Greenstone Belt, Ontario, Canada. *Natural Resources Research*, **10**, 91–124.

Itard, Y., Geiller, M., Cassard, D. and Lips, A. L. W. (2002): Environmental dimension of a regional metallogenic synthesis: a way towards a sustainable extractive industry. GIS in Geology. *Int. Conference, Vernadsky SGM RAS, November 13–15, 2002, Moscow*, Extended abstracts volume, 51–53.

Vuollo, J., Cassard, D., Simons, B. and Seymon, A., (2010): The Earth resource data exchange model (Earth Resource ML) – a tool for delivering ProMine and INSPIRE mineral resource data: *INSPIRE Conference 2010 Presentation, Krakow, Poland*, 37 p.

4-PG-02
UDC: 553.26:[550.81:519.23(497.7)

РЕЗУЛТАТИ ОД РЕГИОНАЛНИТЕ ПРОСПЕКЦИСКИ ИСТРАЖУВАЊА НА ДЕЛ ОД ТЕРИТОРИЈАТА НА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

Александар Буов, Анета Ристовска

‚Геолошки завод на Република Северна Македонија,
Палата „Емануел Чучков„ Ул. „Бихачка“ бр. 2, 1000 Скопје, Република Северна Македонија,
aleksandar.buov@geol.gov.mk // aneta.ristovska@geol.gov.mk

А п с т р а к т: Во трудот, на пример за U и Th е прикажана статистичката обработка на податоци кои се добиени од лабораториските анализи на претходно земаните секундарни ореоли на расејување на минерални компоненти во три региона од Македонија. Прикажувањето на нивната просторна дистрибуција е прикажана на топографска и геолошка основа. На сличен начин статистички и графички можат да се обработат податоците и за останатите 51 елемент, за колку е и извршена хемиска анализа. Th-от и U-от во овој труд се обработуваат од аспект на нивно присуство како непосакувани и штетни компоненти во минерална суровина наменета за употреба во градежништвото (технички градежен камен, песок и чакал).

Клучни зборови: статистичка обработка, секундарни ореоли, минерални компоненти, Th - торium, U - ураниум, градежништво.

RESULTS FROM THE REGIONAL PROSPECTIVE RESEARCH PART OF THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA

A b s t r a c t: In this scientific work, as an example for U and Th is shown statistical processing of data which are derived from laboratory analysis of previously acquired secondary halos of dissemination of mineral components in three regions of the Republic of North Macedonia. The showcase of their spatial distribution is shown in topographical and geological basis. Similarly, the data can be processed statistically and graphically for all of the other 51 elements, for which the chemical analysis has been done. The Th and U in this scientific work are processed of an aspect of their presence of unwanted or hazardous components in mineral raw materials intended for use in construction (technical rock, sand and gravel)

Key words: statistical processing, secondary halos, mineral components, Th – torij, U – uranium, construction

ВОВЕД

Со зголемената заинтересираност за побарување на концесии за експлоатација на градежно-технички камен, песок и чакал од страна на приватниот бизнис-сектор од една страна и постоечкиот правилник за класификација и категоризација на цврсти минерални суровини и водење евиденција за нив Сл. Весник 53/79 од друга страна, се стварат услови за користење на минерална суровина во градежништвото која во текот на нејзината експлоатација и примена може да предизвика несакани дејствија и последици.

Со статистичката обработка на податоците од спроведени регионални геолошки истражувања, каде во три региона е применета геохемиска метода на BLEG и Stream седименти, е овозможено да се врши различни видови на проценка и издвојување на простори со различен потенцијал за постоене на минералошки или рудни појави кои се носители на хемиски елементи, а со тоа и потенцијални простори за тие минерални суровини.

Од повеќето можности за добивање на суштествени информации за постоењето и дистрибуцијата на лабораториски анализираните елементи во земјината кора во овој труд се прикажува, како таквите истражувања и анализи можат да послужат при ограничувањето на изборот за користење на минерална суровина „технички градежен камен, песок и чакал“) кои потекнуваат од литолошки средини во кои реално постои опасност од присуство на зголемени концентрации на радиоактивни елементи.

Општо прифатено е дека природната радиоактивност од Земјината кора потекнува од

распаѓањето на радиоактивните елементи и тоа првенствено од членовите на ураниумовата иториумовата низа на радиоактивни елементи кои се настанати во процесите на постанокот на карпите, нивната преобразба и распаѓање.

Генерално во Земјината кора концентрацијата на ураниумот иториумот се движи од 1,1 до 10 ppm за ураниумот (U) и околу 10 ppm заториумот (Th). Овие концентрации одговараат на концентрација за активност од 13,5 – 123 Bq/kg за ^{238}U и 39.4 Bq/kg за ^{232}Th (Радмиловиќ, 1995).

Со геостатистичка анализа на податоците кои се добиени од регионалните проспекциски истражувања, во овој туд е извршено издвојувањето на потенцијални зони и литолошки носители на зголемени концентрации на радиоактивни елементи Th и U.

Статистичката обработка и просторното прикажување на дистрибуцијата на елементите (во овој случај на Th и U), овозможи да се издвојат простори во кои може да се очекува зголемени концентрации на радиоактивни елементи. Со таквото сознание, доколку во тие простори постои интерес и услови за добивање на концесија за експлоатација на минерална суровина „градежен технички камен“, се наметнува потребата дека за определување на квалитетот на минералната суровина, покрај стандардните истражувања и испитувања кои се предвидени во правилникот од Сл. Весник 53/79, потребна е и изработка на радиометриски испитувања.

Со таквиот пристап при истражувањето на минералната суровина, можно е да се изврши компарација помеѓу максимално дозволените количини на емисија на радионуклеиди во единица време и реалното присуство на радиоактивни елементи во минералната суровина.

ПРИМЕНЕТИ МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЊЕ И МЕТОДОЛОГИЈА НА ОБРАБОТКА НА ПОДАТОЦИ ДОБИЕНИ ОД НИВ

Во поглед на реалното прогнозирање и определување на перспективни простори за можно постоење од зголемена концентрација на елементи кои можат да претставуваат минерални суровини, геохемиските методи „BLEG и Stream седименти“ се ценат за високо доверливи истражувачки методи за ниво (фаза на истражување) на регионални геолошки истражувања.

Во изминатиот период од 2015 до 2017 год. од страна на две странски компании („Резервоар минералс Македонија“ ДООЕЛ Скопје и Калтун Мадденцилик ДОО Скопје), на вкупна површина од 6947 km^2 (Слика 1), се извршени регионални геолошки истражувања во три региона во источните и југо-источните делови од Македонија.

Во текот на геолошките истражувања земени се 532 проби за BLEG и Stream седименти и истите се анализирани на 53 елемента (Табела 1).

Т а б е л а 1

Преглед на земени проби по региони и компании

Регион	Компанија изведувач на геолошки истражувања	Број на проби
1	Резервоар минералс Македонија, ДООЕЛ	168
2	Резервоар минералс Македонија, ДООЕЛ	190
3	Калтун Мадденцилик ДОО Скопје	174

Пробите за BLEG и Stream седименти се земани во дното на сливните подрачја и истите ги репрезентират секундарните ореоли на расејување од минералните компоненти кои произлегуваат и се составен дел на литолошката содржина на тоа сливно подрачје, а се со пространство од 8 до 12 km^2.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Добиените резултати од спорведените теренски и лабораториски истражувања и испитувања, истражувачките компании ги имаат искористено за постигнување на своите цели, но во исто време елаборатите во кои се прикажани резултатите од спроведените геолошки истражувања и лабораториски испитувања се доставени на државниот органи (Геолошки завод на Република Македонија) кој понатаму може истите да ги користи во цели и надлежности кои произлегуваат од Законот за Геолошки завод на Република Македонија, (Член 4). Во тој смисол и се користени податоците од тие регионални истражувања за издвојување на зони со зголемени концентрации на радиоактивни нуклеиди.

За хемиска анализа на пробите применети се масена спектрометрија со индуктивно сврзана плазма (ICP – MS) и атомска абсорбциона спектрометрија (AAS).

Статистичката обработка на елементите е изведена со помош на програмот Excel (дескриптивна статистика) како и други статистички функции кои можат да се обработуваат во него.

За статистичка обработка на добиените податоци е креирана табела 2, и тоа за секој регион посебно. Со помош на EXCEL и во него креираната табела бр. 2 се добиваат параметри за: број на елементи, средна аритметичка вредност, централна вредност на низата, најчесто повторуваните елементи, максимум, минимум, ранг, варијанса, стандардна девијација, коефициент на варијација, локален фон на елементот, долен праг на аномална вредност, критичен праг на аномална вредност, коефициент на варијација и коефициент на корелативна зависност на елементите.

Т а б е л а 2

Шематски приказ на земени проби и анализирани елементи

Име на проба	Координата Y	Координата X	Au	Ag	Al	…. 49 елементи	Zr
P1B_001							
P1B_002							
…n							
P1B_168							

Статистичката обработка на резултатите е изведена посебно за секој регион, со можност за интегрално прикажување и графичка интерпретација на резултатите од трите региона со помош на ArcMap.

Локален фон на елементот кој се анализира, е пресметан како средна пондерисана вредност од средно аритметичките вредности на најчесто застапената класа и нејзините две соседни класи (Табела 3).

$$L_{fon} = \frac{A * f_{max} + B * f_{max-1} + C * f_{max+1}}{f_{max} + f_{max-1} + f_{max+1}}$$

каде што:

A – класа со најголема фрекфенција,

B – лево соседна класа на „А“ класата,

C – десно соседна класа на „А“ класата,

f – фрекфенција на појавување на класата

Долен праг на првата аномална вредност е пресметан како збир од локалниот фон на елементот во регионот и една стандардна девиација.

$$PAV_1 = L_{fon} + SD$$

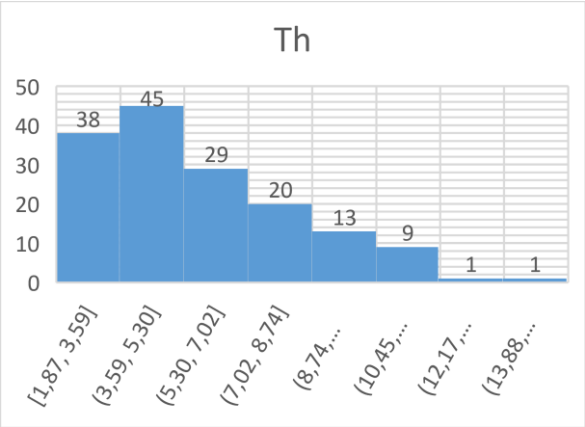
Критичен праг на аномална вредност е пресметуван како збир од локалниот фон на елементот во регионот и две стандардни девијации.

$$PAV_{kr} = L_{fon} + 2SD$$

Т а б е л а 3

Основни статистистички параметри за Th од регион 2

Дескриптивни статистички карактеристики за Th	Регион 2
Mean	5,77984
Standard Eror	0,21763
Mode	7,41
Standard Deviatic	2,71816
Sample Variance	7,38837
Kurtosis	0,38173
Skewness	0,87628
Range	13,73
Min	1,87
Max.	15,6
Sum.	901,655
Count	156



Сл. 1. Хистограм на класи и фрекфенција на појавување на Th во регион 2

Статистичка обработка на податоците за Th од регионот „Ветрен“ (регион 2)

Бројот на класите се дефинира преку формулата $K = 1 + 3{,}2 \cdot \log(N)$ и тој број за 156 елементи изнесува 8.

Интервалот за класите и фрекфенцијата на појавување на елементите во тој интервал се отчитува од столбчестиот хистограм (слика 1) кој се добива во Excel или емпириски преку формулата:

$$I = \frac{Range}{k}$$

каде што: I –интервал на класа, k – број на класи.

Пресметката на локалниот фон за Th во регионот *„Ветрен“* (регион 2) се пресметува како средна пондерисана вредност на класата од најчесто повторуваните елементи во низата и нејзините соседни класи (табела 4).

$$L_{fon(Th)} = \frac{A*f_{max}+B*f_{max-1}+C*f_{max+1}}{f_{max}+f_{max-1}+f_{max+1}}$$
$$=\frac{4.445*45+2.73*38+6.16*29}{112} = 4.31_{pmp}$$

каде што:

A; B и C се средни аритметички вредностти на класите 1; 2 и 3 (SAV) Табела 4

Т а б е л а 4

Класи на Th и нивно фрекфентно повторување

Број на класа за Th	Интервал		SAV	Фреквенција
1	1,87	3,59	2,73	38
2	3,59	5,30	4,45	45
3	5,30	7,02	6,16	29
4	7,02	8,74	7,88	20
5	8,74	10,45	9,60	13
6	10,45	12,17	11,31	9
7	12,17	13,88	13,03	1
8	13,88	15,8	14,74	1

Долен праг на аномална вердност се усвојува да биде $L_{fon(Th)} + SD = PAV_1$.

$$PAV_1 = 7.03 \approx 7 \text{ ppm}$$

каде што PAV_1 е долен праг на аномална вредност.

Коефициентот на вариација $\mathcal{V} = \frac{SD}{M} = 0{,}47$

Критичен праг, над кој постои опасност од постоење на контаминирана нискорадиоактивна минерална суровина (технички градежен камен, песок и чакал), и заради што при евентуалната нивна експлоатација е потребно да се извршат дополнителни испитувања на минералната суровина за определување на min дозволени количини на радиоактивни елементи е:

$$PAV_{kr} = L_{fon(Th)} + 2\ SD$$

$$PAV_{kr} = 9.74 \approx 10 \text{ ppm}$$

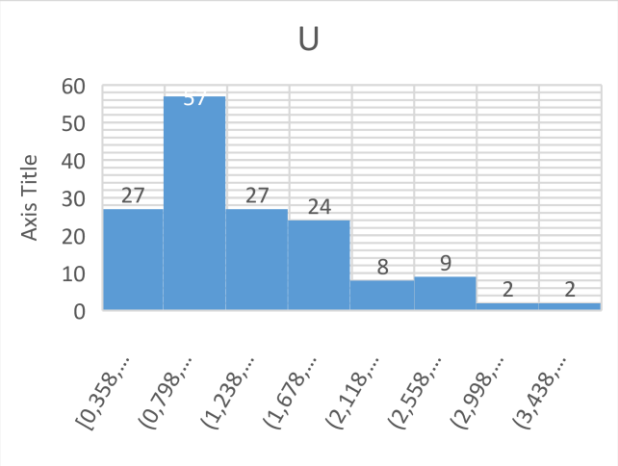
каде што PAV_{kr} е критичен праг на аномална вредност

Статистичка обработка на податоците за U од регионот „Ветрен“ (регион 2)

Т а б е л а 5

Основни статистистички мерки

Дескриптивни статистички карактеристики за U	Регион 2
Mean	1,38311
Standard Eror	
Mode	
Standard Deviatic	0,67858
Sample Variance	0,46047
Kurtosis	0,80026
Skewness	1,06294
Range	3,252
Min.	0,358
Max.	0,61
Sum.	215,765
Count	156



Сл. 2. Хистограм на класи и фрекфенција на појавување на U во регион 2

Т а б е л а 6

Класи на U и нивно фрекфентно повторување

Број на класа за U	Интервал		SAV	Фреквенција
1	0,358	0,798	0,578	27
2	0,798	1,238	1,018	57
3	1.238	1.678	1.459	27
4	2,118	2,558	1,898	24
5	2,118	2,558	2,338	8
6	2,558	2,998	2,778	9
7	2,998	3,438	3,218	2
8	3,438	3,878	3,658	2

Локален фон на U во регион 2 (Ветрен):

$$L_{fon(U)} = 1{,}018 \text{ ppm},$$

Долен праг на аномална вердност:

$$PAV_1 \approx 2 \text{ ppm},$$

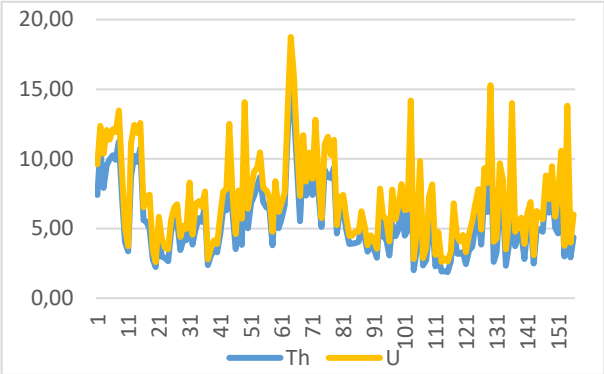
Коефициентот на вариација

$$\mathcal{V} = \frac{SD}{M} = 0{,}49$$

Критичен праг на аномална вредност

$$PAV_{kr} \approx 2.4 \text{ ppm}$$

Корелативната зависност помеѓу Th и U е пресметана како Pearso-ов коефициент на корелација и тој за Th и U во регионот 2 (Ветрен) изнесува 0,7 а исто така нивната зависност е прикажана и со графикон (Слика 3).



Сл. 3. Корелација меѓу Th и U

За другите два региона извршена е иста пресметка на променливите параметри кои статистички ја дефинираат дисперзијата на секундарните ореоли на расејување.

Т а б е л а 7

*Основни статистички параметри за **U** кои ја дефинират дисперзијата на секундарните ореоли на расејување во регионите 1; 2 и 3*

	Лит. податок	Реон 1	Реон 2	Реон 3
Гранити	4,5	1,24 (меана) 3,64 (критична)	1,38 (меана) 2,41 (критична)	4,68 (меана) 9,75 (критична)
Алкални гранити	6			
Плагиогранити	2,7			
Кварц-диорити	2,1			
Диорити	1,8			
Дацити	2,5			
Риолити	4,0			
Габро-дијабази	0,6			
Перилотити	0,03			
Седиментни комплекс	2 – 3			
Гранитен комплекс и метаморфити	4 – 5			
Диорити и метаморфити	1 – 2			
Гранулит – базалтен слој	0,1 – 1			

Т а б е л а 8

Дескриптивни статистички карактеристики за Th и U во региони 1, 2 и 3

	Th			U		
	Регион 1	Регион 2	Регион 3	Регион 1	Регион 2	Регион 3
Mean	4,635	5,779	16,828	1,241	1,383	4,678
Standard error	0,223	0,217	0,663	0,106	0,054	0,262
Median	4,665	5,085	15,000	0,743	1,175	4,000
Mode	3,010	7,410	13,000	0,530	1,075	1,000
Standard deviation	2,295	2,718	8,750	1,386	0,678	3,462
Simple Variance	8,555	7,388	76,560	1,922	0,460	11,988
Kurtosis	1,090	0,382	14,981	9,894	0,800	1,854
Skewness	0,716	0,876	2,812	2,802	1,063	1,146
Rang	16,756	13,730	78,000	8,931	3,252	19,000
Min.	0,140	1,870	1,000	0,039	0,358	1,000
Max	16,900	15,600	79,000	8,970	3,610	20,000
Sum	797,187	901,655	2928,000	213,526	215,765	814,000
Count	172	156	174	172	156	144
Број на класи	8	8	8	8	8	8
Интервал на класа	2,090	1,700	9,750	1,100	0,410	2,370
Коефициент на вариација	0,630	0,470	0,510	1,100	0,490	0,740
Локален фон	5,270	4,310	15,140	0,870	1,018	2,820
Долен праг на AV	8,000	7,000	23,900	2,250	2,000	6,290
Критичен праг на AV	11,000	10,000	32,650	3,640	2,410	9,750

Т а б е л а 9

Коефициент на корелација помеѓу истражуваните елементи во регионот 2 (Ветрен)

	Au	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	Hg	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Pd	Pt	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
Au	1																																																					
Ag	0,5	1																																																				
Al	0,1	0,3	1																																																			
As	0,5	0,4	0,0	1																									0,5	Nagovestena korelacija																									
B	0,0	0,0	0,0	0,0	1																								0,6	Slaba korelacija																									
Ba	0,2	0,2	0,4	0,2	0,0	1																							0,7	Izrazena korelacija																									
Be	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,5	1																						0,8	Jako izrazena korelacija																									
Bi	0,4	0,8	0,1	0,3	0,0	0,0	0,3	1																					0,9	Apsolutna korelacija																									
Ca	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	0,1	1																																													
Cd	0,5	0,9	0,3	0,4	0,0	0,2	0,2	0,8	0,1	1																																												
Ce	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,6	0,1	-0,1	0,1	1																																											
Co	0,2	0,4	0,5	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,4	0,0	1																																										
Cr	0,2	0,3	0,8	0,1	0,0	0,4	0,2	0,1	0,0	0,4	-0,1	0,5	1																																									
Cs	0,1	0,0	-0,1	0,4	0,0	0,1	0,4	0,1	-0,1	0,0	0,6	-0,1	-0,2	1																																									
Cu	0,4	0,8	0,6	0,2	0,0	0,2	0,1	0,7	0,1	0,8	-0,1	0,5	0,6	-0,2	1																																								
Fe	0,3	0,6	0,8	0,3	0,0	0,4	0,3	0,3	0,1	0,6	0,1	0,5	0,8	-0,1	0,8	1																																								
Ga	0,2	0,4	0,9	0,0	0,0	0,4	0,4	0,2	0,0	0,4	0,2	0,4	0,7	0,1	0,6	0,8	1																																								
Ge	0,1	0,2	0,4	0,0	0,0	0,2	0,5	0,2	-0,1	0,2	0,6	0,1	0,1	0,5	0,1	0,3	0,6	1																																								
Hf	0,3	0,4	0,4	0,4	0,0	0,3	0,4	0,4	0,1	0,5	0,3	0,5	0,5	0,0	0,4	0,6	0,4	0,1	1																																							
Hg	0,2	0,3	0,2	0,4	0,0	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,4	0,0	0,2	0,3	0,1	0,0	0,4	1																																						
In	0,5	0,9	0,2	0,3	0,0	0,1	0,2	0,8	0,0	0,9	0,1	0,3	0,3	0,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,4	0,1	1																																					
K	-0,1	-0,1	0,4	-0,2	0,0	0,4	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1	0,4	0,6	-0,3	-0,2	-0,1	1																																			
La	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	1																																		
Li	0,1	0,1	0,5	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,0	0,2	0,0	1																																	
Mg	0,1	0,2	0,8	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,3	0,2	-0,2	0,4	0,8	-0,3	0,5	0,7	0,7	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3	-0,1	0,4	1																																
Mn	0,4	0,5	0,5	0,4	0,0	0,5	0,5	0,3	0,1	0,6	0,4	0,4	0,6	0,1	0,5	0,8	0,6	0,3	0,7	0,4	0,5	-0,1	-0,1	0,3	0,4	1																														
Mo	0,4	0,2	0,1	0,5	0,0	0,5	0,6	0,3	0,3	0,2	0,4	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,3	0,1	0,4	1																													
Na	0,3	0,3	0,6	0,3	0,0	0,6	0,5	0,2	0,4	0,4	0,2	0,4	0,6	0,1	0,4	0,6	0,6	0,3	0,5	0,3	0,3	0,1	-0,1	0,4	0,6	0,6	0,4	1																												
Nb	-0,1	-0,2	0,2	-0,3	0,0	0,1	0,4	0,0	-0,2	-0,2	0,4	0,0	0,0	0,3	-0,2	-0,1	0,3	0,3	0,0	-0,2	-0,1	0,5	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	1																											
Ni	0,2	0,3	0,7	0,1	0,0	0,3	0,0	0,1	0,2	0,2	-0,1	0,4	0,7	-0,2	0,6	0,7	0,6	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	-0,1	0,6	0,7	0,4	0,2	0,4	0,0	1																										
P	0,1	0,2	0,4	0,1	0,0	0,3	0,2	0,0	0,1	0,1	-0,1	0,1	0,3	0,0	0,3	0,5	0,4	0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	-0,1	0,2	0,4	0,2	0,1	0,4	-0,1	0,4	1																								
Pb	0,3	0,5	0,0	0,3	0,0	0,1	0,3	0,5	0,1	0,6	0,4	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,5	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,3	0,2	0,2	0,0	-0,1	-0,1	1																								
Pd	0,0	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	1																						
Pt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1																					
Rb	-0,1	-0,1	0,3	-0,2	0,0	0,2	0,3	0,0	-0,1	-0,2	0,2	-0,1	0,0	0,4	-0,1	0,0	0,3	0,6	-0,3	-0,2	-0,1	0,9	0,0	0,2	0,1	-0,2	0,1	0,0	0,6	0,1	0,2	-0,1	0,0	0,0	1																				
Re	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1																			
S	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,0	0,2	0,2	-0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,0	0,4	0,2	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,0	1																		
Sb	0,4	0,5	0,0	0,7	0,0	0,3	0,4	0,3	0,1	0,5	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	0,0	0,5	0,5	0,4	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,4	0,4	-0,2	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	-0,3	0,0	0,1	1																		
Sc	0,4	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0	0,2	0,1	0,0	0,4	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,6	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,2	1																	
Se	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,4	0,1	0,0	0,1	0,6	0,1	0,0	0,5	0,0	0,2	0,3	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	1																
Sn	0,1	0,4	0,4	0,0	0,0	0,3	0,7	0,4	0,0	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,5	0,4	0,1	0,4	0,3	0,0	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,4	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	1														
Sr	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	0,2	0,9	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,2	0,1	0,4	0,4	-0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,5	0,1	0,0	0,1	0,0	1												
Ta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1											
Te	0,5	0,9	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	0,8	0,0	0,3	0,2	0,0	0,8	0,4	0,3	0,1	0,3	0,1	0,9	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,2	-0,1	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,0	0,3	0,0	0,0	1,0										
Th	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	-0,1	-0,1	0,7	-0,1	-0,3	0,6	-0,2	-0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	-0,3	0,0	0,3	0,0	0,5	-0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,5	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,5	0,4	-0,1	0,0	-0,1	1									
Ti	0,0	0,1	0,7	-0,2	0,0	0,3	0,1	0,0	-0,2	0,1	-0,2	0,2	0,5	-0,1	0,3	0,4	0,6	0,4	0,1	-0,2	0,1	0,6	0,0	0,0	0,6	0,1	-0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	-0,2	0,1	0,0	0,4	-0,2	0,0	0,0	-0,1	1								
Tl	0,1	0,0	0,1	0,3	0,0	0,2	0,3	0,1	-0,1	-0,1	0,4	-0,1	-0,2	0,7	-0,1	-0,1	0,2	0,5	-0,2	-0,1	0,0	0,7	0,0	0,2	-0,1	0,0	0,3	0,0	0,5	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,2	1						
U	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,2	-0,1	-0,1	0,5	-0,2	-0,2	0,5	-0,2	-0,2	0,1	0,5	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,1	-0,2	-0,1	0,3	0,0	0,5	-0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,3	0,5	0,0	0,0	-0,1	0,7	0,0	0,5	1					
V	0,3	0,6	0,7	0,2	0,0	0,4	0,3	0,4	0,0	0,7	0,0	0,5	0,8	-0,2	0,7	0,9	0,7	0,2	0,6	0,3	0,6	0,0	-0,1	0,2	0,7	0,7	0,2	0,7	-0,1	0,5	0,3	0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,2	0,4	0,3	0,1	0,4	0,0	0,0	0,5	0,8	0,5	-0,2	-0,2	1				
W	0,1	0,0	-0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,2	0,2	0,2	-0,1	1				
Y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	1		
Zn	0,2	0,4	0,4	0,3	0,0	0,2	0,4	0,3	0,1	0,5	0,3	0,5	0,5	-0,1	0,4	0,5	0,4	0,1	1,0	0,4	0,3	-0,3	0,0	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,0	0,2	-0,1	0,3	0,1	0,0	-0,3	0,0	0,3	0,4	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	0,3	0,0	0,1	-0,2	-0,1	0,6	0,0	0,0	1	
Zr	0,2	0,4	0,4	0,3	0,0	0,1	0,4	0,3	0,0	0,5	0,3	0,5	0,5	-0,1	0,4	0,5	0,4	0,1	1,0	0,4	0,3	-0,3	0,0	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,0	0,2	-0,1	0,3	0,1	0,0	-0,3	0,0	0,3	0,4	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	0,3	0,0	0,1	-0,2	-0,1	0,6	0,0	0,0	1,0	1

Од направената анализа се констатира дека концентрацијата на Th и U во трите региона е различна, но не одстапува драстично од средната застапеност на овие елементи за Земјината кора (Табела 13).

Средната застапеност на Th и U на глобално ниво во поедини литолошки средини е прикажана во табелите 10; 11; 12 и 13 од кои може да се воспостави релација помеѓу застапените концентрации на Th и U и литолошките средини.

Т а б е л а 10

Содржина на Th во литолошки средини и критичен праг на содржината на Th во трите региона на кои се потребни радиоактивни истражувања (Симов, 1984)

	Лит. Податок	Реон 1	Реон 2	Реон 3
Гранитоидни карпи	65	4,64 (меана) 11 (критична	5,78 (меана) 10 (критична)	16.83 (меана) 32,65 (критична)
Алкални базалтоидни карпи	7,7			
Кисели магматски карпи	18			
Базични и средноки-сели магматски карпи	5			
Ултрабазични магматски карпи	0,005			

Т а б е л а 11

Средна содржина на радионуклеиди во магматски карпи (Јеленковиќ; Гржетиќ) (mg/kg)

Елемент	Ултрацазични	Базични	Преодни	Кисели
Tu	0,007	3	7	18
U	0,003	0,5	1,8	3,5

Т а б е л а 12

Средна содржина на радионуклеиди во седиментни карпи (Јеленковиќ; Гржетиќ) (mg/kg)

	Гранити	Песочници	Карбонати	Плочи
Tu	12	1,7	1,7	1,7
U	3,7	0,45	2,2	1

Т а б е л а 13

Средна содржина на радионуклеиди (Стафилов Т., Шајн Р.) (ppm)

	Земјина кора	Гранити	Шкрилци	Базалт	Ултра базични карпи	Варовници
Tu	10,5	15	12	0,3	0,05	2
U	2,6	4	3	0,1–0,5	0,02	1

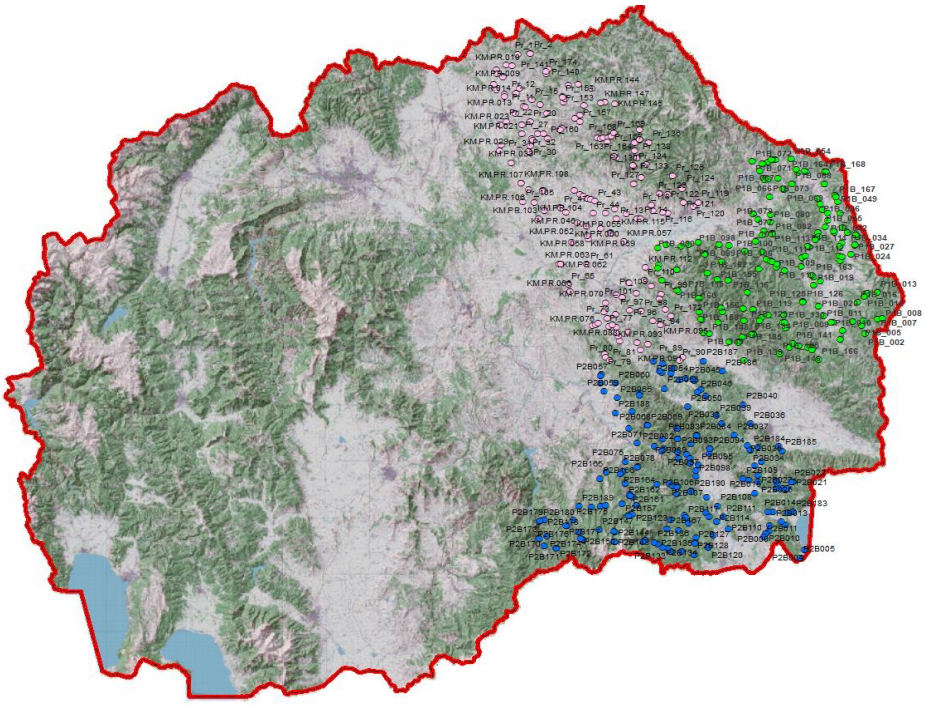
Графички приказ на Th и U ореоли на секундарно расејување во регионите 1, 2 и 3

По извршената дескриптивна статистичка обработка на сите податоци од трите региона се пристапува со експортирање, односно импортирање на Excel табеларните податоци во ArcMap.

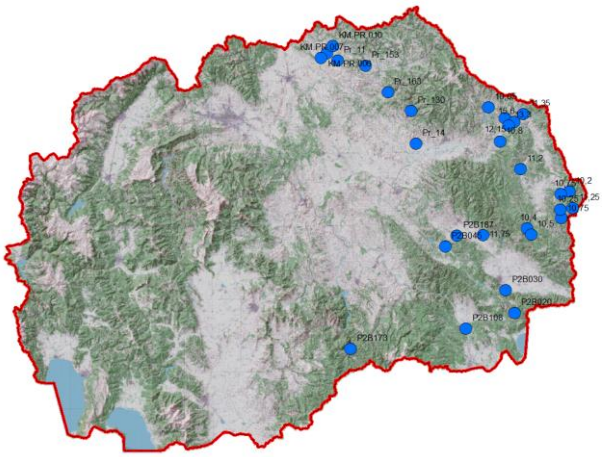
Со самото импортирање на податоците од табелата се добива визуелен преглед за локацијата од каде се земани пробите и содржината на хемиските елементи во нив.

Основата на која се прикажуваат тие податоци може да биде топографска, геолошка или орто-фото.

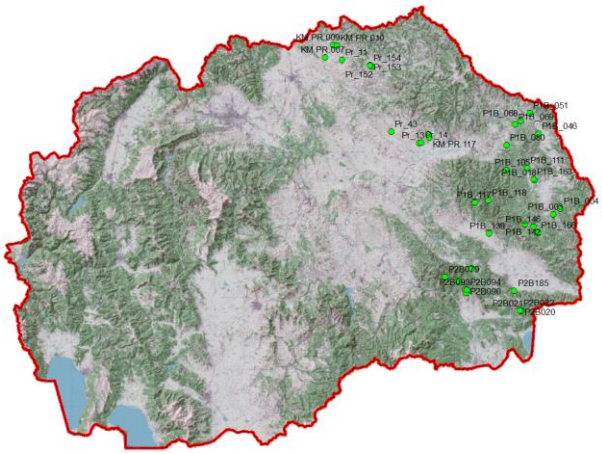
Креираните атрибутни табели во ArcMap овозможуват изведување на повеќе аналитички операции.



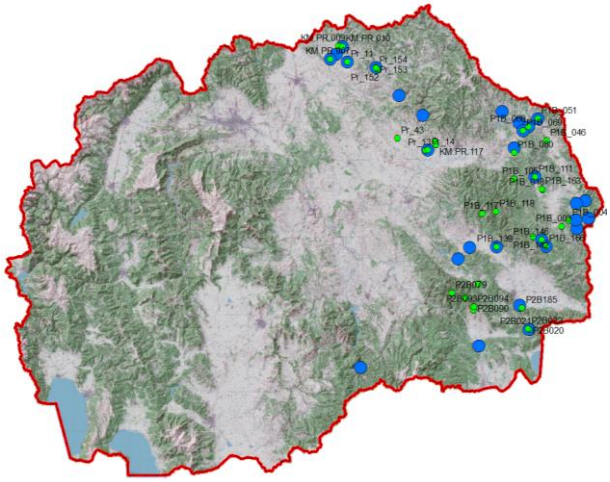
Сл. 4. Приказ на регионални геолошки истражувања (Геохемиска метода BLEG и Stream седименти) на топографска основа 1:25000. Регион 1 (Кожуф) – точкасти објекти со сина боја, Регион 2 (Ветрен) – точкасти објејти со зелена боја, Регион 3 (КЗО) – точкасти објекти со розе боја



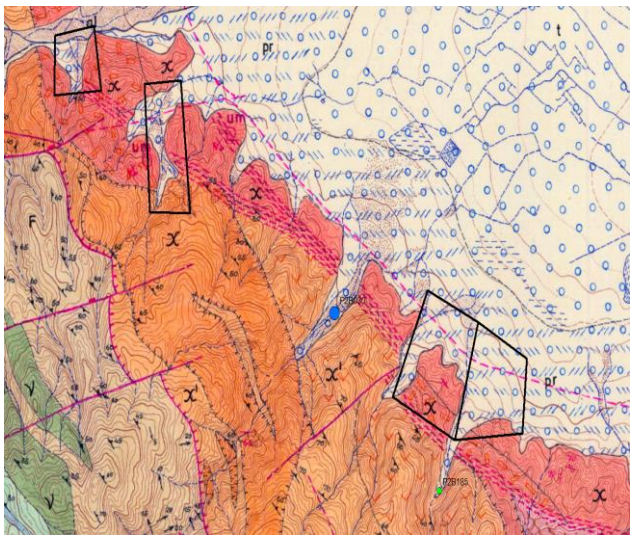
Сл. 5. Олеата со приказ на застапеност на Th во концентрации: за простор 1 (Кожуф) ≥ 11 ppm, за регион 2 (Ветрен) ≥ 10 ppm и за регион 3 (КЗО) ≥ 32 ppm.



Сл. 6. Олеата со приказ на застапеност на U во концентрации: за простор 1 (Кожуф) ≥ 3,64 ppm, за регион 2 (Ветрен) ≥ 2,4 ppm и за регион 3 (КЗО) ≥ 9,75 ppm



Сл. 7. Олеата со приказ на застапеност на Th и U во концентрации кои укажуваат дека при експлоатација на минерална суровина технички градежен камен, песок и чакал, заради определување на квалитетот на минералната суровина е потребно да се извршат дополнителни радиометриски анализи (U – сина боја, Th – зелена боја)



Сл. 8. Олеата на која се прикажани зголемени концентрации на радиоактивни елементи и рудници од каде се експлоатира минерална суровина за употреба во градежништво (технички градежен камен, прсок и чакал)

Како посебно значајни операции се:

1. Креирање на поединечни и комбнирани олеати на елементи од каде може на визуелен начин да се види застапеноста на елементите (како репрезент на елементите кои потекнуваат од сливните подрачја од каде се земени BLEG/Steam седиментите) (слики 4, 5, 6 и 7);

2. Креирање на олеати на кои со точкасти објекти се прикажани само сливните подрачја каде постои ≥ концентрација од долниот праг на аномална вредност на елементот кој се анализира (слики 5 и 6);

3. Ако може, индикативната застапеност на некои елементи или асоцијација на елементи да се поврзе со поврзаноста со литолошките, структурните или фацијалните обележја на средината во која тие се појавуват, постои можност за нивно прикажување во зони каде се прикажуват класите на застапената концентрација (почнувајќи со долниот праг на аномална вредност, за-

вршувајќи со класата во која се застапени максималните концентрации на елементот во пробата) кои се репрезент на посматраното сливно подрачје.

ЗАКЛУЧОЦИ

Целта на овој труд е да се потенцира дека започнатите регионални геолошки истражувања со примена на проспекциски геохемиски методи на BLEG и Stream седименти се повеќекратно корисни и истите е потребно да се спроведат на севкупната територија на Република Македонија.

Покрај посочувањето на перспективни простори за детални геолошки истражувања, оваа база претставува извор на податоци за многу потреби од јавен карактер (економија, просторно планирање, здравство, екологија итн.).

Ваквиот пристап на обработка на добиените геолошки и лабораториски истражувања и испитувања овозможува употреба, интерпретација и континуирана градба на геолошките сознанија за целиот простор на Република Македонија без ограничување во имплементација на поранешни, тековни и идни резултати.

Со обработката на податоците од регионалните истражувања се овозможува анализирање и графичко прикажување на 53 анализирани елементи со нивно прикажување на олеати/леери и издвојување на потенцијални простори за постоење на зголемени концентрации на поедини елементи, асоцијација на елементи или елементи кои се во корелативна зависност на сличен начин како што се прикажани U и Th во овој труд.

Во овој труд се прикажува анлизирањето и издвојувањето на просторите каде постои зголемено присуство на радиоактивни елементи U и Th во однос на локалниот фон, кое нешто истите ги прави да бидат ризични од аспект да од нив се експлоатира минерална суровина – технички градежен камен, песок и чакал. Опасноста од користењето на градежни материјали кои содржат радиоактивни елементи, а може да бидат предизвикувач на прекумерно јонизирачко зрачење, ја наметнува потребата да во фазата на деталните геолошки истражувања, за определување на квалитетот и безбедното користење на минералната суровина се изработуват и дополнителни радиометриски испитувања кои со постоечките законски регулативи не се потребни.

Засега во постоечкиот правилник за класификација и категоризација на резервите на цврсти минерални суровини и водење евиденција за нив не се пропишуват радиометриски испитувања, а со тоа се остава простор да од аспект на минерална суровина со прекумерно јонизирачко зрачење се користи неконтролирана минерална суровина (Сл. лист на СФРЈ 53/79).

Проектот Регионални геолошки истражувања на целата територија на Република Македонија со примена на геохемиски (BLEG и Stream) методи на истражување е потребно да бидат државен проект во соработка со други домашни и странски компании.

Благодарница: Користиме можност да се заблагодариме на компаниите истражувачи на проспекциските геолошки истражувања кои ги имат спроведено последните регионални истражувања применувајќи ги проспекциските методи на истражување BLEG и Stream sediment.

ЛИТЕРАТУРА

Бомбол, Д., et al. (2017): Елаборат од извршените проспекциски геолошки истражувања на метални минерални суровини на „Простор 2 југоисток“ Општина Радовиш, Василево, Струмица, Дојран, Валандово, Богданци, Гевгелија, Кавадарци, Неготино, Градско, Демир Капија и Конче,

Бомбол, Д., et al. (2017): Елсборат од извршените проспекциски геолошки истражувања на метални минерални суровини на „Простор 1 исток“, Општина Делчево, Пехчево, Берово, Радовиш, Штип, Карбинци, Чешиново-Облешево, Зрновци, Виница и Македонска Каменица,

Гржетиќ, И., Јеленковиќ, Р. (1995): Природни радиоактивни елементи, геолошког порекла и облици појављивања и миграција.

Денковски Ѓ., et al. (1981): Проект за регионални и полудетални истражувања на просторот помеѓу Злетовско–Кратовската вулканска област и Саса–Тораничкиот руден реон (Осоговски Планини), (фондовски материјал на Геолошки завод на Р. Македонија).

Јеленковиќ, Р., Серафимовски, Т. (????): Лежишта металичних минералних сировина ретки и радиоактивни метали

Јанковиќ, С. (1981): *Лежишта минералних сировина*. Генеза рудних лежишта. Рударско-геолошки факултет Београд, 529 стр.

Петковић М. (1982): *Проспекција рудних лежишта*. Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет., Београд. 172 стр.

Радмиловиќ В. (1995): Природни радионуклеиди у граѓевинским материјалима са освртом на ниво радона у станбенин просторијама,

Серафимовски Т., Јеленковиќ Р. (1997): Наоѓалишта на метални минерални суровини, Рударско-геолошки факултет-Штип, Универзитет "Св. Кирил и Методиј", Скопје, 567 стр.

Серафимовски Т., Александров М. (1995): *Наоѓалишта и појави на олово и цинк во Република Македонија*, Посебно издание бр. 4, РГФ. Штип, *Т*. Сер.

Серафимовски Т. (2017): Елаборат за извршените проспекциски геолошки истражувања на метални минерални суровини на простор кој ги опфаќа општините Старо Нагоричане, Кратово, Пробиштип и Штип, 387 стр.

Стафилов Т., Шајн Р. (2016): Геохемиски атлас на Република Македонија (Geochemical atlas of the Republic of Macedonia), Геолошки завод на РМ (Geological Survey of the Republic of Macedonia), 235 p, ISBN 9786084762041.

Џорџевиќ В., Денковски Ѓ., (1971): Завршен годишен извештај за регионални геолошки истражувања на металогенетската област Кожуф во 1970, (фондовски материјал на Геолошки завод на Р. Македонија).

Службен лист на СФРЈ 53/79: Правилник за класификација и категоризација на резервите на цврсти минерални суровини и за водење евиденција за нив.

4-PG-03
UDC: 553.94.048:004.94(497.784/.785)

ГЕОЛОШКО МОДЕЛИРАЊЕ НА НАОЃАЛИШТЕТО ЗА ЈАГЛЕН БРОД-ГНЕОТИНО СО ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНИ КОМПЈУТЕРСКИ ТЕХНИКИ

Марија Манева[1], Игор Пешевски[2], Љупчо Петрески[1]

[1]*АД ЕСМ – Подружница РЕК Битола, Битола, С. Македонија*
[2]*Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, бул. Паризански одреди, 24 Скопје, С. Маједонија*
marijamaneva01@yahoo.com

А п с т р а к т: Јагленот како енергетска минерална суровина претставува основен енегетрски ресурс во Македонија, кој се користи за производство на електрична енергија. Наоѓалиштето Брод-Гнеотино кое е во експлоатација од 2007 година, припаѓа на Пелагонискиот седиментационен басен, и било предмет на повеќекратни истражувања и испитувања од геолошки хидрогеолошки и геомеханички аспект. Од овие истражувања прибран е голем фонд на податоци за детално дефинирање на геологијата, хидрогеологијата и геомеханиката на наоѓалиштето. Имајќи го во предвид напредокот на современите компјутерски техники кои се применуваат во областа на геологијата, како и придобивките од истите, дојдено е до идеја да се направи обид за геолошко моделирање на ова наоѓалиште. Компјутерските техники пред се го олеснуваат и унапредуваат процесот на интерпретација на резултатите од истражувањата, а крајниот резултат од нивна примена е создавање на прецизни геолошки, хидрогеолошки и геотехнички модели. Базата на податоци врз основа на која се изработува геолошкиот модел на наоѓалиштето Брод Гнеотино е составена од истражните дупнатини, поделени по интервалите во кои припаѓаат различните геолошки членови на седиментната серија. Карактеристичен дел од моделирањето претставува вклучувањето на раседните струкутри во геолошкиот модел, кои се услов за негова поделба на неколку раседни блокови. Со геолошкото моделирање е овозможен 3Д просторен преглед на геологијата, што овозможува сеопфатно согледување на градбата на наоѓалиштето т.е. протегањето и падот на геолошките членови. Примената на компутерските технологии овозможува постојано вклучување на сите новодобиени резултати од геолошко картирање во фаза на експлоатација и фазите на идно доистражување, со што квалитетот на моделот перменентно може да се подобрува. Придобивките од постоење на еден ваков модел се согледуваат во различните фази на работење, планирање на доистражувањата, зголемување на ефикасноста во производството итн. За изработката на геолошкиот модел е користена компјутерската програма LeapfrogTM (модулот Leapfrog Geo).

Key words: јаглен; наоѓалиште Брод-Гнеотино; компјутерски техники; геолошко моделирање

GEOLOGICAL MODELING OF THE COAL DEPOST BROD-GNEOTINO WITH APPLICATION OF CONTEMPORARY COMPUTER TECHNIQUES

A b s t r a c t: Coal as an mineral raw material is a basic energy resource in Macedonia, used for electricity production. The Brod-Gneotino deposit, which has been in operation since 2007, belongs to the Pelagonija sedimentation basin and has been the subject of numerous investigations from a geological hydrogeological and geomechanical aspect. As a result from these investigations, a large database has been collected for detailed definition of the geology, hydrogeology and geomechanics of the deposit. Taking into consideration the progress of modern computer techniques applied in the field of geology, as well as the benefits of the same, the idea came to make an attempt to geologically model the deposit. Computer techniques primarily facilitate and improve the process of interpretation of investigations results, and the final result of their application is the creation of precise geological, hydrogeological and geotechnical 3D models. The database on the foundations of which the geological model of the Brod Gneotino site is made is composed of exploratory boreholes, divided by the intervals in which the different geological members of the sediment series belong. A characteristic part of the modeling is the inclusion of fault structures in the geological model, which are a condition for its division into several “fault blocks”. The geological modeling enables a 3D spatial overview of the geology, which gives a comprehensive overview of the terrain, i.e. the dip and orientation of the sedimentary complex members. The application of computer technologies enables constant inclusion of all newly obtained results from geological mapping in the phase of exploitation and the phases of future investigation drillings, thus the quality of the model can be permanently improved. The benefits of having such a model are seen in the different phases of mine operation, i.e. in the planning of additional investigation programs, increasing the production efficiency, etc. The Leapfrog™ computer program (module Leapfrog Geo) was used to build the geological model.

Key words: coal; Brod-Gneotino site; computer techniques; geological modeling

ВОВЕД

Тридимензионално (3Д) моделирање на податоците се користи во рударскиот сектор веќе долго време. Пред употребата на современите компјутерски техники, прикажувањето на 3Д моделите било изведувано со употреба дводимензионални (2Д) специјализирани карти, пресеци и дијаграми. Во последните две децении, бројот на студии за 3Д моделирање се зголеми како резултат на употребата на компјутерски софтвери. Во рамките на тие софтверски програми, современите 3Д модели со висока резолуција се креирани со употреба на алгоритми за интерполација (Akiska et al., 2013).

Развојот на 3Д геолошките модели вклучува интеграција на голем број на геолошки податоци, како и дополнителни достапни литолошки, структурни, геохемиски, геофизички, геотехнички и други видови на податоци. Креираните 3Д прикази можат да се користат како интерактивни алатки за истражување на минералните наоѓалишта (Fallara et al., 2006).

Тридимензионално геолошко моделирање (3DGM) им помага на геолозите во изучувањето на квантитативната анализа на тродимензионални (3Д) просторни структури кои ги дефинираат просторните врски помеѓу геолошките објекти. 3DGM технологијата овозможува техничка поддршка за добивање на разновидни информации за геологијата, 3Д моделирање и квантитативна пресметка на минералните ресурси (Wang and Huang, 2012). Досега во Македонија изведените 3Д моделирања се однесуваат на дел од порфирските и полиметаличните наоѓалишта и се од различен карактер.

За наоѓалиштето за бакар Казан Дол освен што е изведено 3Д моделирање на минерализираната зона на наоѓалиштето, направена е и геохемиска студија за зоните на аномалии на дистрибуција на металите (бакарот, цинкот, кобалт, никел, галиум и др.) во почвите преку изработка на геохемиски карти (Ligovski et al., 2014).

3Д моделирање е изведено и за порфирското наоѓалиште на бакар Боров Дол при што се се користени податоци од 100 дупнатини и четири професионални софтврески пакети (Gjorgjiev et al., 2020). За порфирското наоѓалиште на бакар и злато Иловица–Штука преку користење на софтверот Geovia Surpac е изведено моделирање и пресметка на рудните резерви (Forward et al., 2017). Со употреба на софтверот ArcGIS и податоци од 195 дупнатини изведено е 3Д моделирање на рудните тела на злато и бакар во рамките на полиметаличното наоѓалиште за злато, сребро и бакар Плавица (Ivanovski et al., 2015). Кај нас досега не е вршено 3Д моделирање од било каков аспект (геолошки, хидрогеолошки, геотехнички) на наоѓалиштата на јаглен. Оттука со оглед на постојниот огромен фонд на податоци за повеќе наши наоѓалишта на јаглен, кои биле истражувани поголем број децении, произлезена е идеја да се дефинира современ пристап за геолошко моделирање на истите, при што, како студија на случај е одбрано наоѓалиштето Брод-Гнеотино во Пелагонискиот седиментен басен.

МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕ

Методологијата на истражување која е користена при геолошкото моделирање на наоѓалиштето за јаглен Брод-Гнеотино е претставена со неколку фази и тоа:

1. Првата фаза е претставена со изборот на современата компјутерска техника која ќе се користи за моделирање, што во нашиот случај е софтверскиот пакет LeapfrogTM. Софтверскиот пакет LeapfrogTM е производ на компанијата ARANZ Geo која изведува дистрибуција на своите производи во Азија, Северна Америка, Јужна Америка и Европа. Софтверскиот пакет LeapfrogTM ги вклучува модулите Geo, Hydro, Geothermal и Viewer. Овој софтвер бил пуштен во употреба во 2003 година и веднаш ја нашол својата широка употреба во Западна Австралија (Cowan et al., 2004). Овој софтвер е лидер во софтверите за 3D геолошко моделирање во рударството, истражувања, контаминација на подземните води и геотермалната енергија. Прифатен во светски рамки, помага во работењето и долгорочното планирање, овозможувајќи ефикасност и продуктивност. Изграден е на база на напредниот имплицитен модел за моделирање “FastRBF” (Fast radial base function) или брза форма на функцијата со радијална основа, Leapfrog е првиот од ваков вид и ги постави стандардите во геолошкото моделирање со иновативни достигнувања. При моделирањето на наоѓалиштето Брод-Гнетино е користен софтверскиот модул Leapfrog Geo.

2. Втората фаза е претставена со систематизација и сумирање на податоците за наоѓалиштето за јаглен Брод-Гнеотино, кои ќе ја претставуваат основната база на податоци која во нашиот случај е претставена со геолошките податоци

од истражните дупнатини изведени во ова наоѓалиште. Наоѓалиштето за јаглен Брод-Гнеотино било истражувано во повеќе фази во периодот од 1974 год. до 2018 год (Табела 1).

Т а б е л а 1

Рекапитулацијата на фазите на истражувањата на наоѓалиштето Брод-Гнеотино

Досегашни истражни дупнатини		
Фаза на истражни работи	Број на дупнатина	Крајна длабина (m)
1974/89	83	11 952
1991	4	159
1992/93	29	1 983
2000/01	86	7 918
2014/2016	107	20 782
2017/2018	55	6197
Вкупно:	**364**	**48 991**

3. Трета фаза претставува внесот на базата на податоци во користениот софтвер во вид на табели и нивно групирање или поедноставување со користење на алатките во софтверот. Податоците од истражните дупнатини се внесуваат во форма на три табели во .cvs формат и тоа :

– Geology.cvs каде се внесени сите истражни дупнатини и тоа секоја од дупнатините од почетокот до крајната длабина е поделена на последователни интервали кои ги претставуваат одделните литолошки членови (Слика 1).

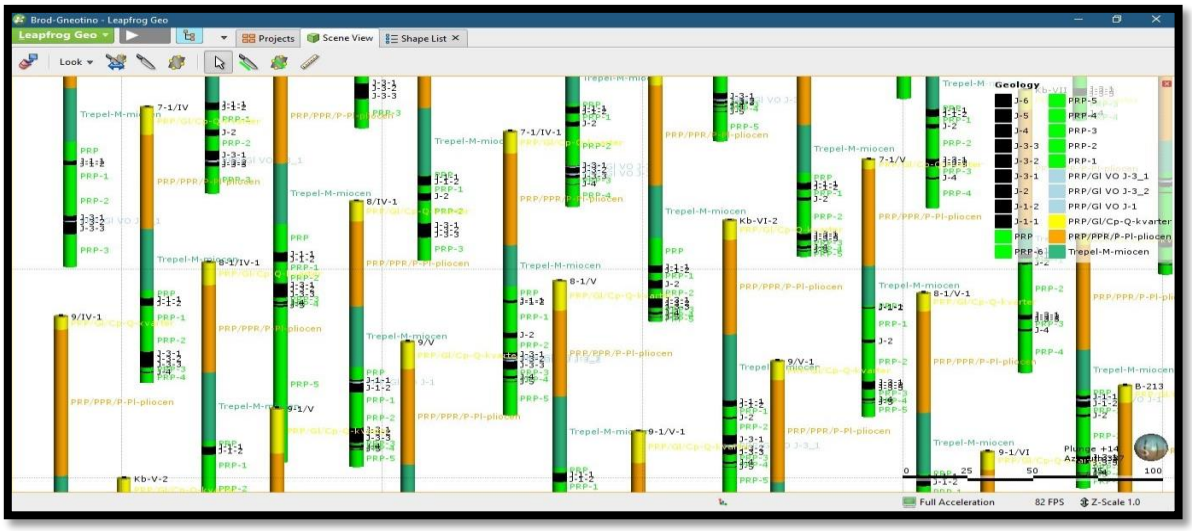
– Collar.cvs каде е дефинирана просторната положба на дупнатините со задавање на *X*, *Y* и *Z* координатите на секоја од дупнатините заедно со нивната крајна длабина.

– Survey.cvs каде се дефинира падниот агол и азумутот на секоја од дупнатините, но бидејќи сите истражни дупнатини се вертиклани, падниот агол на секоја од нив е 90°, а азимутот е 0°.

Со употребата на опцијата Group Lithologies е можно групирање или поделба на веќе дефинираните литолошки членови, што се покажа како корисна опција при геолошкото моделирање. На овој начин е креирана категоријата GRUPIRANA GEOLOGIJA која е користена како основа при изработката на геолошкиот модел. Разликата помеѓу оваа категорија и основната база на геолошки податоци е тоа што секој јагленов слој е прикажан како единствен посебен литолошки член додека во основната база на геолошки податоци, првиот јагленов слој е поделен на два дела, додека третиот јагленов слој е поделен на три дела со дефинирање на прослојци од разнозрни сивозелени песоци и прашини помеѓу деловите (слика 1).

4. Четврата фаза е внесот на помошните податоци кои играат важна улога во моделирањето и се однесуваат на податоци за просторната положба на геолошките профили, границите на геолошкиот модел, топографијата и раседните стуктури и се внесени во вид на точки, полилинии и мрежи.

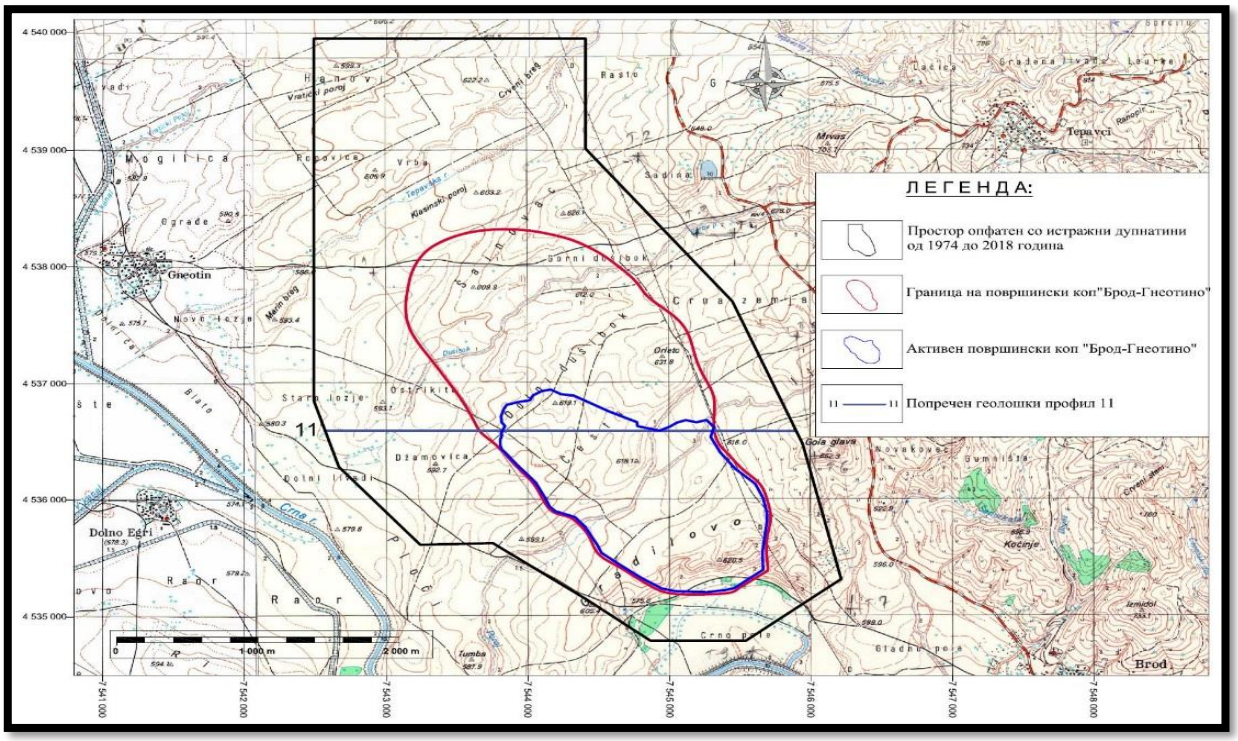
5. Петта фаза претставува геолошкото моделирање чие изведување подетално ќе биде дадено подолу.



Слика 1. 3Д приказ на дел од внесените дупнатини од наоѓалиштето Брод-Гнеотино

КАРАКТЕРИСТКИ НА НАОЃАЛИШТЕТО НА ЈАГЛЕН БРОД-ГНЕОТИНО

Наоѓалиштето за јаглен Брод-Гнеотино се наоѓа во Западна Македонија, во Битолскиот дел на Пелагонија и зафаќа површина од околу 10 km^2. Припаѓа на Општина Новаци и се простира помеѓу селата Гнеотино и Рибарци на север, Тепавци и Брод на исток, Егри на запад и на југ на растојание од околу 390 m до Црна Река. На источната страна, границата претставува рабниот дел на Пелагонискиот басен, а кон запад границата на наоѓалиштето е отворена и не е строго дефинирана, поради големата длабина на залегање на јагленовите слоеви до повеќе од 250 m. (слика 1). Во 2007 година започна со работа површинскиот коп Брод-Гнеотино. До средината на 2021 година, експолатацијата на јаглен и јаловина на ПК Брод-Гнеотино се одвива со два БТО системи и систем на јаглен при што експлоатацијата на јаловината која се одвива од југ кон север е достигната до попречниот геолошки профил 10 додека експлоатацијата на јаглен која го прати ископот на јаловината е достигната до попречниот геолошки профил 11 (слика 2).



Слика 2. Местоположба на наоѓалиштето и површинскиот коп Брод-Гнеотино

Според Геолошкиот столб во наоѓалиштето Брод-Гнеотино можат да се издвојат следниве геолошки (литолошки) членови:

1. Палеорељеф
2. Миоценски седиментен комплекс
3. Плиоценски седименти
4. Квартерни седименти

1. Палеорељефот и периферниот источен дел на наоѓалиштето и пошироката околина кон источен правец и Селечка Планина главно се изградени од прекамбриски метаморфни карпи од типот на гнајсеви (Gm) и микашисти (Sq) кои наместа се испробиени од магматски пробои претставени со гранодиорити (δγ).

2. Миоценски седиментен комплекс. Преку палеорељефот директно се распространети миоценските седименти кои се претставени со:

– *Сиво-зелена серија (PRP)*. Овие седименти се распространети на поголеми длабини и го исполнуваат палеорељефот на басенот со тенденција на зголемување на длабината кон западниот и централен дел на Пелагонискиот басен. Главно е изградена од сивозелени песоци со различна гранулација или пак се помешани со различен процент на прашина, ретко прашинесто песокливи чакали, заглинети чакали и тенки прослојки од песочник.

– *Продуктивна јагленова серија (J, JG, GJ, JPR)* Во оваа серија генерално се издвоени пет (5) слеови јаглен (J), помеѓу кои многу ретко се појавуваат партии и прослојци од темносива глина со органогена материја, односно јагленова глина (JG) и глиновит јаглен (GJ) доколку е помал процентот на глината во однос на јагленот. Ваквата раслоеност на јагленот е каратеристична од централниот кон источниот дел од наоѓалиштето (каде исклинуваат сите јагленови слоеви) додека од централниот кон западниот дел има само два слоја кои висински се спуштени на поголема длабина во однос на слоевите од источниот дел поради појавата на руптурните структури (раседи) во рамките на западниот дел од наоѓалиштето.

– *Меѓуслојна јаловина во продуктивната јагленова серија (PRP)*. Помеѓу јагленовите слоеви присутна е серија од прашинести песоци, заглинети прашини, органогена глина и органски песокливи прашини.

– *Сива серија на трепели (TR).* Трепелите кои по боја можат да бидат сивозелени и светло сивозелени, се добро дијагенизирани прашиниалевролити, многу лесни, наместа порозни, со јасна стратификација на слоевите.Трепелите имаат континуирано протегање низ целото наоѓалиште при што кон исток исклинува додека кон запад ја здобива својата продуктивна моќност, која достигнува и до 100m. Трепелите се седиментни карпи од фитогено потекло кое е потврдено со бројни докази во форма на многу дискретни микрофосили од редот алги Диатомеи (Pavlovski et al., 2011).

3. Плиоценски седиментен комплекс (Pl) сиво-жолта серија (P, PR, G, C, PG, PRP). Низ целото наоѓалиште над миоценската формација е распространет седиментен комплекс изграден од плиоценски седименти со жолта, жолтокафеава и сива боја претставени со сиви до жолтеникави песоци и глини со чакали и стратификувани светлосиви песоци, песокливи глини, прашинести песоци, сиви прашини и нивни мешавини.

4. Квартерни седименти (Q) (GP, C, PG) Овие седименти лежат непосредно над плиоценскиот седиментен комплекс и се претставени со:

– *Пролувијални наслаги (pr)* изградени од песокливо чакалести грубокластични материјали помешани со мал процент на поситна фракција од прашина и глина.

– *Алувијално-пролувијалните наноси (al)* се претставени со разногранулирани песоци и чакали и се распространети во јужниот и западниот дел на наоѓалиштето, по Црна Река и повремените токови, создадени со излевање на површинските водотеци при поројните дождови или брзото топење на снегот.

Седиментите на наоѓалиштето Брод-Гнеотино претставуваат една моноклинала благо наклонета кон запад-југозапад, со паден агол околу 5 – 150. Теренот каде се наоѓа наоѓалиштето во геолошкиот развој на неогенот и квартерот бил зафатен со неотектонските движења на најмладата Алпска орогена фаза.

Сл., 3. Раседна стуктура во ПК Брод-Гнеотино

Во наоѓалиштето Брод-Гнеотино се регистрирани две каратеристични раседни струкури кои имаат правец на протегање СЗ-ЈИ и се карактеризираат со стрмен до субвертикален паден агол и азимут на пад кон југозапад и спуштен југозападен блок. Истите можат да се забележат на откопноте блокови на површинскиот коп Брод-Гнеотино како кај јаловинските системи за ископ така и во рамките на продуктивната јагленова серија. Појавата на раседните површини започнува од квартерните седименти, без делот што припаѓа на обработливата површина (слика 3). Секоја од раседните струкури формира своја посебна раседна зона преставена со главната руптурна струкура, но и со извесен број на

пукнатински системи кои се паралени со неа. Овие раседни зони играат голема улога при геолошкото моделирање на наоѓалиштето Брод-Гнеотино.

ГЕОЛОШКО МОДЕЛИРАЊЕ НА НАОЃАЛИШТЕТО НА ЈАГЛЕН БРОДГНЕОТИНО

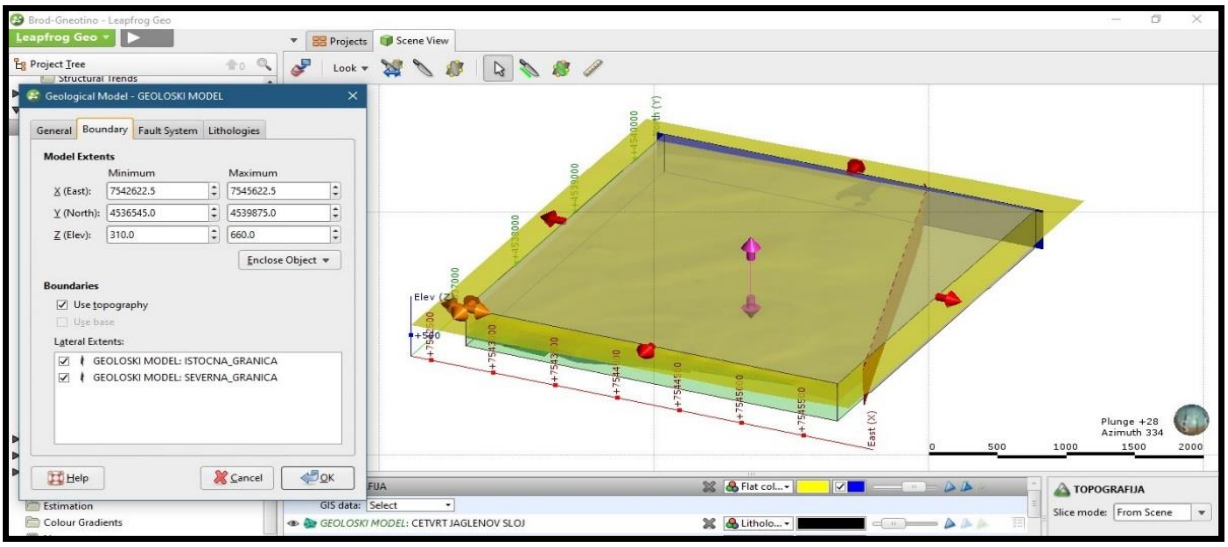
За геолошкото моделирање на наоѓалиштето за јаглен Брод-Гнеотино се користени податоци од 201 истражна дупнатина. Податоците од дупнатините и помошните елементи се сумирани во еден проект кој за нашата намена е именован како Brod-Gneotino.

Делот од проектот Brod-Gneotino што се однесува на геолошкиот модел е составен од неколку делови кои е потребно посебно да се пополнуваат за да се креираат излезните волумени за секој литолошки член кои заедно го претставуваат геолошкиот модел на наоѓалиштето што се моделира.

Секој од деловите на геолошкиот модел посебно ќе биде разгледуван и тоа како составот така и начинот на креирање:

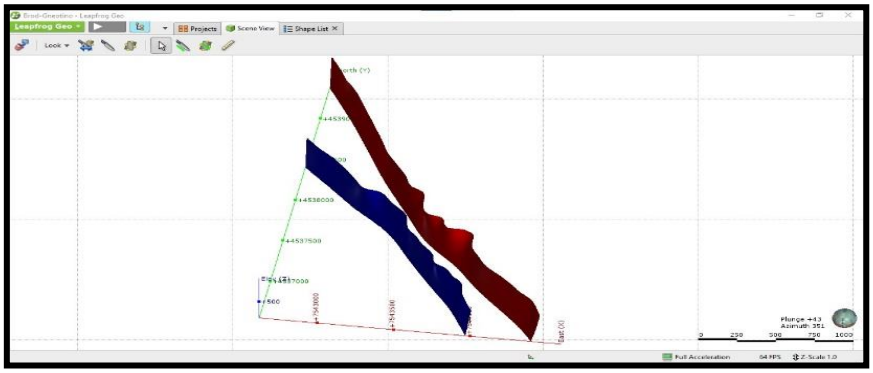
1. Граници (Boundary): Границата која се применува при геолошкото моделирање на наоѓалиштето Брод-Гнеотино е претставена со (Слика 4):

- Граница софтверски одредена врз основа на просторниот распоред на истражните дупнатини (GEOLOSKI MODEL Extents) коригирана со внес на пресечните координати на надолжниот геолошки профил 0 и попречниот геолошки профил 11;
- Внесената топографија како висинска граница (TOPOGRAFIJA);
- Извлечена граница на исток до просторната положба на изведените дупнатини (ISTOCNA_GRANICA)';
- Граница на север кој се поклопува со правецот на попречниот геолошки профил 0 (SEVERNA_GRANICA).



Сл, 4. Изглед на границата на геолошкиот модел на наоѓалиштето Брод-Гнеотино заедно со посебните делови од границата

2. Систем на раседи (Fault System): Во геолошкиот модел на наоѓалиштето Брод-Гнеотино составен дел претставуваат две раседни структури наречени PRV RASED и VTOR RASED. Во почетокот на моделирањето секој од раседите е внесен во проектот како точки, структурни елементи и мрежи преку табела со дефинирање на координатите (X, Y и Z), паден агол и азимутот на пад на конкретната позиција добиени со теренските мерења на елементите на падот на раседите на откопните блокови, како и од прогнозни позиции од изработените геолошки профили (Слика 5). Откако ќе бидат внесени во геолошкиот модел се преминува кон нивно активирање во моделот што се изведува преку менито Fault System каде се селектираат раседите кои ќе се користат, потоа истите се редат од најмлада кон најстара раседна структура. Со активирање на двата раседи, геолошкиот модел на наоѓалиштето ќе се подели на три блокови.



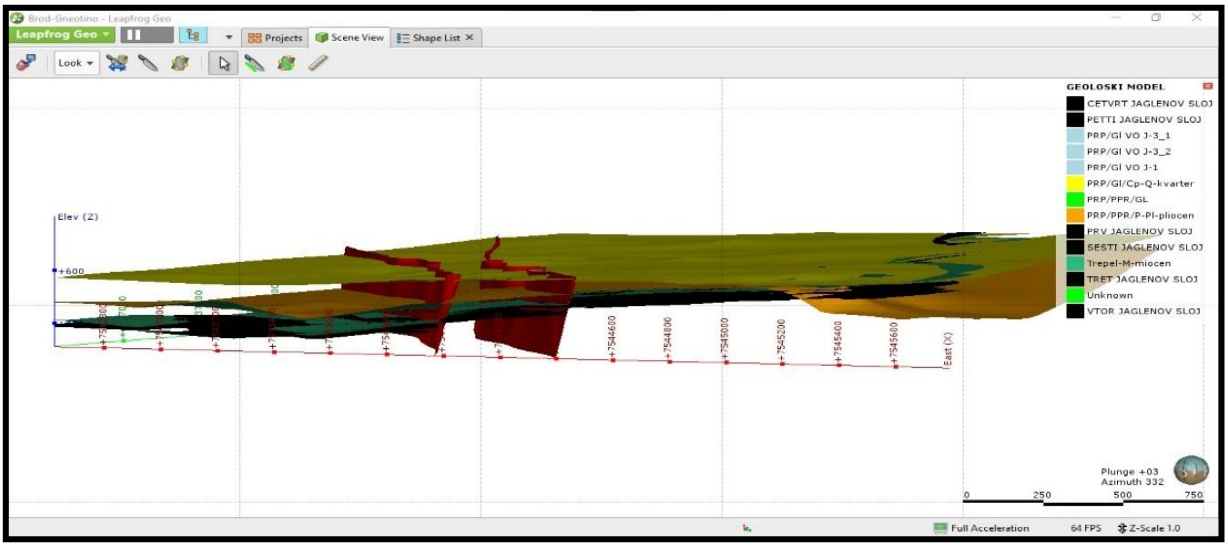
Сл, 5. Изглед на мрежите PRV RASED и VTOR RASED во геолошкиот модел на наоѓалиштето Брод-Гнеотино

3. Литологија (Lithologies) Овој дел од геолошкиот модел се однесува на изборот на геологијата што се користи при моделирањето. Како што веќе беше напоменато за геолошкиот модел на наоѓалиштето Брод-Гнеотино ќе се користи категоријата GRUPIRANA GEOLOGIJA

Според категоријата на геолошки податоци GRUPIRANA GEOLOGIJA, издвоени се следниве геолошки членови:

- PRP/GL/Cp-Q-kvarter – Квартерниот седиментен комплекс,
- PRP/PPR/P-Pl-pliocen – Плиоценскиот седиментен комплекс,
- Trepel-M-miocen – Сивата серија на трепели,
- PRP финозрни песокливо прашинести седименти,
- PRV JAGLENOV SLOJ каде се групирани двата дела на првиот јагленов слој J-1-1 и J-1-2,
- PRP 1 – серијата од прашинести песоци, заглинети прашини, органогена глина и органски песокливи прашини,
- VTOR JAGLENOV SLOJ J-2,
- PRP 2,
- TRET JAGLENOV SLOJкаде се групирани трите дела на третиот јагленов слој J-3-1, J-3-2 и J-3-3,
- PRP 3,
- CETVRT JAGLENOV SLOJ J-4,
- PRP 4,
- PETTI JAGLENOV SLOJ J-5,
- PRP 5 .

4. Surface Chronology Хронологија на генерираните **контактни површини**: Од изборот на видот на контактна површина помеѓу различните геолошки членови, најмногу зависи изгледот на излезените волумени односно 3Д изгледите на секој од геолошките членовите кои заедно го претставуваат геолошкиот 3Д модел. Од видовите контактни површини кои софтверот ги нуди, искористени се површините ерозија (Erosion) и жица (Vein) (Слика 6).

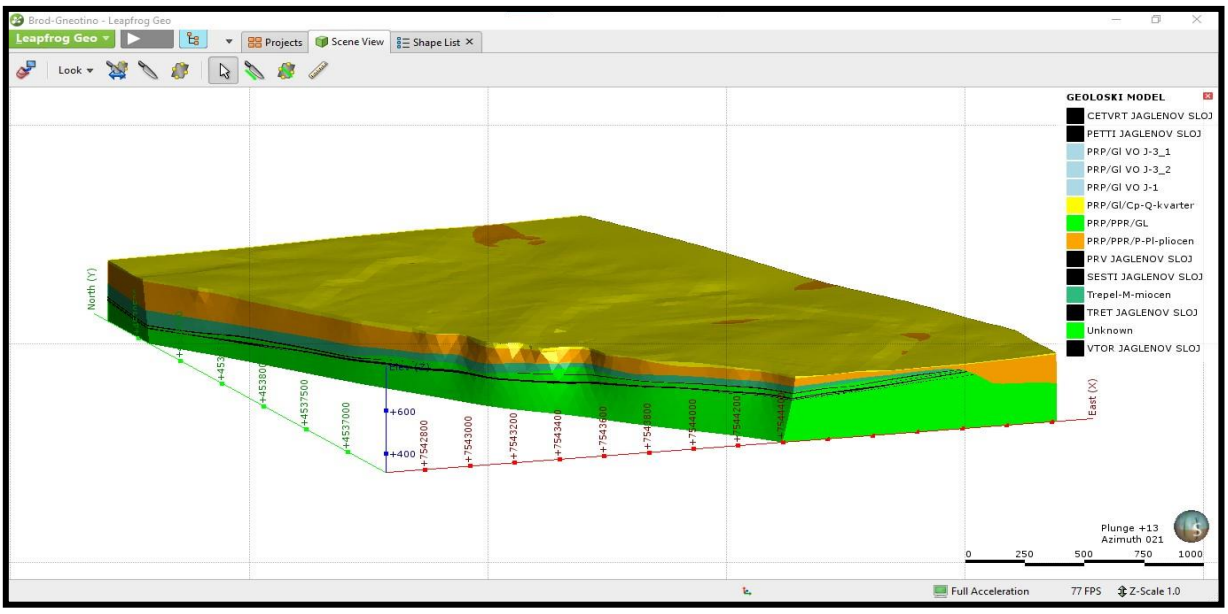


Сл, 6. Изглед на генерираните контактни површини на трите блока (нераседната зона, прва и втора раседна зона) како дел од геолошкиот модел на наоѓалиштето Брод-Гнеотино

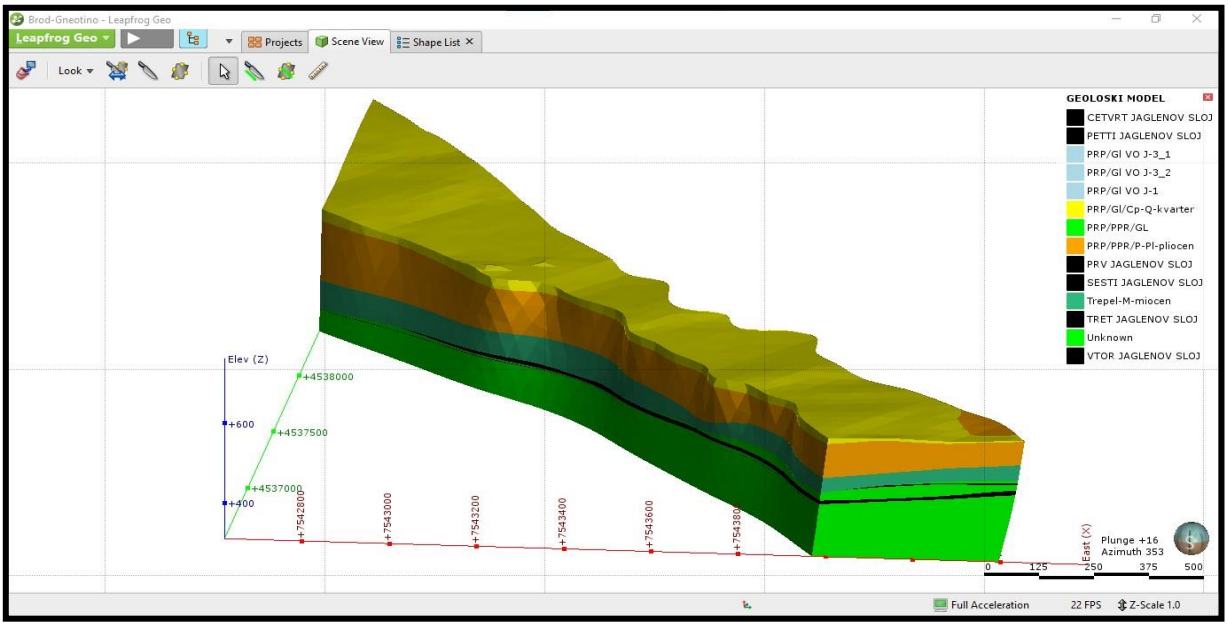
5. Output Volumes Излезни волумени на издвоените геолошки членови кои заедно заедно го претставуваат геолошкиот 3Д модел на наоѓалиштето за јаглен Брод-Гнеотино.

Со активирање на системот од двете раседни структури, користениот софтвер автоматски изведува поделба на геолошкиот модел на наоѓалиштето на три блока кои се именувани на следниов начин:

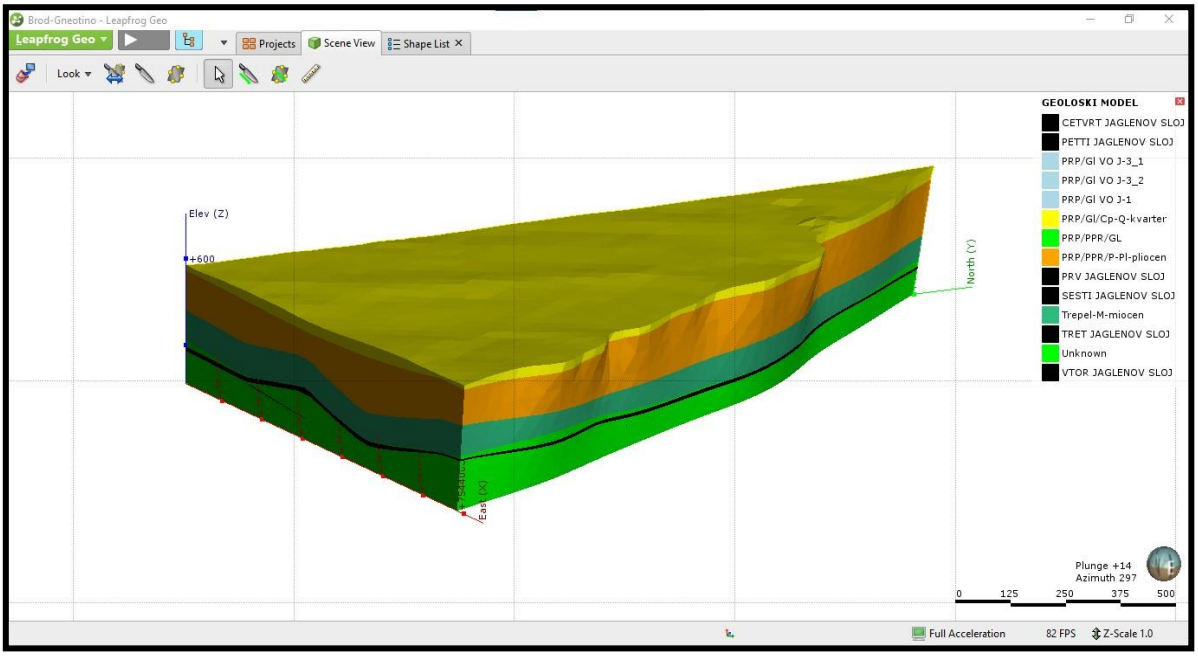
1. *Нераседната зона* која се каратеризира со граница од првиот расед на запад до останатиот дел од моделот на исток. Генерирани се 8 (осум) контактни површини врз основа на кои се генерираат излезните волумени за секој од постоечките литолошки членови во овој блок (Слика 7).
2. *Прва раседна зона* која се каратеризира со граница од првиот расед на исток и вториот расед на запад и генерирани се 7 (седум) контактни површини (Слика 8).
3. *Втора раседна зона* која се каратеризира со граница од вториот расед на исток до останатиот дел од моделот на запад и генерирани се 5 (пет) контактни површини (Слика 9).



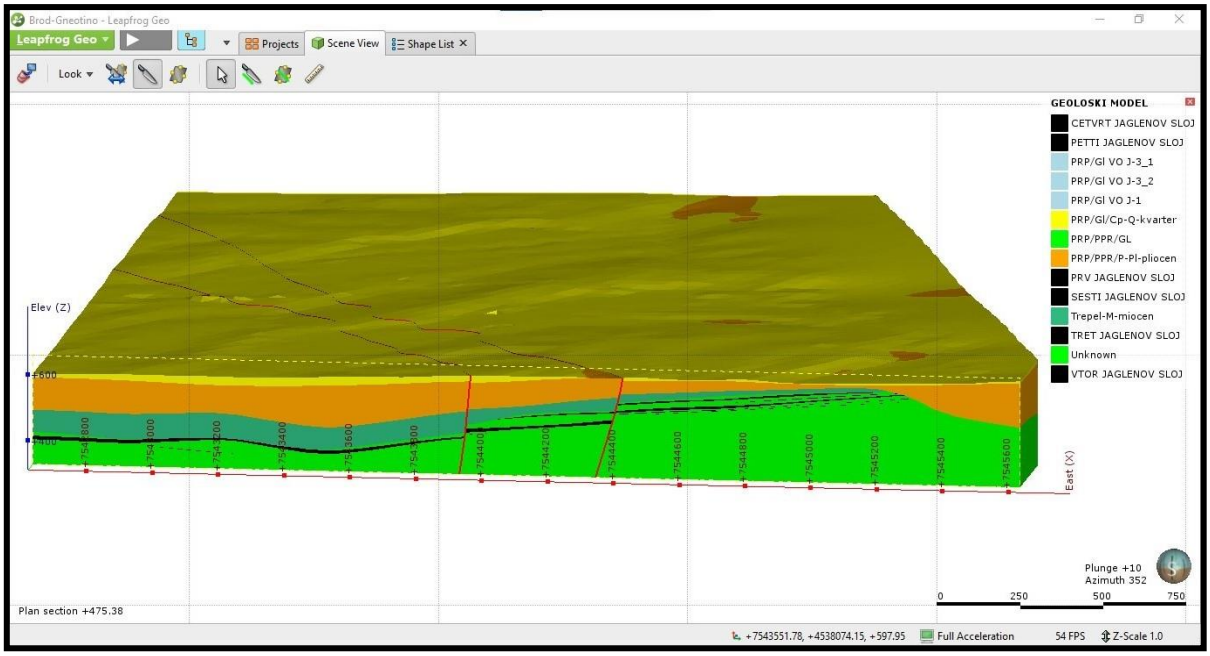
Сл. 7. Геолошки 3Д модел на нераседната зона на наоѓалиштето Брод-Гнеотино



Сл. 8. Геолошки 3Д модел на првата раседна зона на наоѓалиштето Брод-Гнеотино



Сл. 9. Геолошки 3Д модел на втората раседна зона на наоѓалиштето Брод-Гнеотино



Сл. 10. Геолошки 3Д модел на наоѓалиштето за јаглен Брод-Гнеотино

ЗАКЛУЧОЦИ

Современите компјутерки техники со користење на соодветни математички функции и алгоритми овозможиле побрзо и поефикасно моделирање на геологијата од каков и да било тип. Овие техники нашироко се користат при истражувањата и проектирањето на голем број на наоѓалишта во светот. Визуелизацијата на податоците, користењето на огромен број податоци (и над 1 000 000 податоци) и нивната брза обработка многу допринесуваат во донесувањето на важни одлуки при проектирањето, од кои зависат натамошните градежни и рударски изведбени активности. Можностите кои ги нуди 3Д моделирањето се од големо значење за сите фази

на изработка на наменска геолошка документација како кај нови наоѓалишта така и кај наоѓалишта во фаза на експлоатација, при што правилно изработените 3Д геотехнички модели позитивно влијаат не само на техничкиот аспект на работењето на рудниците туку и на финансискиот.

ЛИТЕРАТУРА

[1[Alcaraz, S. (2017): Inrdoductory Leapfrog geothermal training course, GSN Science, New Zealand.

[2] Akiska, S., Sayili, S., Demirela, G. (2013): Three-dimensional subsurface modeling of mineralization: a case study from the Handeresi (Çanakkale, NW Turkey) Pb-Zn-Cu deposit, *Turkish Journal of Earth Sciences*, **22** (4), 574–587.

[3] ARANZ Geo Ltd. (2014): Leapfrog User Manual.

[4] Cowan, E. J., Beatson, R, K., Fright, W. R., McLennan, T. J., Mitchell, T. J. (2002): Rapid geological modelling, Extended abstract for Applied Structural Geology for Mineral Exploration and Mining, *Internacional Symposium* (Kalgoorie 23–25 Semtember 2002).

[5] Cowan, E. J., Lane, R. G., Ross, H. J. (2004): Leapfrog's implicit drawing tool: a new way of drawing geological objects of any shape rapidly in 3-D. *Bulletin 41, Australian Institute of Geoscientists*, 23–25.

[6] Елаборат за класификација и категоризација на јаглен во наоѓалиштето „Брод-Гнеотино" (состојба јуни 2001), ГЕИНГ, Скопје, ГИМ, Скопје, 2001.

[7[] *Елаборат за изведени геолошки истражувања и испитувања на јагленовото наоѓалиште „Брод-Гнеотино" 2014–2016 год.*, Градежен Институт Македонија, Скопје, 2016.

[8] Елаборат за изведени детални геолошки испитувања и истражувања на јагленовото наоѓалиште "Брод-Гнеотино", Геохидроконсалтинг, Скопје, 2018.

[9] Fallara, F., Legault, M., Rabeau, O. (2006): 3-D Integrated Geological Modeling in the Abitibi Subprovince (Québec, Canada): Techniques and Applications, *Exploration and Mining Geology*, Vol. **15**, Nos. 1–2, pp. 27–41.

[10] Forward, P., Ligovski, M., Davies, R. (2017): Resourse modelling at the Ilovica-Štuka porphyry copper-gold deposit, Eastern Macedonia, *Geologica Macedonica*, Vol. **31**, No. 1, pp. 21–40.

[11] Gjorgjiev, L., Serafimovski, T., Jovanov, K. (2020): 3D modeling of the Borov Dol porphyry copper deposit. Republic of North Macedonia, *Geologica Macedonica*, Vol. **34**, No. 1, pp. 67–82.

[12] Ivanovski, I., Sefafimovski, D., Tasev, G., Serafimovski, T. (2015): 3D modelling of the Plavica Au-Cu polymetallic deposit, Republic of Macedonia, *Geologica Macedonica*, Vol. **29**, No. 1, pp. 63–74.

[13] Ligovski, M., Serafimovski, T., Tasev, G., Setfanova, V., (2014): Geochemical study and 3D modelling of the Kazan Dol copper deposit, Republic of Macedonia, *Geologica Macedonica*, Vol. **28**, No. 1, pp. 7–17.

[14] Llewelyn, K., Jakubec, J., Goddard, R., Stenhouse, P. (2018): ‚Geotechnical data collection and approach to modelling for Cukaru Peki deposit, *Proceedings of the Fourth Internacional Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 783–796.

[15] Lorensen, W. E., Cline, H. E. (1987): Marching Cubes: A high resolution 3D surface reconstruction algorithm, *Computer Graphics*, **21** (4), 163–169 (Proc. of SIGGRAPH).

[16] Манева, М. (2021): *Геотехничко моделирање на наоѓалиштата на јаглен со примена на современи компјутерски техники*, Магистерски труд, Градежен факултет, Скопје.

[17] Pavlovski, B., Jančev, S., Petreski, L., Reka, A., Bogoevski, S., Boškovski, B. (2011): Trepel – A peculiar sedimentary rock of biogenetic origin from the Suvodol village, Bitola, Macedonia, *Geologica Macedonica*, Vol **25**, No. 1, pp 67–72.

[18] Wang, G., Huang, L. (2012): 3D geological modeling for mineral resource assessment of the Tongshan Cu deposit, Heilongjiang Province, China, *Geoscience Frontiers*, **3** (4) 483–491.

4-PG-04
UDC: 553.4.048:528.94.067(497.741)

ОКОНТУРУВАЊЕ НА РУДНО ТЕЛО ВО ПОРФИРСКИ СИСТЕМ, НА ПРИМЕР НА НАОЃАЛИШТЕ ЗА Cu, Au И Ag "БОРОВ ДОЛ"

Александар Буов, Анета Ристовска

Геолошки завод на Република Македонија, Палата „ Емануел Чучков„ Ул. „Бихачка" бр. 2, 1000 Скопје, Република Северна Македонија
aleksandar.buov@geol.gov.mk // aneta.ristovska@geol.gov.mk

А п с т р а к т: Во трудот, на пример оконтурување рудно тело на Cu, Au и Ag во порфирски систем, по метода на интерполација/ кригинг и тоа со помош на програмот ArcMap/ ArcGIS е прикажана таквата постапка. Оконтурувањето на рудното тело е прикажано на по еден хоризонтален и вертикален пресек. Истиот начин на оконтурување може да се изведе и на останатите пресеци (профили) кои се потребни за песметка на рудните резерви, категоризација и класификација. Прикажаниот начин на оконтурување, поготово на рудни тела/ наоѓалишта кои се створени во порфирски системи, каде литолошкиот, структурниот, фацијалниот карактер на средината и морфологијата (импрегнација и штокверк) на појавување на минерализацијата, имаат многу важна улога за добивање на геолошкиот резон во однос на разликата помеѓу рудно тело и јаловина, оваа метода може успешно да се користи во текот на пресмеметка на геолошки рудни резерви и нивна категоризација/ прекатегоризација и класификација. Оконтурувањето на рудното тело или промената на неговите контури со помош на ArcMAP/ ArcGIS, може да се изведува во било кој стадиум на деталните или експлоатационите геолошки истражувања.

Клучни зборови: оконтурување, рудно тело, интерполација, кригинг, ArcMAP, ArcGIS, порфирски систем

CONTOURING ORE BODY IN A PORFY SYSTEM AN EXAMPLE MINERAL DEPOSITS FOR Cu, Au AND Ag „BOROV DOL"

A b s t r a c t: In this scientific work, as an example for contouring an ore body of Cu, Au & Ag in porphyric system via method of interpolation/kriging, with the help of ArcMap/ArcGIS are shown these steps. Contouring an ore body is shown in one horizontal and one vertical cross section. Same way of contouring can be done with the rest of the cross sections (profiles) which will help with calculations of ore reserves, categorization and classification. The aforementioned method of contouring, especially of ore bodies/deposits made in porphyric systems, where lithological, structural, facial character of the environment and morphology (impregnation and stockwork) of the inception of mineralization have a very important role of acquiring a geological reason in relation to the difference between an ore body and a dross, can be used successfully used in the course of calculation of geological ore reserves and its categorization/pre-categorization and classification. Contouring an ore body or changing its contours with the help of ArcMAP/ArcGIS, can be made in each of the phases of the detailed or the exploitational geological surveys.

Key words: contouring an ore body, interpolation, kriging, ArcMAP, ArcGIS, porphyric system

ВОВЕД

Една од суштествените работи во постапката за пресметка на геолошки рудни резерви, е оконтурување на рудното тело/наоѓалиште. Тоа најчесто се изведува анализирајќи ги хемиските резултати од лабораториските испитувања и согледувајќи го влијанието на контролните фактори (литолошки, структурни, фацијални) врз локализацијата и дистрибуцијата на минералните компоненти во просторот кој е предмет на истражување.

Во овој труд, прикажана е постапка за оконтурување на рудно тело/ наоѓалиште, кое генетски припаѓа во групата на порфирски наоѓалишта, оруднувањето е парагенетски поврзано со темно сиви трахи андезити кои се ситно до средно зрнести и хидротермално изменети, а средината во која се има извршено депонирање на минералната суровина се поврзува со фацијата на бело-сиви, средно зрнести, биотитски андезити кои се пропилитисани и во кои минерализацијата од пирит и халкопирит се појавува во вид на импрегнација и штокверк.

Оконтурувањето на рудното тело е изведено на начин применувајќи ги принципите на интерполација/ кригинг со помош на Excel и ArcMAP/ ArcGI.

ПРИМЕНЕТИ МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЊЕ И МЕТОДОЛОГИЈА НА ОБРАБОТКА НА ОД НИВ ДОБИЕНИТЕ ПОДАТОЦИ

Применети методи на истражување

Наоѓалиштето на бакар „Боров Дол“ е наоѓалиште кое во изминатиот период е истражувано повеќе децении. Во временскиот период од 1963 до денес, применети се скоро сите методи на геолошко истражување и врсти на истражни работи. На основа тие истражувања и од нив добиените резултати, ова наоѓалиште денес се смета за оптимално истражено и истото се наоѓа во почетна фаза на експлоатација.

Заради сублимација на конкретните работи кои со овој труд се сака да се истакнат ги посочуваме само следните:

1. Детално геолошко картирање на локалитетот каде се наоѓа наоѓалиштето „Боров Дол“,

2. Длабинско истражно дупчење по квадратна мрежа со над 75 изведени истражни дупнатини и повеќе од 17000 m извадено и искартирано јадро,

3. Изведено лабораториско испитување на земени проби од сите дупнатини. Пробите за лабораториски испитувања, најчесто се имаат земано на 2 m – интервали,

4. Интерпретација на геолошките резултати во вид на Елаборати за пресметка на рудни резерви на бакар од наоѓалиштето „Боров Дол“ итн.

Методологија на обработка на податоците кои се добиени од геолошките истражувања, а се употребени за интерполација/ кригинг и оконтурување на рудното тело/ наоѓалиште

Постапката, како е извршено оконтурувањето на рудното тело во наоѓалиштето „Боров Дол“, во суштина е класика, но за организација, обработка и анализа на податоците врз основа на кои е поставена контурата на рудното тело, користени се два програма, Excell и ArcMap. Инаку за постигнување на бараната цел извршено е следното:

– дефинирање на просторот кој е предиспониран за одлагање на рудната минерализација,

– определување на гранична сидржина (ГС) на минералната компонента (Cu) во рудната маса,

– извршена е пресметка на средната аритметичка вредност на бакарот во интервали од 15 m кои се застапени помеѓу апсолутни етажни хоризони,

– извршена е интерполација (кригинг) помеѓу концентрациите на бакарот која е добиена како средна аритметичка вредност од концентрациите на бакарот кои се појавуваат во двометарските интервални проби, а се однесуваат на профилни рамнини на кои се интерпретира дистрибуцијата на минералната компонента,

– резултатите од интерполацијата (кригинг) кои ја интерпретираат дистрибуцијата на бакар се прикажуваат на хоризонтални и вертикални профили во вид на класи кои се разграничени со бои и контури (изо линии),

Разликата помеѓу класичната методологија на оконтурување на рудното тело/ наоѓалиште и оваа која се прикажува во овој труд се состои во тоа што податоците кои се користат за да се постигне бараната цел се организират, обработуваат и интерпретираат во два софтверски програми (Excel и ArcMap/ Arc/GIS).

Овие два софтверски програми (Excel и ArcMAP/ Arc/GIS) се компатибилни помеѓу себе и многу моќни програми за обработка и прикажување на геостатистичка анализа, интерпретација и визуелна представа. Пример, можноста со ArcMap/ArcGIS софтверот да се врши интерполација/кригирање и задавање на простор кој е предиспониран за одлагање на корисните минерални компоненти Cu, Au и Ag во порфирски системи, овозможува:

– одлична визуелна претстава за просторната разместеност на минералната суровина и нејзиниот квалитет,

– овозможува максимална елиминација на субјективност при оконтурување на рудното тело/наоѓалиште,

– овозможува визуелна компарација и корелација помеѓу поединечно застапените минерални компоненти на Cu, Au и Ag,

– овозможува компарација на резултатите за просторната разместеност на корисните минерални компоненти Cu, Au и Ag, со резултатите за разместеноста и квалитетот на минералната суровина кои се добиени со други методи за оконтурување и пресметка на рудни резерви,

– овозможува едноставна надоградба на нови сознанија за рудното тело/наоѓалиште и моделирање во 2D и 3D модели.

За оконтурување на рудното тело на бакар „Боров Дол“ обработени се податоците кои се составен дел на „Елаборат од изведените детални геолошки истражувања, со пресметка на геолошките рудни резерви, на минералната суровина бакар на локалитетот “Боров Дол”, општина

Конче и општина Штип. Тоа се податоци кои се однесуваат на графичка документација (етажни карти, геолошки и геохемиски профили), и резултати, кои се добиени од лабораториските испитувања за определување на концентрацијата на бакар во 2 m - интервали од поединечните дупнатини.

Начинот на обработка на податоците кои се превземени од споменатиот елаборат и нивна интерпретација е следниот:

Прв чекор: направена е база на податоци која се однесува на содржините на Cu и истите се прикажани во Excel табели (Слики 1 и 2). Excel табелите се организирани на начин така да секоја табела ги содржи резултатите за концентрацијата на Cu во 2-метарските интервали од дупнатините кои се наоѓаат на тој профил. Податоците од табелите во Excel, можат лесно да се видат и обработат со дескриптивни статистички функции. Во табелите, покрај податоците кои се потребни за определување на број на елементи, max, min, rang, mod, median, kurtosis, skewness, стандардна девиација, коефициент на вариација и.т.н., прикажани се и податоци за:

– на кој профил се наоѓа дупнатината,

– име на дупнатината,

– координати и кота на дупнатината,

– интервал на опробување по должина на дупнатината,

– интервал на опробување по апсолутна надморска висина,

– содржина на бакарт за секој должен метар,

– содржина на бакар во композитна проба,

– средна содржина на Cu за интервал од 15 должни метри кои се подудараат со етажните нивоа од рударскиот проект (пример 615/600).

Прикажаните податоци на сликата 2, се податоци кои се хибридни и се изведени од податоците кои се наоѓаат на сликата 1. Тоа се податоци кои се однесуваат за содржината на Cu-от, во апсолутно висинскиот 15 метарски интервал во дупнатината и тоа за секоја етажа. Тоа значи дека X, Y, и Z претставуваат:

X – координатата по Y

Y – средната кота на етажата која е предмет на опсервација (d_z),

Z – средна аритметичката вредност од вредностите на 2 m-скиите интервали кои се наоѓаат на апсолутните висини.

Овие податоци кои се прикажани на слика 2, од програмот Excel се импортираат во ArcMap /ArcGIS, каде од нив се формира атребутна табела и од каде, потоа, самиот програм користи податоци за анализа и графичка интерпретација за многу различни функции.

Во овој труд прикажано е нивното користење за геостатистичка анализа и изработка на геохемиски карти и профили.

Втор чекор: „градење“ база на податоци која е составена од етажни карти (етажни блокови) и вертикални геолошки и геохемиски профили. Овие графички податоци во базата се најчесто складираат во tif. или jpg. електронски формат, а се преземени од постоечкиот елаборат за пресметка на рудни резерви.

Тематската содржина на етажните карти е: литологија, раседни структури, профилски линии, локација на истражни дупнатини со содржини на Cu за композит, мини блок со содржина на Cu во мини блокот.

Тематската содржина на геолошките профили е: профилска линија, литологија, раседни структури, истражни дупнатини со содржина на Cu и контура на рудно тело извлечена на основа хемиските резултати од композитните проби.

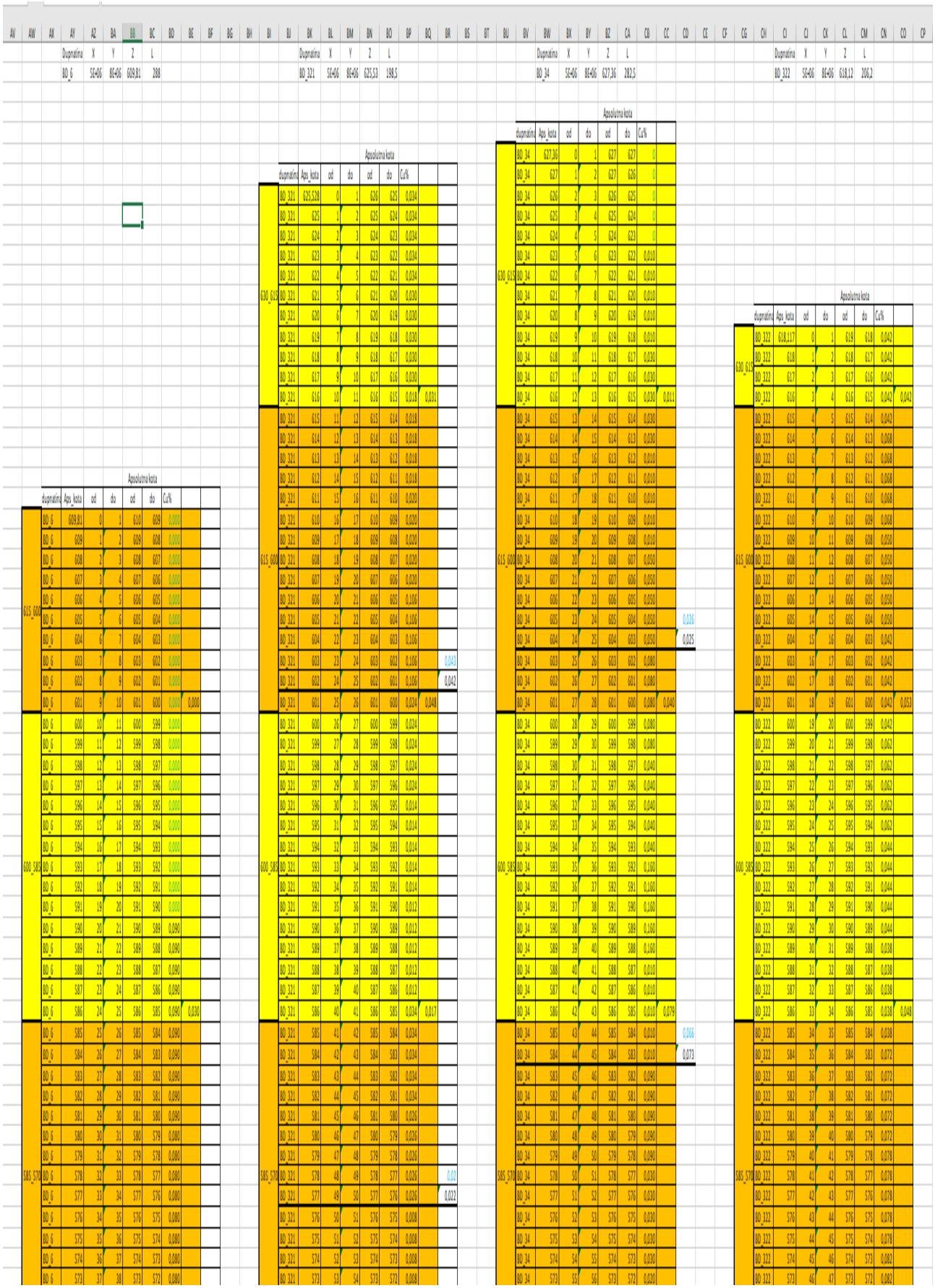
Тематската содржина на геохемиските профили е: профилска линија, истражни дупнатини со содржина од композитни проби, контури на мини блок (призма).

Трет чекор: во овој чекор извршено е импортирање на графичката документација (растери) и нивно георефеpенцирање во ArcMap/ ArcGIS.

Четврт чекор: во овој чекор е извршено импортирање на податоците од табелата кои се прикажани на слика 2 (податоци за содржина на Cu за одреден профил или етажна карта).

Пети чекор: во овој чекор извршена е обработка на податоците од слика 2 со алатката Spatial analyst tools – interpolation.

Со обработка на податоците со оваа алатка на ArcMap/ ArcGIS (а истата е со различни можности), импортираните податоци, кои се наоѓаат во атребутната табела, можат да се користат за добивање на различни информации. Со нивна анализа се ствараат посебни фјучер класи кои ја истакнуваат дистрибуцијата на бакарот на површината од анализираниот профил. Во таа постапка, согледувајќи ги контролните фактори кои е потребно да се следат, внимателно се задава површината каде е потребно да се изврши интерполацијата/ кригинг. Значи, потенцијалноста на просторот е дефинирана врз основа на расположливите литолошки, структурни и фацијални контролни фактора кои може да се извлечат од графичката документација.



Сл. 1. Табеларен приказ на обработени податоци од поединечни дупнатини

	A	B	C	D	E	F
1	Profil	X	Y	Z	d_z	Cu%
2	BD_32	4607418	7612177	609,72	608	0,004
3	BD_32	4607418	7612177	609,72	593	0,063
4	BD_32	4607418	7612177	609,72	578	0,059
5	BD_32	4607418	7612177	609,72	563	0,056
6	BD_32	4607418	7612177	609,72	548	0,058
7	BD_32	4607418	7612177	609,72	533	0,035
8	BD_32	4607418	7612177	609,72	518	0,091
9	BD_32	4607418	7612177	609,72	503	0,081
10	BD_32	4607418	7612177	609,72	488	0,033
11	BD_32	4607418	7612177	609,72	473	0,058
12	BD_32	4607418	7612177	609,72	458	0,054
13	BD_32	4607418	7612177	609,72	443	0,075
14	BD_32	4607418	7612177	609,72	428	0,073
15	BD_319	4607434	7612233	597,31	593	0,123
16	BD_319	4607434	7612233	597,31	578	0,217
17	BD_319	4607434	7612233	597,31	563	0,223
18	BD_319	4607434	7612233	597,31	548	0,272
19	BD_319	4607434	7612233	597,31	533	0,231
20	BD_319	4607434	7612233	597,31	518	0,259
21	BD_319	4607434	7612233	597,31	503	0,220
22	BD_319	4607434	7612233	597,31	488	0,194
23	BD_319	4607434	7612233	597,31	473	0,094
24	BD_319	4607434	7612233	597,31	458	0,170
25	BD_319	4607434	7612233	597,31	443	0,128
26	BD_319	4607434	7612233	597,31	428	0,139
27	BD_319	4607434	7612233	597,31	413	0,091
28	BD_33	4607455	7612272	585,54	578	0,103

Сл. 2. Просторен податок за содржина на бакар

Со можноста, леерите на фјучер класите да бидат транспарентни, во позадина се поставуваат геореференцираните растери (етажни блокови, и геолошки/ геохемиски профили) и со преклоп на резултатите, кои се добиени од интерполацијата/ кригинг со ArcMAP и растерските слики (етажни карти или профили) превземени од елаборатот, се добива визуелна претстава за евентуални постоечки разлики и нивната локација.

На ист начин се повторува постапката за оконтурување и компарација на рудното тело кое се прикажува на вертикални профили (Слика 4).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати кои се добиваат со примена на една таква методолошка постапка на оконтурување на рудното тело/наоѓалиште се:

1. Добивање податоци за дескриптивните статистички обележја на рудното тело кое се пресекува со истражните дупнатини на карактеристични хоризонтални и вертикални профили.

2. Постоење на „жив“ компатибилен документ кој може да се менува и надоградува во континуитет, а е во зависност од степенот и прогресот на моменталната истраженост на наоѓалиштето.

3. И покрај тоа што начинот на кој се врши оконтурување на рудното тело е сложена функција која во обзир зема повеќе променливи фактори кои се од натурална, вредносна или субјективна природа, применувајќи ја оваа методологија, се добиваат повеќе варијантни решенија, зголемена сигурност при интерполацијата/ кригингот и олеснет начин на прикажување на резултатите кои се добиваат во таа постапка.

4. Визуелна претстава за дистрибуцијата на корисните минерални компоненти во минералната суровина по хоризонтални и вертикални профили,

5. Можност за компарација и воочување на причина за постоење на разлики помеѓу извршеното оконтурување на рудното тело со ArcMap/ ArcGIS и кнтурите на рудното тело, односно контурите на мини блоковите во рамки на етажните блокови, кои се прикажани на етажните и геохемиските профили во елаборатот за пресметката на геолошките рудни резерви,

1. Можност за поврзување со севкупната геолошка и рударска документација која постои за наоѓалиштето.

2. Други можности кој ArcMap -от на ESRI ги овозможува.

Дискусија на резултатите кои се добиени:

Со обработката и организацијата на податоците од хемиските анализи и графичката документација во Excel табели и ArcMap, се овозможува анализа на тие податоци од повеќе аспекти:

– дескриптивна статистичка анализа на податоци од дупнатината или профилот/етажната карта,

– пресметка на средна содржина во мини блоковите од етажен блок,

– уочување на постоечки разлики помеѓу прифатени содржини од композитните проби (кои често хипсометриски не се преклопуваат со мини блоковите на етажните блокови) и содржината на Cu во мини блокот која е пресметана врз основа на содржината на пробата од 2 m -скиот интервал, а се наоѓаат во етажните блокови кои се дефинирани со апсолутни коти,

– компатибилни податоци кои можат да се употребуваат за различни цели во ArcMap,

– се формираат фјучер класи со кои дустрибуцијата на корисните минерални компоненти

се дефинира врз основа на: лабораториски анализи за содржина на корисните минерални компоненти на поедини етажни блокови или вертикални профили, геолошките контролни фактори и ГС на бакарот која представува синтетски показател,

– со креирањето на фјучер класите кои ја дефинираат дистрибуцијата на корисните минерални компоненти во ArcMAP, се овозможува едноставен увид за просторната дистрибуцијата на минералните компоненти по хоризонтални и вертикални профили, дистрибуцијата на минералните компоненти се прикажува во вид на класи и контури (изо линии). Секоја класа е прикажана со различна боја, а на контурите е запишан распонот на класата,

– интерполацијата/ кригинг за оваа оконтурување е извршена со посматрање на централен податок во однос на 5 околни податоци (бројот на посматраните околни вредности може да се менува и да биде поголем),

– постојат и дрги опции кои се интересни за анализа, но за нив во друга прилика.

Од приложените слики (слика 3 и 4), конкртно за ЕВ 480/465 и вертикален профил 5А, може да се констатира дека воопшто не претставува проблем да се измери површината на рудното тело кое се појавува на тие профили. Во комбинација со застапените истражни работи и максимално дозволени растојанија помеѓу истражните работи за одредена категорија на геолошки рудни резерви, истите можат да се категоризираат, а со тоа и да се изврши пресметка на геолошките рудни резерви.

Со изработката на фјучер класите со кои се интерпретира дистрибуцијата на корисните минерални компоненти во минералната суровина по хоризонтални и вертикални профили, во комбинација со растерите на кои е прикажана геолошката градба на средината и контурите на рудното тело, како и формираните мини блокови кои се прикажани на етажните карти и геохемиските профили, се овозможува едноставна компарација и проверка на геолошкиот резон во донесување одлука за формирање на мини блок во рамките на етажниот блок.

Слика 3, претставува ЕВ 480/465 на која се прикажани:

– мини блокови кои се формирани врз основа на принципите на интерполација и екстраполација помеѓу податоците од истражните работи (дупнатини).

– податокот за содржината на бакарот во мини блокот која е прифатена да биде од соодветната композитна проба земена од дупнатина и која најмногу одговара за тој мини блок во етажен блок,

– од локацијата на истраните дупнатини, врз основа на кои се врши геометризацијата на мини блокот се гледа дека тие може да бидат со: централна, или да бидат лоцирани во темињата на мини блокот,

– кога дупнатината се наоѓа во центарот на мини блокот, тогаш содржината од одговарачката композитна проба се смета како репрезент за целиот блок, а кога се наоѓаат во темињата на мини блокот, тогаш содржината на мини блокот се пресметува како средна пондерисана вредност од средните аритметички вредности на композитните проби кои тој мини блок го ограничуваат.

Практично тоа е картата на етажниот блок врз основа на која е извршена пресметка на рудните резерви по главната метода за пресметка.

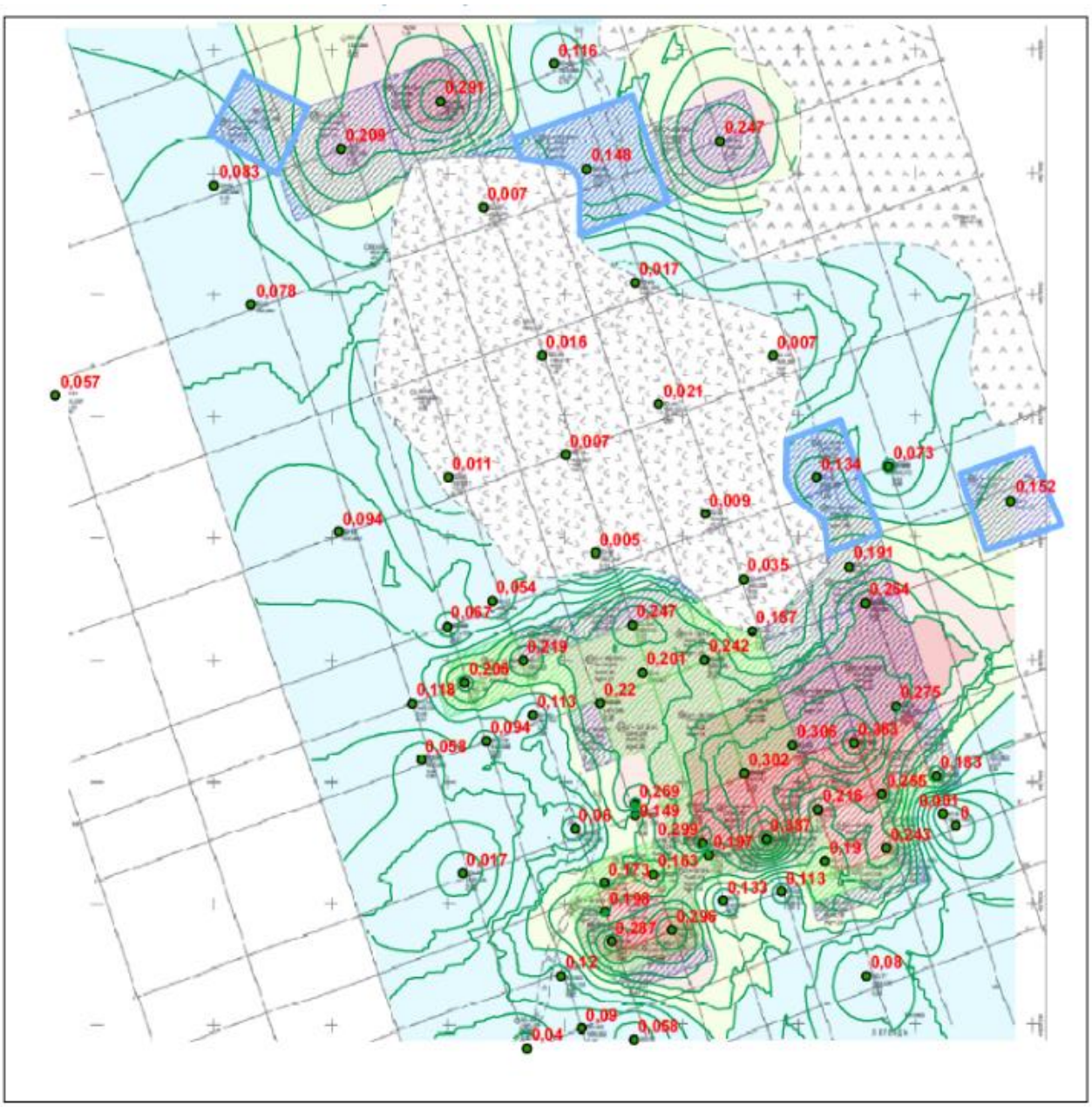
Дополнителна содржина на оваа карта (слика 3) се фјучер класите од интерполацијата/ кригинг која е изведена со ArcMAP и истата е претставена со класи во боја и контури (изо линии), а се однесуваат на дистрибицијата на бакарот кој е застапрн во ЕВ 480/465 или на профил 5А (слика 4).

Од слика 3 може да се констатира дека:

– рудното тело, просторно е застапено во северните и во јужните делови од наоѓалиштето, лоцирано во бело-сиви средно зрнести биотитски андезити, кои се пропилитисани. Рудното тело од една страна е контролирано со андезитскиот субвулкански излив кој е изграден од хидротермално изменети темно сиви трахи андезити ситно до средно зрнести, а од друга страна со пепеласти андезитски туфови, лапоровити песочници и андезитски бречи.

– во однос на прашањето дали постои отворена аномалија на бакар, може да се констатира дека таа постои и затоа идните геолоши истражувања е потребно да се насочат источно од BD-322 и BD-30 на профил 5 и профил 4. Исто така, со истражно дупчење е потребно да се продолжи и источно од BD-49 и BD-19 на профил 8 и 7. За тој простор не постојат податоци и затоа се потребни дополнителни истражувања.

– постои отворена аномалија и северно од BD-61 и 62, но кога ќе се земат во обзир резултатите од BD-68, 69 и 70, тогаш аномалијата во правец на север за ЕВ 480/465 се затвара.



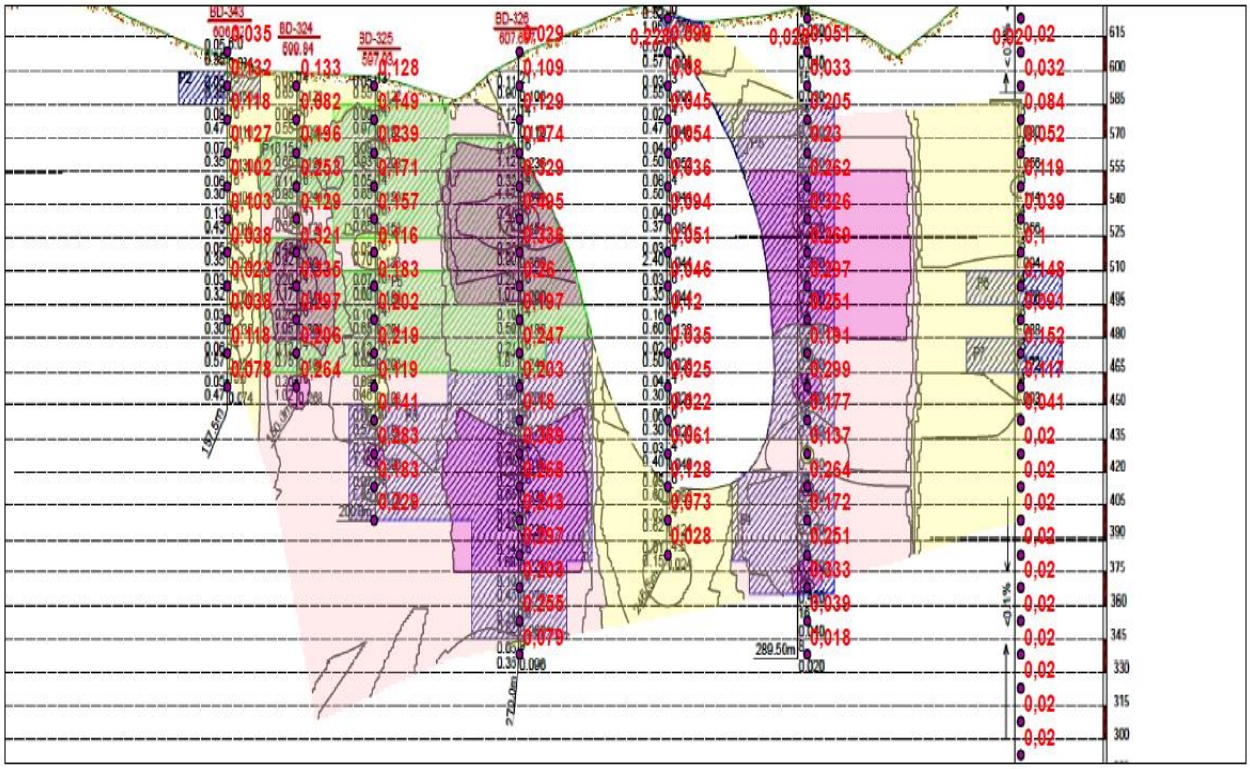
ЛЕГЕНДА

- Сомнителни мини блокови
- EB_480_465_dupnatini
- Мини блокови од A_категорија
- Мини блокови од B_категорија
- Мини блокови од C1_категорија

EB_480_465_Kriging

- 0,0005 - 0,01
- 0,010 - 0,150
- 0,150 - 0,200
- 0,200 - 0,250
- 0,250 - 0,386
- EB_480_465_interpolacija

Сл. 3. Приказ на оконтурено телона ЕВ 480/465 со фолна ГС на Cu од 0,15% I компарација на мини блокови кои се прикажани на растер ЕВ 480/465



Сл. 4. Приказ на оконтурено рудно тело на профил 5А со долна ГС на Cu од 0,15% и компарација на мини блокови кои се прикажани на расте ГХ профил 5А

Во однос на постоење разлика помеѓу контурите на рудното тело прикажано во главната пресметка (Елаборатот) и контурите на рудното тело кои се добиваат со интерполација/ кригинг со ArcMap, може да се констатира дека тие постојат и истите се видливи. Разлика постои на неколку места:

– блоковите 33 и 32 на профил 6, Arc Map-от не ги препознава,

– блокот 35 на профил 9 исто така не се препознава,

– блокот 38 е надвор од отворена аномална зона,

– блокот 39 на профил 5А е на границата на отворена аномалија и истиот е премногу ризичен за да се прифати како резерви со степен на истраженост од C_1-категорија.

Останатиот простор на кој претходно е извршено оконтурување на мини блокови во рамките на етажниот блок се прилично добро совпаѓа со интерполацијата које е извршена со ArcMAP-от.

Врз основа на вака направената аналитика, потребно е да се изврши проверка и да се утврдат кои се причините за постоење на разликата помеѓу главната пресметковна метода и компаративната метода која може да се изработи земајќи го во предвид оконтурувањето на рудното тело со интерполација/ кригинг со ArcMap-от.

Потребно е да се истакне и дека со организација на севкупната техничка документација во ArcMap-от постои можност за поврзување на база на податоци во која се сместени сите податоци од геолошките истражувања и рударски

активности. Оваа можност на ArcMAP-от нуди секогаш брз и комплетен увид и анализа во севкупната техничка документација.

ЗАКЛУЧОЦИ

1. Оконтурувањето на рудно тело/наоѓалиште со помош на ArcMap е класична, но сигурна метода, изработена со современ технички и електронски јазик.

2. Оконтурувањето на рудно тело/наоѓалиште со помош на ArcMap може да се користи како компаративна метода во текот на пресметката, категоризацијата и класификацијата на минералната суровина. Поготово, овој начин на оконтурување на рудното тело може да биде добар коректор за моделирање на геолошкиот резон и формирањето на мини блокови во рамки на етажниот блок кои засега се дел на главната пресметковна метода за Боров долското наоѓалиште на Cu, Au и Ag.

3. Податоците кои се добиваат со оконтурувањето на рудно тело/наоѓалиште со помош на ArcMap се компатибилни и можат да се користат во програмот AutoCAD.

4. Порфирско наоѓалиште на бакар, какво што е Боров Дол пожелно е да за постоечката техничка документација развие база на податоци кои можат да се анализират и интерпретират во ArcMap/ArcGIS. Пожелноста се состои во тоа што овој програм покрај техничко-оперативните можности за истражување и експлоатација на минералната суровина, нуди и можност за негово глобално претставување на Европската геолошка карта како наоѓалиште/ рудник на Cu, Au и Ag.

БЛАГОДАРНИЦА Користиме можност да искажеме голема благодарност на раководниот орган на рудникот Боров Дол, Г-дин Павел Кривинскиј кој овозможи користење на фондовската документација и согласност за објавување на овој труд на Геолошкиот конгрес на геолозите на Македонија 2021.

Исто така, за изработката на овој труд, изразуваме голема благодарност на колегата Коста Поцков, кој беше долгогодишен оперативен и истражувачки геолошки инженер во рудникот за бакар „Бучим“.

Во консултација и разговори со него, забележавме дека тој ја согледа предноста на оваа методологија за оконтурување на рудното тело во Боров Дол, како и потребата за изработка на нова, компаративна метода за пресметка, категоризација и класификација на рудните резерви на Cu, Au и Ag, со што, ќе се добијат многу по сигурни и реални сознанија за количините, разместеноста и дистрибуцијата на минералните компоненти во наоѓалиштето Боров Дол. Тоа за нас како изработувачи на овој труд, претставуваше уште еден предизвик за да се изработи и објави овој труд на Геолошкиот конгрес, но и да се претстави пред стручниот тим и пред генералниот директор на Боров Дол, Г-дин Павел Кривинскиј.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Јанковиќ С. (1981): Лежишта минералних сировина – Генеза рудних лежишта. Рударско-геолошки факултет Универзитет у Београду. Београд, стр. 571.

[2] Петковиќ М. (1982): Проспекција рудних лежишта .

[3] Серафимовски Т., Јеленковиќ Р. (1997): Наоѓалишта на метални минерални суровини, Рударско-геолошки факултет-Штип, Универзитет "Св. Кирил и Методиј", Скопје, 567 стр.

[4] Стафилов Т., Шајн Р. (2016) : Геохемиски атлас на Република Македонија. Природно-математички факултет Скопје.

[5] Јанковиќ С., (1957): *Опробавање и прорачун резерви минералних сировина*, Издање геолошког завода Србије..

[6] Серафимовски Т. (1990): *Металогенија на зоната Леце–Халкидики*“. Докторска дисертација. РГФ, Штип.

[7]Туџаров Н., (1993): *Металогенија на наоѓалиштето Боров Дол*, Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет – Штип, Универзитет “Кирил и Методиј” – Скопје, 195 стр.

[8] Чулев Г., Митевски Г., Туџаров Н., (1984): *Елаборат за пресметката на рудните резерви на Боров Дол,* Стручен гонд на рудникот Бучим.

[9] Петров Д., и други., (2014): Елаборат од изведените детални геолошки истражувања, со пресметка на геолошките рудни резерви, на минералната суровина бакар на локалитетот “Боров Дол”, општина Конче и општина Штип, изведувач “Геоинженеринг-М” ДООЕЛ, Скопје, инвеститор ДПТУ “Боров Дол” ДООЕЛ, Радовиш, 205 стр. + графички прилози.

[10] GDi Skopje, (2013): ArcGIS II Essrntial Workflows,

[11] Службен лист на СФРЈ 53/79,: *Правилник за класификација и категоризација на резервите на цврсти минерални суровини и за водење евиденција за нив.*

5. ГЕОЛОШКИ ХАЗАРДИ И ЗАШТИТА

Кли,атски промени

Геохазард

Геоекологија и заштита на животната средина

5-GH-01
UDC: 546.43:504.5]:628.84-763(497.711)

BARIUM IN AIRCONDITIONER FILTERS IN THE CITY OF SKOPJE (REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA)

Ivan Boev, Sonja Lepitkova

Faculty of Natural and Technical Sciences, Institute of Geology, "Goce Delčev" University in Štip, Blvd. Krste Misirkov 10-A, P.O, Box 210, 2000 Štip, North Macedonia
ivan.boev@ugd.edu.mk

A b s t r a c t: The presence of metals in the ambient air (ambient dust) in the urban environment is a frequent subject for research, and so far it has been worked out in many urban centers in the world. The systematic research for the contents of the ambient dust in the city of Skopje is not made before, so we cannot present such information. However, it should be emphasized that such information which refer on the contents of the urban dust exist in many towns, but that information is very changeable depending on the seasons in which the data is measured. As an example, on the basis of a large number of researches the metals which are present in the urban dust are divided in three groups: – Urban elements (Ba, Cd, Co, Cu, Mg, Pb, Sb, Ti, Zn). – Natural elements (Al, Ga, La, Mn, Na, Sr, Th, Y) – Elements with mixed background (Ca, Cs, Fe, Mo, Ni, Rb, Sr, U). There is accepted opinion that the background of the urban elements is primarily connected with the development of the traffic, the processes of corrosion of the materials build in the objects in the towns (buildings, houses, roads, etc.) as well as the emission of dust which appears in the soils, and fields with no grass. In order to be able to make any correlation of the obtained data which refer to a small number of measured samples (only of two locations) many deeper researchers are needed. From the other side, the influence of the contents of dust (as well as the ambient air) upon the health of the people is a topic which requests more serious and longer measures.

Key words: barium, urban elements, natural elemnets

БАРИУМ ВО ФИЛТРИТЕ НА КЛИМАТИЗЕРИТЕ ВО ГРАДОТ СКОПЈЕ (СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА)

Р е з и м е: Концентрациите на бариум во филтрите од климатизерите на одредени објекти во градот Скопје се зголемени како последица на сообраќајот во градот Скопје (во надворешните филтри) и како последица на вградувањето на пластични материјали во подовите на објектите (линолеум, внатрешни филтри).

Клучни зборови: бариум, природни елементи

INTRODUCTION

Soluble barium components are highly toxic when ingested into the human body, while insoluble components, such as the often present barium sulphate, are generally non-toxic. The soluble barium components that are inhaled cause benign pneumoconiosis or called baritosis). Intake of soluble barium components through food causes muscle stimulation, including the heart, irritation of the digestive system, and irritation of the central nervous system. (Browning, 1961).

The main source of barium components emitted into the atmosphere are industrial processes, including mining, refining, and production of barium and barium chemical compounds that are used as additives in fuels to reduce smoke emission in diesel engines. There is certain information concerning the emission of barium in diesel engines that ranges up to a maximum of 48 μg/m^3. (Fiorello, 1968).

There is very little information regarding the aspects of air pollution with barium and barium components. Most of the information relates to the concentration of barium in the atmosphere as a result of the impact of diesel engines (Golothan, 1967).

Barium soluble salts are highly toxic when ingested in the digestive system in humans. Barium chloride and barium carbonate are two soluble salts for which there are published results concerning toxicity (Browning, 1961, Patty, 1962), but it should be noted that the consequences of their toxicity are not fatal. One case has been reported (Browning, 1961) in which 7 grams of barium chloride were taken orally, with the occurrence of abdominal pain

and a complete collapse but without fatal consequences.

Insoluble barium sulphate is generally not toxic when ingested in the human digestive system. For example, barium sulphate is the most common insoluble component used in X-ray imaging of the human digestive system.

So far, no data have been published on the impact of barium compounds on domestic animals.

Miller (1967) published the results of the impact of the gases from diesel engines on white mice, whereby no visible effects were observed during liver analysis of the experimental mice.

No results have been reported regarding the impact of the concentration of barium on plants. In 1961 Browning mentioned that barium was toxic to plants, but he did not provide information on the chemical form and concentration, as well as on the type of plants.

Data relating to the environmental barium concentration standards can be found in the documents of the 29th Annual Conference of the US State Hygiene Office (1967), which mention the upper limit of exposure to soluble components of barium during 8 hours, which is 500 μg/m^3.

Mode of occurrence and usage

Barium is a soft metal with a silver color that in nature appears in association with other elements. It occurs most often in the form of veins in the lead and zinc deposits. There are two known major minerals of barium: baryte (barium sulphate $BaSO_4$) and witherite (barium carbonate $BaCO_3$). Baryte is mainly the most commercial mineral of barium. Smaller amounts of barium can also be found in the magmatic rocks, and as isomorphically present in feldspars and micas (Kirk-Otmer, 1964). Small amounts of barium are also present in coals (Abernathy et al, 1963) (Liu et all, 1983), (MacDonald et all, 1984) (Zierock, 1983), (Small, 1983).

Baryte (barium sulphate, $BaSO_4$) finds a great application in the chemical industry, as a pigment and as a filler it is used in the production of linoleum and other chemical products. The use of barium sulphate for medical purposes is important. Barium carbonate ($BaCO_3$) also has a significant usage (as a filler in glass industry), then barium chloride ($BaCl_2$) for medical purposes, barium nitrate ($Ba(NO_3)_2$ in the production of pyrotechnics and medical preparations, barium oxide (BaO) is used in the production of barium peroxide, barium hydroxyode and barium methoxide, and they are further used in the production of detergents.

Organometallic components of barium are used as additives in diesel fuels to reduce the presence of smoke in the exhaust fumes of diesel engines (Stern, 1968). In 1967 Miler published the results of research on the effects of barium additives on the reduction of smoke during the operation of diesel engines (Figure 1).

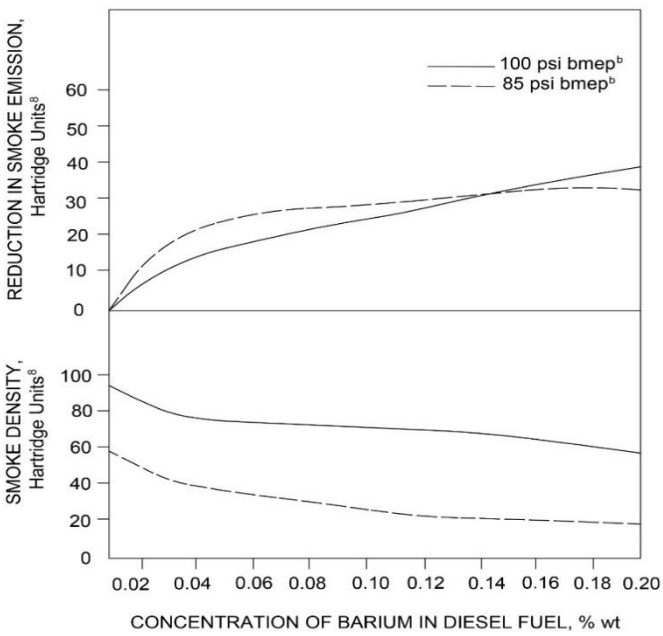


Fig. 1. Effects of barium additive on the reduction of smoke during the operation of diesel engines

METHODOLOGY

The following research methods were applied for the research activities:

- collecting samples of separate materials in the objects and determination of the presence of Ba and other elements with application of appropriate analytical techniques and methods. For that purpose, samples are collected from two locations in Skopje:
  - Skopje-Centar (outer filters, inside filters, walls, used poly-color, used agglomeration for leveling of floors, abrasive cleaning powder (Ajax) and liquid washing splendor (Glos), samples of the air and samples of the floor)
  - Skopje-Biser (outer filters, inside filters, walls, used poly-color, samples of the air)
- Determination of the presence of Ba and other metals with application of the methods ICP-MS
- Determination of the presence of Ba-phases in the samples from the walls and floors with application of Scaning Electronic Micoroscopy-SEM-EDS,

Methods of preparation of the specimens

Dry samples are extracted with a compound of acids, HCl/HNO_3, 16 hours at room temperature and reflux ion of 2 hours according to ISO 11464:1996 (E). The extract is filtered until the final volume and rarefied with nitrate acid. The contents of the metals in traces is determined with ICP-AES, Liberty 110, Varian, according to ISO 11885:1996 (E)

Reactants

All the used reactants are with cleanliness p.a. The cleanliness of the reactants is verified with an experiment.

Water: The quality of the redistilled water is according to ISO 3696, Grade 2.

HCl, 37%, $\rho = 1.19$ g/mol

HNO_3, 65%, $\rho = 1.40$ g/mol

H_2O_2, >30%, $\rho = 1.11$ g/mol

Standard dilutions

Basic standard dilution: ICP- Multi-element standard dilution, Merck IV, 23 elements in a diluted nitrate acid with a concentration for each element separately of 1000 mg/L: Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn

T a b l e 1

Conditions of work of the Inductive Linking Plasma

Conditions for ICP- AES, Liberty 110, Varian					
Introducing a sample					
Sprayer			V-groove		
Spray chamber			Inert Sturman-Masters		
Peristaltic pump			12 rollers, 1 turn/min increment		
Conditions for the program					
Power of plasma			1,0 kW		
Speed of pump/rpm			25		
Flow of Ar for plasma			15 L/min		
Time for stabilization			30 s		
Flow of axial Ar			1,5 L/min		
Time of flushing			30 s		
Pressure of sprayer			200 kPa		
Time of stagnation			30 s		
Correction of fon			dynamic		
High of plasma			Opt. SBR		
Conditions for elements					
Element	Wave length/nm	Slitt	Time for integration/s	Filter	Line of fender
As	193.696	0.02	7	1	1
Ni	352.45	0.02	5	6	1
Sr	407.77	0.02	5	7	1
Ba	455.403	0.02	5	7	1
Mn	257.61	0.01	5	6	2
Fe	259.94	0.01	5	6	2
Cr	267.72	0.01	5	6	2
Zn	213.86	0.007	5	6	1
Cu	324.75	0.01	5	6	2
Pb	220.35	0.007	7	6	1
Co	228.62	0.007	5	6	1
Cd	226.50	0.007	5	1	3

One-element standard dilution for As, Titirisol, Merck, 1000 mg/L.

Tools

The entire tool used for synthesis of the extracts and preparation of the standards is overflow in Nitrate acid for at least +6 ours, and then it is washed with redistilled water.

Analytical conditions for the work of the instruments

Conditions for work of Scanning Electronic Microscope.

The records of the samples and the chemical analyses are made with Scanning Electronic Microscope from the brand of JEOL JSM-6610LV which is equipped with energetic-dispersed spectrometer (EDS) from the brand *X-Max Large Area Analytical Silicon Drift*.

The recording of the samples is made with high vacuum of 20 kV whereas the source of electrons is LaB6 (Lantan-heksa-boridien) filament. The shown photographs are obtained with a help of detector for free electrons (SEI). The samples are blushed with gold and the unmarked piques of the spectrums belong to this element.

RESULTS AND DISCUSION

The obtained results of the research are shown in the Tables 2.

T a b l e 2

Results of the presence of Ba and other metals in the analyzed samples (method, ICP-AES, controlled with ICP-MS)

	1	2	3	4	5	6 (1)	6(2)	7	8	9	10	11	12	13
mg/kg	Outer filter Center	Inside filter Center	Section of wall Center	Agglomera-tion for allignment	Poly color Center	Cleaning abrasive Ajakx/mg·l^{-1}	Cleaning abrasive Glos/mg·l^{-1}	Sample from the floor	Inside filter Biser	Outer filter Biser	Section of wall Biser	Poly color Biser	Filtres (1+2+3+4)	Filtres (5+6+7+8)
Ba	292.6	282.7	0.54	27.7	7.56	<0.73	4.5	129.5	183.9	199.5	0.43	7.68	1.2	0.4
Sr	76.6	112.8	413.8	46.9	38.0	1.0	65.6	38.2	75.0	71.6	406.2	40.5	1.6	0.9
Fe	16562.7	12477.5	46.1	4237.6	298.7	<100	<100	162.7	12430.9	13980.8	63.5	267.2	58.3	31.1
Mn	461.4	355.2	<1	189.1	10.6	<1.33	<1.33	4.1	356.3	424.2	<1	9.9	<1	<1
Zn	1890.9	4277.7	6.4	38.2	9.4	<8	<8	38.6	4722.6	1154.2	4.3	8.4	6.4	3.9
Ni	66.7	60.3	4.9	16.6	6.9	32.0	28.0	<1.3	61.5	69.4	3.5	6.3	4.2	1.2
Cr	65.1	70.2	0.9	15.6	9.8	10.6	14.4	0.6	55.0	47.0	0.7	8.6	1.4	1.3
Cu	184.6	370.3	<3	0.5	<3	49.0	<7	2.6	600.4	116.6	<3	<3	32.1	26.0
Pb	243.2	360.5	<1.5	6.0	7.4	<1.5	<6	<1.5	543.0	164.4	<1.5	8.3	6.2	4.4
Co	7.4	13.1	0.4	1.8	0.6	2.5	<0.7	0.1	16.8	6.6	0.1	0.5	<0.7	<0.7
Cd	7.6	22.1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	32.6	4.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
As	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	1.1	<2.5	<2.5	<2.6	<2.6	<2.6	<2.6	0.1	2.0	1.2

The results obtained are showing significant amounts of Ba, Cu and Pb in analysed filters. Also is very important to concluded that concentration of barium is too high in floor samples of linoleum. Results obtained with SEM-EDS techniques are presented in following Figures and Tables.

Sample from floor 1:

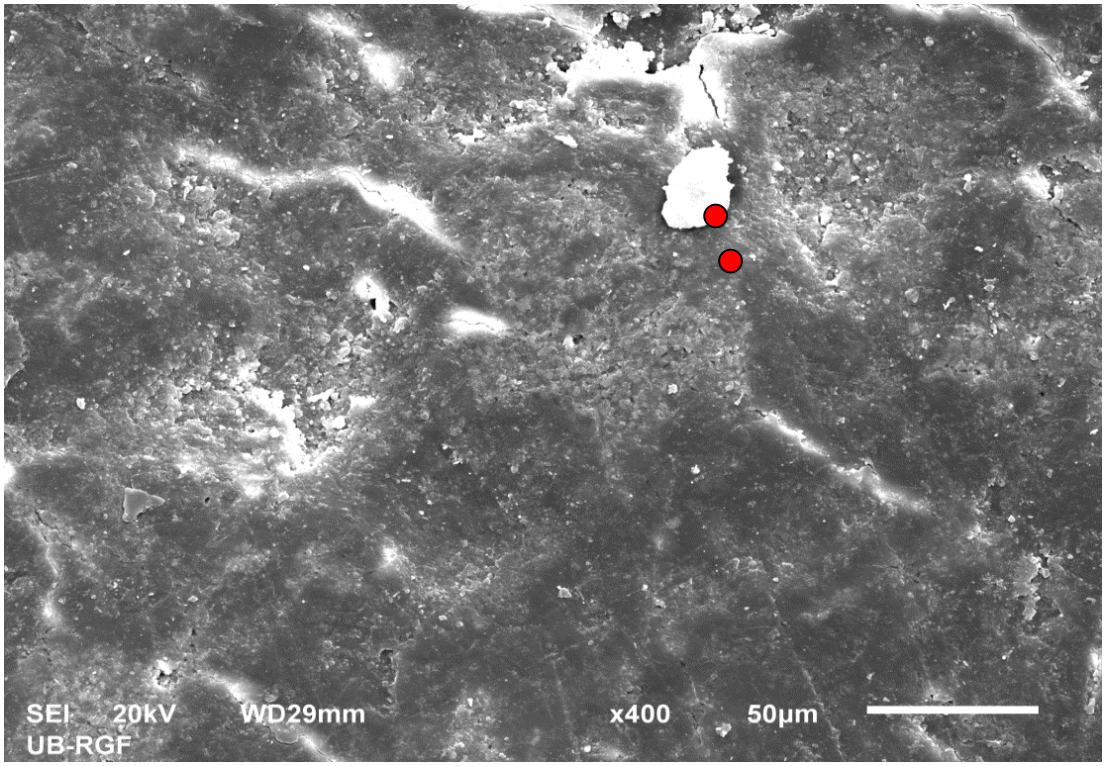


Fig. 2. Morphological view of the sample 1 (zoom 400×)

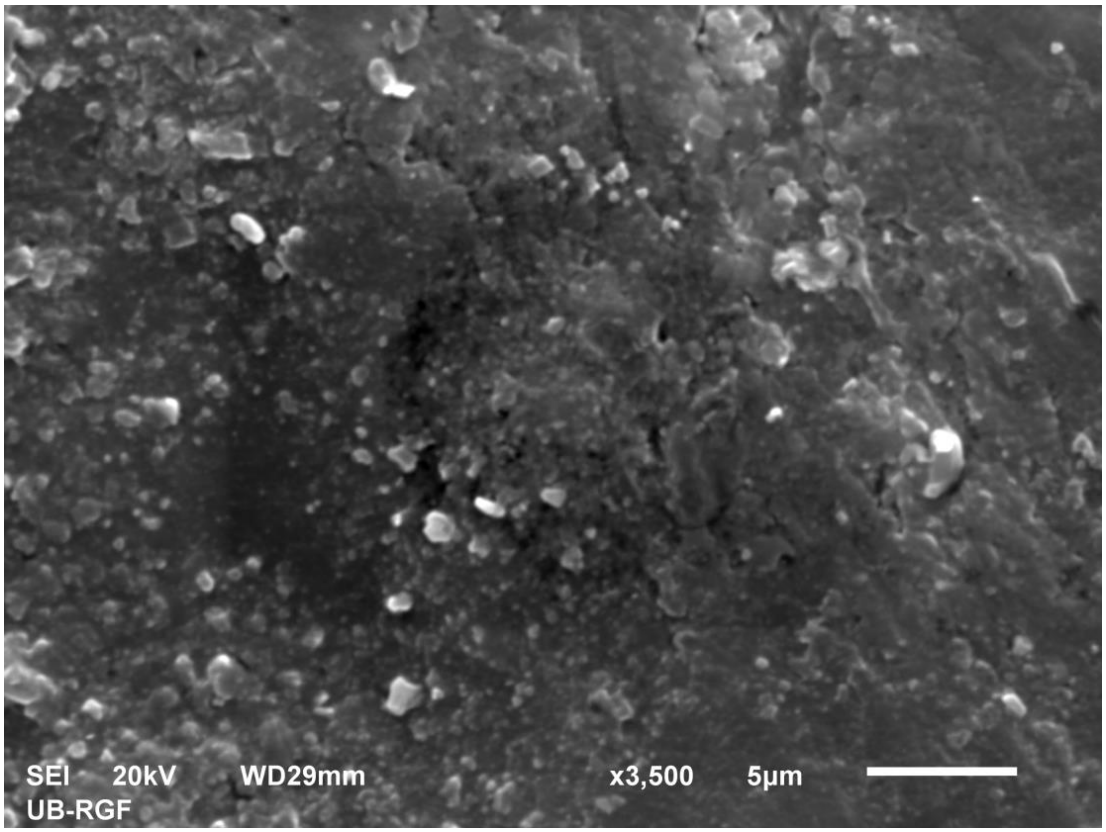
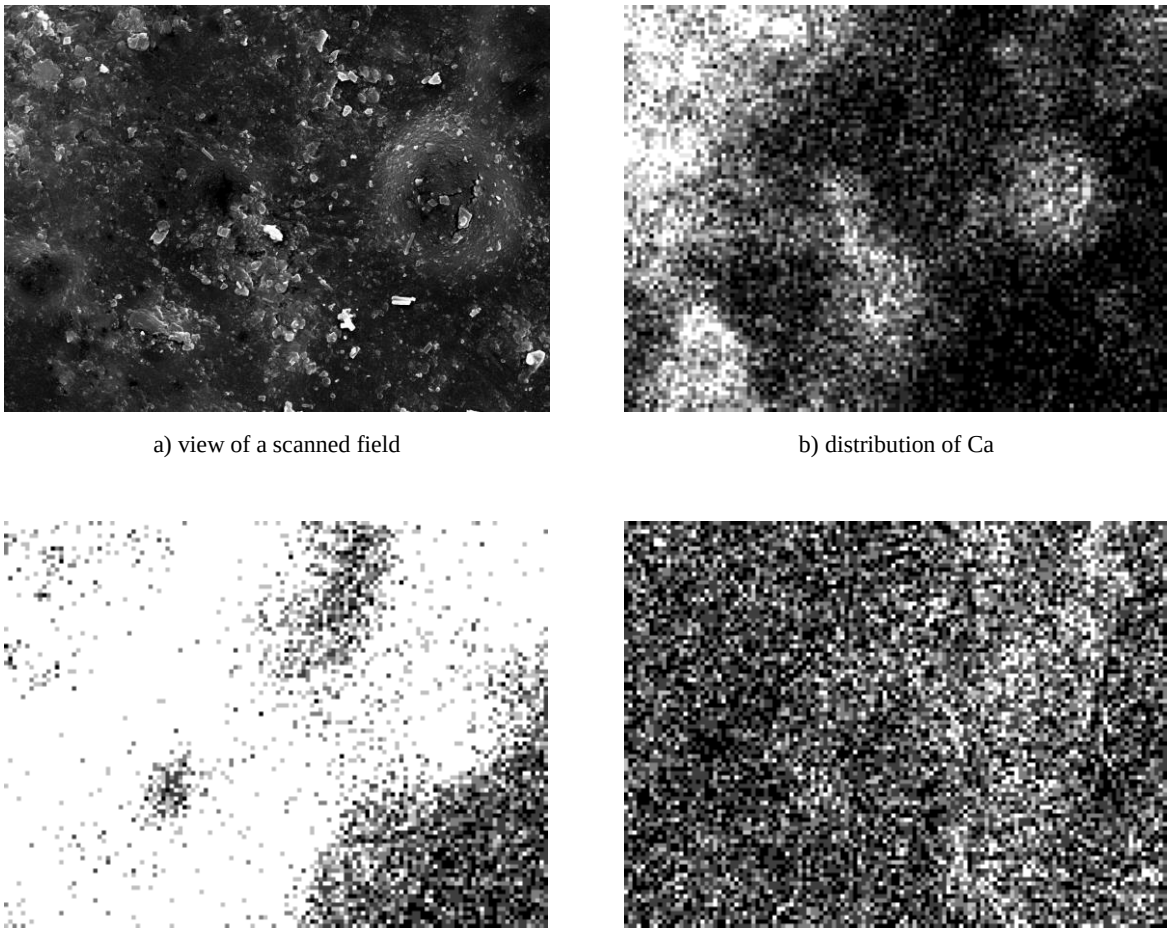


Fig. 3. Morphological view of the sample 1 (zoom 3500×)



a) view of a scanned field

b) distribution of Ca

c) distribution of Cl

d) distribution of C

Fig. 4. Results of the scanning of sample 1

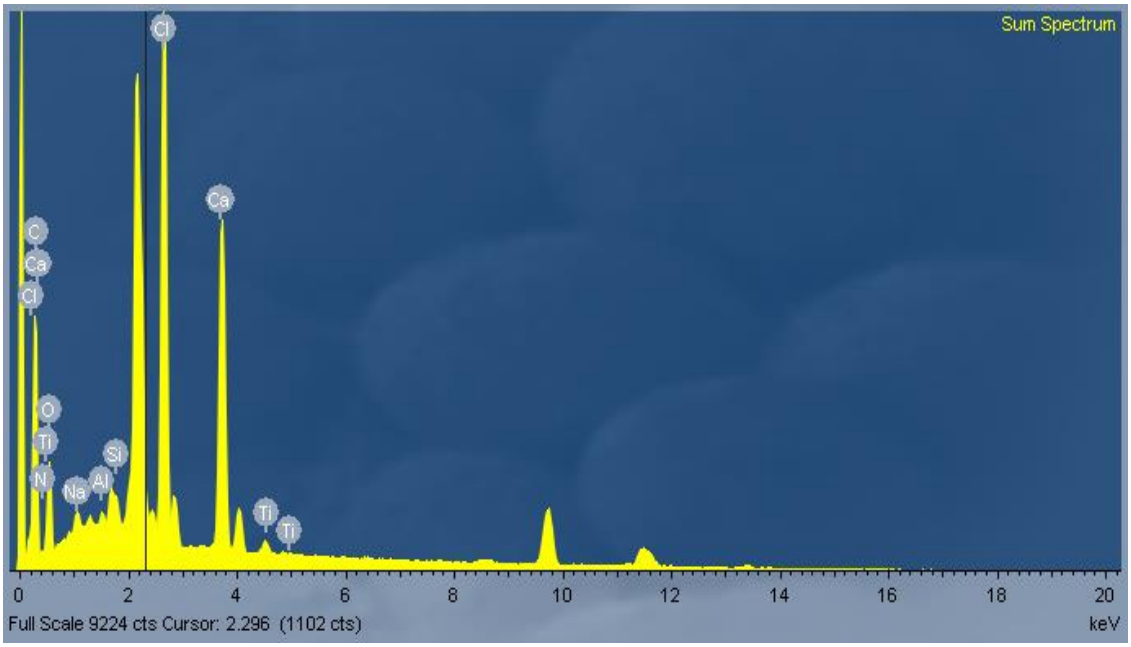


Fig. 5. Compound EDS spectrum of the analyzed field

T a b l e 3

Contents of the elements of the compound spectrum (Figure 5)

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
C K	18.90	0.1965	57.58	0.54	71.67
N K	0.00	0.0305	0.00	0.00	0.00
O K	6.48	0.1848	20.98	0.51	19.60
Na K	0.55	0.6880	0.48	0.05	0.31
Al K	0.29	0.7969	0.22	0.03	0.12
Si K	0.47	0.8861	0.32	0.03	0.17
Cl K	13.93	0.7612	10.95	0.14	4.62
Ca K	13.42	0.8919	9.01	0.12	3.36
Ti K	0.58	0.7394	0.47	0.04	0.15
Totals			**100.00**		

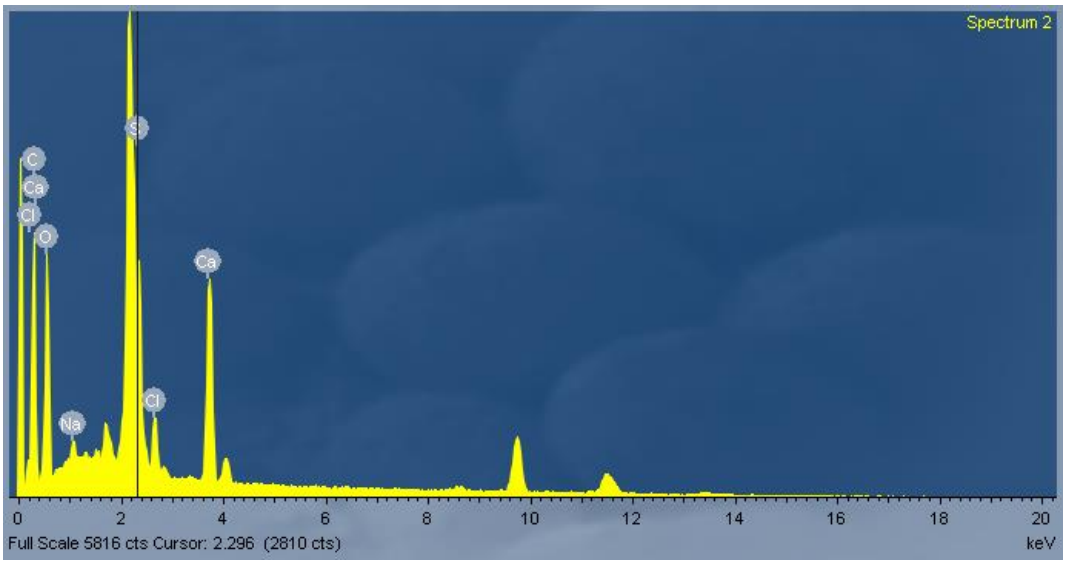


Fig. 6. EDS spectrum of the brightest point from picture

T a b l e 4

Contents of the elements of the compound spectrum (Figure 6)

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
C K	19.24	0.2891	46.29	0.77	56.80
O K	15.34	0.2587	41.28	0.74	38.02
Na K	0.49	0.6155	0.56	0.09	0.36
S K	4.98	0.8189	4.23	0.13	1.95
Cl K	1.50	0.7160	1.46	0.06	0.61
Ca K	8.00	0.9008	6.18	0.13	2.27
Totals			**100.00**		

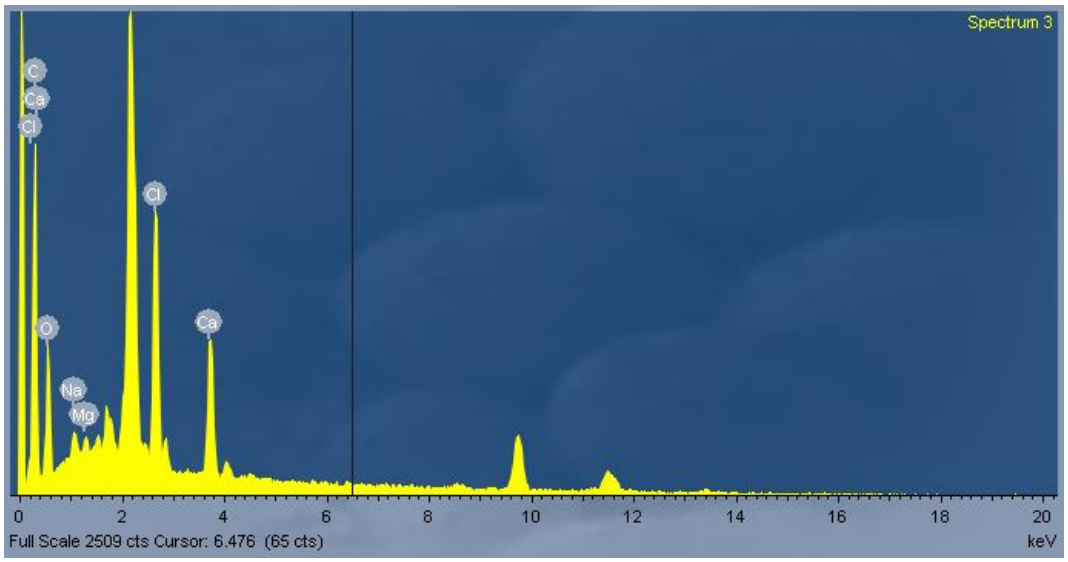


Fig. 7. EDS spectrum of the grey basis of Fig.1

T a b l e 5

Contents of the elements of the compound spectrum (Figure 7)

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
C K	16.05	0.2872	60.59	1.14	70.75
O K	5.62	0.2148	28.36	1.12	24.86
Na K	0.42	0.6714	0.68	0.13	0.42
Mg K	0.20	0.6604	0.34	0.09	0.19
Cl K	4.14	0.7466	6.01	0.19	2.38
Ca K	3.32	0.8950	4.02	0.15	1.41
Totals			**100.00**		

From the presented results we can conclude that the most dominant elements in the sample are carbon, oxygen, chlorine and calcium. This copy is very unstable under the electron beam because of the presence of organic compounds.

Sample from wall Biser 1:

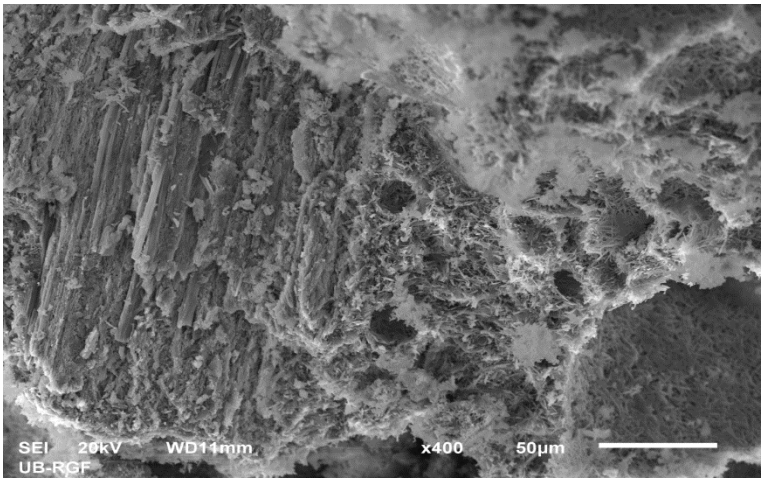


Fig. 8. Morphological view of the sample of wall 1 Biser (zoom 400×)

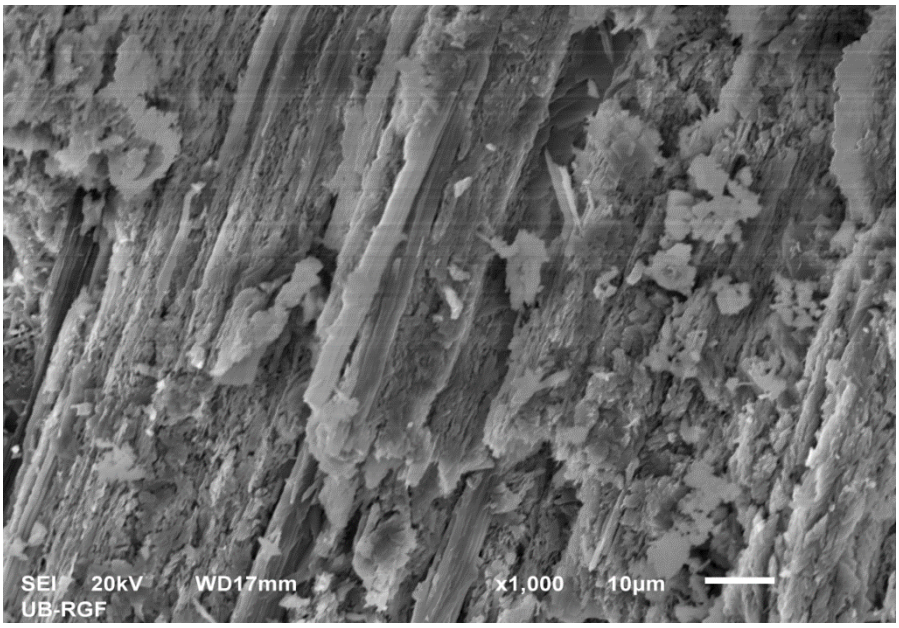


Fig. 9. Morphological view of the sample of wall 1 Biser (zoom 1000x)

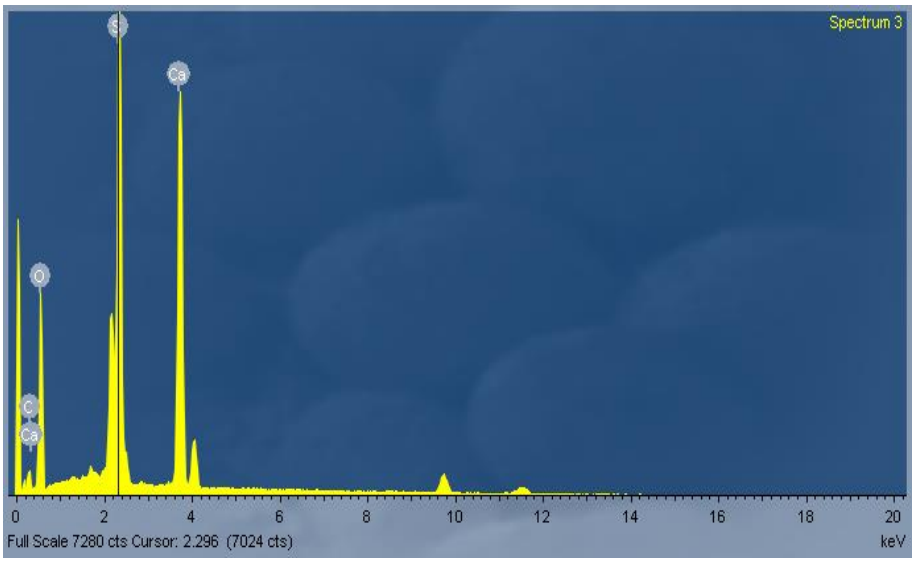


Fig. 10. EDS spectrum of the surface on Fig.8

T a b l e 6

Contents of the elements (spectrum of Figure 10)

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
C K	1.63	0.1461	10.02	1.14	15.95
O K	17.01	0.2807	54.57	0.85	65.21
S K	15.03	0.8294	16.33	0.31	9.74
Ca K	19.05	0.8990	19.08	0.34	9.10
Totals			100.00		

From the performed analyses it can be concluded that this sample represents the plaster that has a certain amount of calcium carbonate. Within the sample there are no visible phases containing Ba. Certain amount of Ba method ICP-AES and ICP-MS values are in ppm and as such they are isomorphic mixed in the carbonate and sulphate phases.

Sample from wall Centar 1.

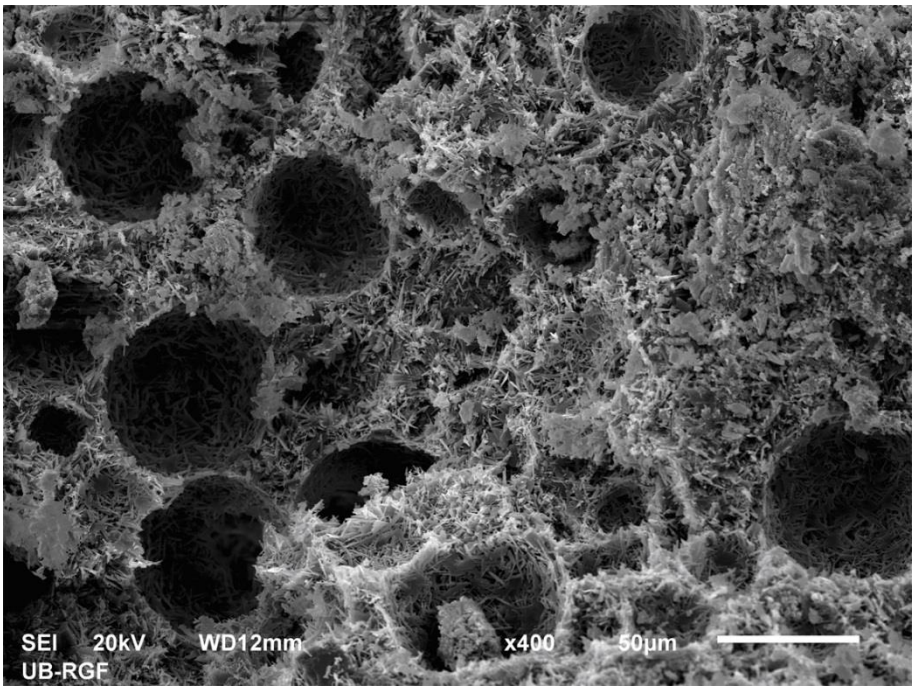


Fig. 11. Morphology of the sample 1 Centar (zoom 400×)

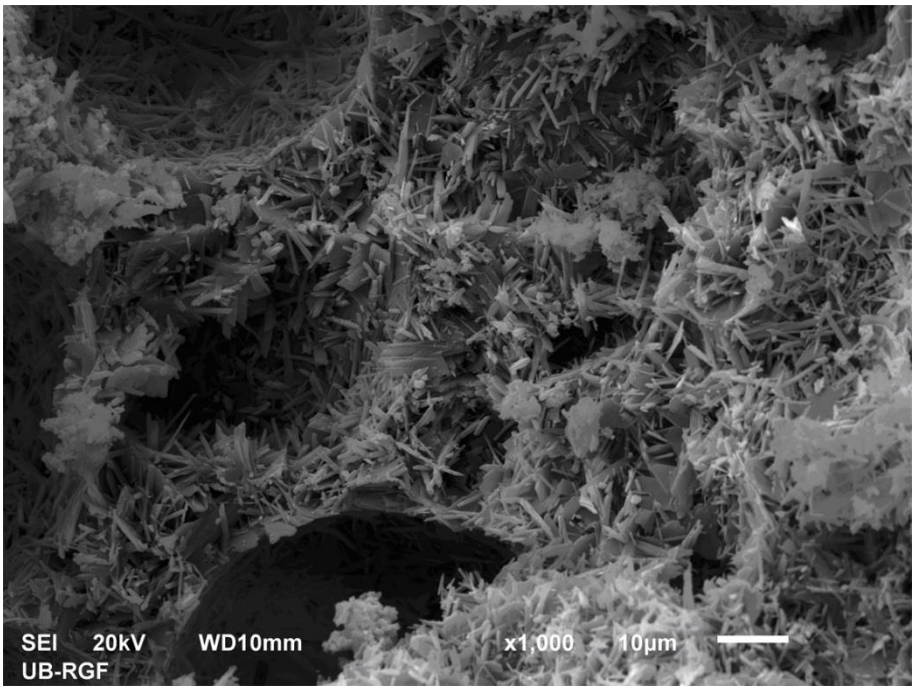


Fig.12. Morphology of the sample 1 Centar (zoom 1000×)

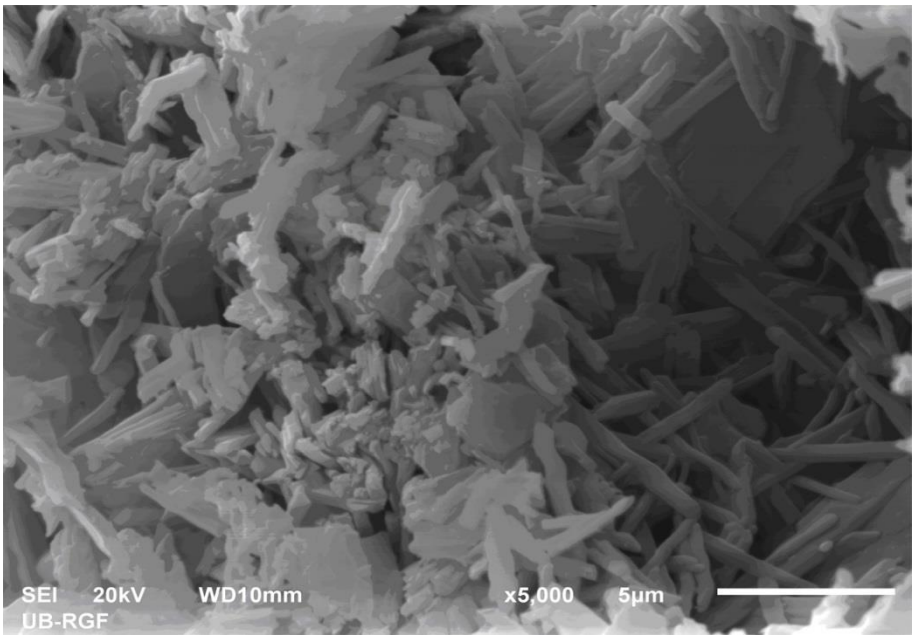


Fig. 13. Morphology of the sample 1 Centar (zoom 5000×)

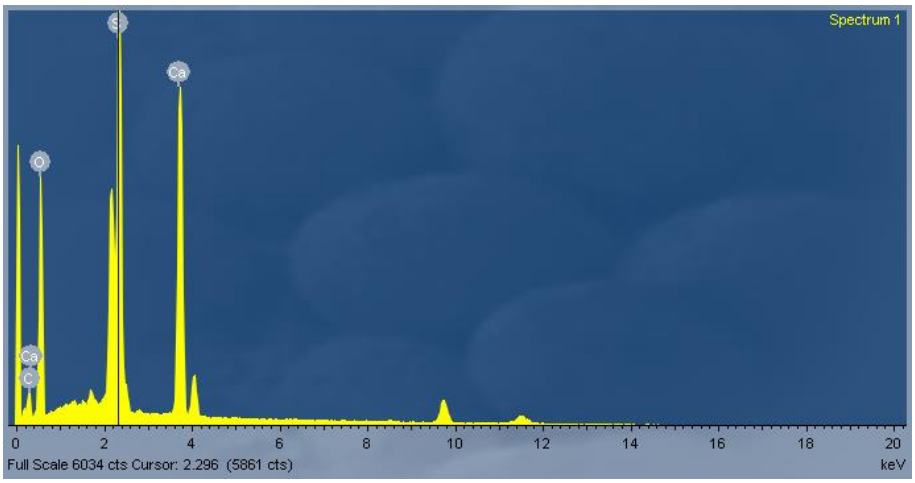


Fig. 14. Spectrum of the surface from Fig.12, sample 1 Centar

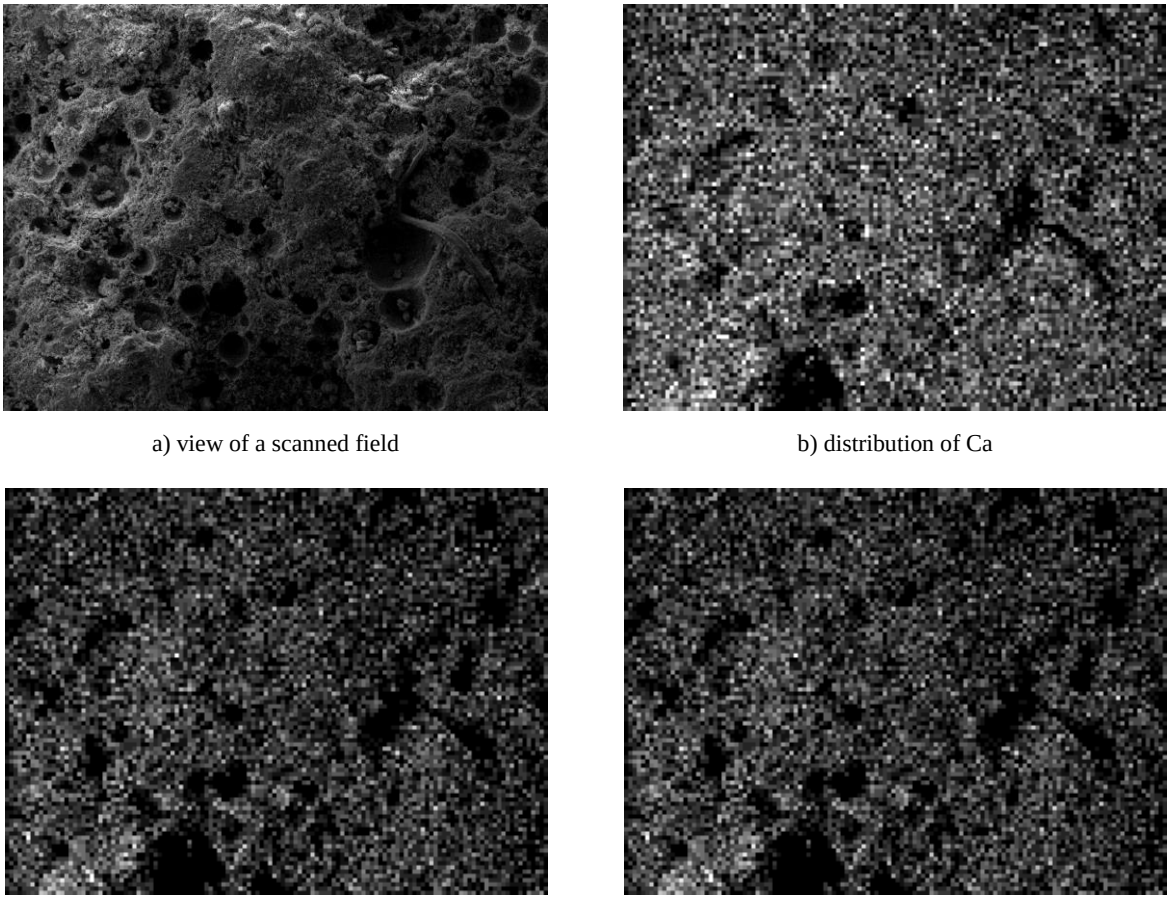
T a b l e 7

Contents of the determined elements (spectrum of Figure 14)

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
C K	2.24	0.1631	12.36	1.12	18.73
O K	20.21	0.3121	58.37	0.87	66.42
S K	12.47	0.8218	13.68	0.27	7.77
Ca K	15.57	0.9000	15.59	0.29	7.08
Totals			100.00		

Figure 15 shows the scanned field of sample from wall 1 Centar, whereas on the pictures 15a, 15b, 15c, 15d, the distribution of separate elements is shown.

From the conducted research it can be concluded that in the samples taken from the walls of the site center there is no presence of phases containing Ba. The deterimend concentration of Ba with the methods ICP-AES and ICP-MS techniques are in ppm values and are isomorphic mixed in calcium carbonate and calcium sulphate stages.



a) view of a scanned field

b) distribution of Ca

c) distribution of S

d) distribution of C

Fig, 15. Results of the scanning by SEM-EDS

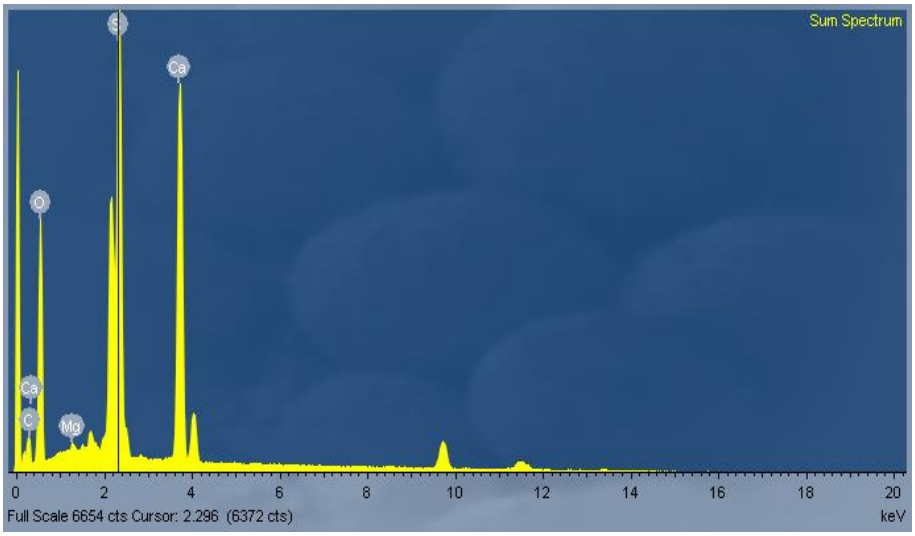


Fig. 16. Compound spectrum of the scanned field

T a b l e 8

Contents of the determined elements (compound spectrum of Figure 16)

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
C K	3.20	0.1605	12.53	0.81	19.19
O K	26.71	0.2980	56.41	0.63	64.86
Mg K	0.25	0.5770	0.27	0.05	0.21
S K	18.35	0.8233	14.03	0.20	8.05
Ca K	23.98	0.9005	16.75	0.22	7.69
Totals			**100.00**		

CONCLUSION

The main conclusions of the conducted research and the results shown are the following:

- Determined concentrations of Ba (and other metals Fe, Mn, Zn, Cu, Pb) in the inside and outer filters.
- At the object in centar these concentrations range from 282-292 mg/kg Ba.
- At the object Biser these concentrations range from 183-199 mg/kg.
- At the object in Bitola these concentrations range from 200 до 188 mg/kg.
- Higher concentration of Ba is found at the sample from the floor which is a plastic material, linoleum.
- Lower concentrations of Ba are found in the other samples, but these concentrations are not high.
- Concentrations of Ba are determined in the samples of air.
- At the samples of the isolated materials there are determined concentrations of sulphur (S) which are linked in the calcium-sulphate phases.

Determined concentrations of Ba in the inside and outer filters coming from the barium additive on the reduction of smoke during the operation of diesel engines and from the floor plastic materials (linoleum) inside of the buildings.

INSTEAD OF COMMENT

The presence of metals in the ambient air (ambient dust) in the urban environment is a frequent subject for research, and so far it has been worked out in many urban centers in the world. The systematic research for the contents of the ambient dust in the city of Skopje is not made before, so we cannot present such information. However, it should be emphasized that such information which refer on the contents of the urban dust exist in many towns, but that information is very changeable depending on the seasons in which the data is measured.

As an example, on the basis of a large number of researches the metals which are present in the urban dust are divided in three groups:

- Urban elements (Ba, Cd, Co, Cu, Mg, Pb, Sb, Ti, Zn),
- Natural elements (Al, Ga, La, Mn, Na, Sr, Th, Y),
- Elements with mixed background (Ca, Cs, Fe, Mo, Ni, Rb, Sr, U).

There is accepted opinion that the background of the urban elements is primarily connected with the development of the traffic, the processes of corrosion of the materials build in the objects in the towns (buildings, houses, roads, etc.) as well as the emission of dust which appears in the soils, and fields with no grass.

In order to be able to make any correlation of the obtained data which refer to a small number of measured samples (only of two locations) many deeper researchers are needed. From the other side, the influence of the contents of dust (as well as the ambient air) upon the health of the people is a topic which requests more serious and longer measures.

REFERENCES

Abernethy, R, F., Gibson, F. H. (1963) : Rare Elements in Coal, U.S.Bur.Mines, Inform.Circ, 8163, 1963

Kirk-Othmer. (1964): Barium and Barium Compounds, in Encyclopedia of Chemical Technology, Vol 3, pp, 77, 80, New York, Wiley, 1964

Browning, E. (1961): Toxicity of Industrial Metals, London Butterworths, pp 53-56, 1961

Fiorello, S. C. (1968): The navy's Smoke Abatement Program, Society of Automotive Engineers, S.A.E.680345, 1968

Golothan, D.W. (1967): Diesel Engine Exhaust Smoke, The Influence of Fuel Properties and the Effects of Using Barfium Containing Fuel Addtitive, Society of Automotive Engineers, S.A.E. 670092, 1962

Miller, C.O, (1967): Diesel smoke Suppression bu Fuel Additive Treatment, Society of Automotive Engineers, S.A.E. 670093, 1967

Patty, F.A. (1962): Industrial Hygiene and Toxicology, Vol. II, New York, Wiley, pp, 998–1002, 1962

Stern, A.C. (1968): Air Pollution, Vol. III, New York, Academic Press, 1968

Liu, B. Y. H., D. Y. H. Pui, and K. L. (1983): Rubow. Characteristics of Air Sampling Filter Media. Ch. in Aerosols In the Mining and Industrial Work Environments, Ed. by V. A. Marple and B. Y. H. Liu. Ann Arbor Science, v. **3**, 1983, pp. 989–1038.

MacDonald, J. S., N. J. Barsic, G. P. Gross, S. P. Shahed, and J. H. Johnson. (1984): Status of Diesel Particulate Measurement Methods (Pres. at Int. Congr. and Exposition, Detroit, MI, Feb. 27-Mar.2, 1984). SAE 840345, 1984, 20 pp.

Zierock, K. H. (1983): Characterization of Particulate Emissions From Diesel Engines.

Staub Reinha1t. Luft, Vol. **43**, No. 223, 1983, pp. 1–8.

Small, J. E. (1983): Health Effects of Diesel Exhaust Emissions in Underground

Mines. M. S. Thesis, Univ. M. N, Minneapolis, M. N. (1983) 98 pp.

5-GH-02
UDC: 504.4:556.166]:005(797.6)"2014"

NATURAL DISASTER IN BOSNIA AND HERZEGOVINA OVER 2014. WHAT WE LEARN – PREVENTION, DISASTER MANAGEMENT AND INTERVENTION

Toni Nikolić[1,3], Samir Huseinbasić[2], Suad Spago[3]

[1]*Federal geological survey, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina*
[2]*Ministry of security, Sector for protection and rescue, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina*
[3]*Faculty of civil engineering, University "Dzemal Bijedic" Mostar, Bosnia and Herzegovina*
nikolic_t@yahoo.com

A b s t r a c t: Over 2014. in Bosnia and Herzegovina was happened natural disaster like extensively rain fall which for consequence made flood and huge number of landslide, which had impact on safety human life and objects. The biggest impact was around river Bosnia. Action for rescue citizen and fast intervention was unable because of huge number citizen who need help (1 million citizens was direct or indirect impacted by disaster), 100.000 house was damage or destroyed, 2.100 landslide was active and 25 victims. The first 10 days was like suddenly day, people was on the roof, kids without food and half country below water. What was wrong, how we can predict and avoid damage and victim in future disaster, what we learn from this disaster of catastrophic scale (1/5 of territory affected) will be presented in this publication. If responsible agencies and institution had better equipment and better organized, with aim to effective warning civil protect institution and inform citizens about coming natural disaster, probably consequence of this disaster was been much less. Will be presented case disaster management from Japan, where we learn a lot new things what we can implement on our countries to be more ready for climate change what we can expect in next years.

Key words: natural disaster, flood, landslide, preventive action, disaster management

ПРИРОДНАТА КАСТАСТРОФА ВО БОСНА И ХЕРЦЕГОВИНА ВО 2014 ГОДИНА, ШТО НАУЧИВМЕ – ПРЕВЕНЦИЈА, УПРАВУВАЊЕ СО КАТАСТРОФИ И ИНТЕРВЕНЦИЈА

А п с т р а к т: Во 2014 година во Босна и Херцеговина се случи природна катастрофа, интензивно врнење на дожд што како последица доведе до поплава и огромен број на свлечишта, кое што имаше влијание врз безбедноста на животот на луѓето и објектите. Најголемото влијание се почувствува околу реката Босна. Беше оневозможена акцијата за спасување на луѓето како и брза интервенција поради огромниот број на жители на кои им требаше помош, (1 милион граѓани беа директно или индиректно погодени од катастрофата), 100.000 домови беа оштетени или уништени, беа активни 2.100 свлечишта а имаше и 25 човечки жртви. Првите 10 дена беа најтешки, луѓето беа на крововите, децата беа останати гладни без храна а половина од земјата беше под вода.Каде беше грешката? Како ние можеме да предвидиме и одбегнеме ваква штета и загуба на човечки животи во идните катастрофи, што ние научивме од оваа природна непогода од катастрофални рамки (беше погодена 1/5 од територијата.) Тоа ќе биде претставено во оваа публикација. Ако одговорните агенции и институции имаа подобра опрема и беа подобро организирани, со цел за ефикасно предупредување и заштита на жителите како и информирање за доаѓањето на природната катастрофа, веројатно попследиците од оваа катастрофа ќе беа многу помали. Ќе биде презентиран случај на управување со катастрофи во Јапонија, каде што ние учиме многу нови работи за тоа што ние би можеле да имплементираме во нашите земји како би биле поспремни за климатските промени кои што се очекуваат во следните години.

Клучни зборови: природна катастрофа, поплава, клизиште, превентивна активност, управување со катастрофа

INTRODUCTION

Extraordinarily heavy rains fell over Bosnia and Herzegovina (BiH) during the third week of May causing massive flooding in the northern, eastern and central parts of the territories bordering Croatia and Serbia. A low-pressure area designated „Yvette" or „Tamara" affected a large area of South-eastern and Central Europe, causing floods and landslides. These regions received more than 250 (in some areas up to 300) litres of rain per square metre, the highest amount measured in the country in the last 120 years. This rainfall caused sudden and extreme flooding of several rivers (Bosna, Drina, Una, Sava, Sana, Vrbas) and their tributaries as well as landslides. Urban, industrial and rural areas were completely submerged under water, cut off without electricity or communications

and with damage to roads and transport facilities. Consequently, a vast number of houses were destroyed damaged or left underwater, leading to a significant number of displaced households. The effect on productionactivities and basic and social services varied; however, there was a particularly large impact on the agriculture sector and small and medium commerce and activities in urban areas, which affected livelihoods and generated a potential food supply deficit. The intensity of the rains experienced during this short period is considered to have caused the most serious natural disaster in the country in the past 120 years, affecting approximately one-third of the country and touching more than one million people (more than a quarter of the population of 3.8 million). (Study, Recovery needs assessments need for flood in BIH over 2014.).

On the Figure 1. is shown affected area. The additional security hazard is linked to the fact that landmines contaminated over 70% of the flood affected zone. Floods and landslides have caused some landmines and UXO to „migrate“. Landmine warning signs have been washed away or displaced. As the waters recede and the clean-up tasks are undertaken locating and deactivating landmines and UXO will enhance the difficulty and cost of the process, in some instances delaying the possibility of the early recovery of activities and the return of households to their homes.

Fig. 1. Flooded area on regional view
(UN ReliefWEB by Sterco S., 2014)

Entities' Governments had declared state of Disaster / Emergency, but the Council of Ministers of Bosnia and Herzegovina didn't. A joint Operations Centre was active all the time and mechanism of interinstitutional coordination was activated under the Law-based coordination of the BiH Ministry of Security. This coordination mechanism enabled inter-agency collection of data, joined assessment of needs and coordination of delivery of assistance and humanitarian aid where needed. Through Operational- Communicational Centre of BiH – 112 a consolidated countrywide list of needs was issued, which is being met by international donors and domestic resources. Nevertheless, as the immediate response and emergency phase continued the Council of Ministers of BiH requested technical assistance from the international community for a Recovery Needs Assessment. This assessment does not supersede or close the emergency needs phase, as it will continue for several months. The actual reduction of the water level in some areas is ongoing, landmines and UXO and their markers have been displaced and as a consequence of landslides some slopes are unstable, which impedes the rapid return of some of the displaced population and the restarting of economic activity, particularly rapid agricultural replanting in certain areas.

The response of international organisations active in the country (the EU, EUFOR, Red Cross, NATO, OSCE, UN, WVI, Save the Children and bilateral actors such as the US and others) in terms of relief and life-saving needs has been massive. More than 20 Countries have contributed to the response operations (850 international responders).

HYDROGEOLOGY AND GEOLOGY DATA

Hydrometeorology and flood

Unusual rainstorm had brought water precipitation and impact on soil unknown for last 120 years, Figure 2. present data about rain velocity. That was the first condition for future disaster followed in next 5 days in BIH and countries around. Effects of flood was worst because cut forest, uncontroled action on river bed, building in the dangerous zone from flood and landslide.

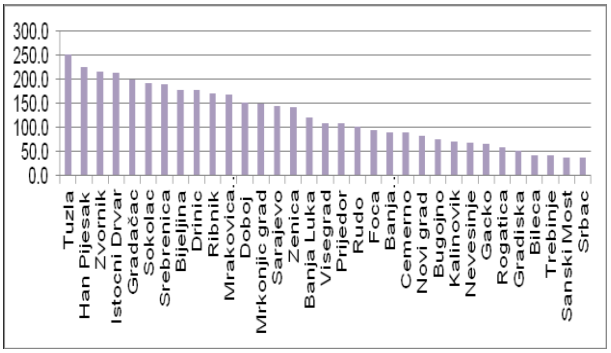


Fig. 2. Cumulative rain 12-20 May 2014 at major stations
(Federal and RS meteorological offices)

In the case of the Tuzla station, the normal rainfall for the month of May is 90 mm whereas this year over the period 14–18 May 247.8 mm was registered (normal yearly rainfall is 911 mm). Given the country‟s topography, a vast number of rivers descend from higher elevations and feed into the Sava downstream. This caused sudden flash floods and extended inundations in the vast lower plains, where much of the country‟s food and agricultural production is concentrated. This „cascading‟ effect is reflected in the days when each river peaked (reached its highest level). Water moved downstream and upon reaching the River Sana, which also received flows from its tributaries to the east, remained above normal levels for many weeks; this impeded the normal discharge and recession in the flooded areas. Over long period use any river bank couldnt resist to huge water come, Figure 3. river bank Breka on Sava river. On other place, like Bijeljina water blow up from the soil because high level of water and artificial dam on Modrac lake near Tuzla was already over their projected possibility to stop water, so water gone over dam, with high dangerous to be broken, crash and impact on thousand citizen below dam. Cross over river Bosna was flooded town Maglaj and Doboj, even we have indicators for possible flood relevant agencies late to inform citizen and organize evacuation, that way many family stay stocked in high building or they must go on roof if their house has one flour.

Fig. 3. Broken river bank on Sava river near Bijeljina (www.aktuelno.ba)

Geology, landslide, mudflow

North side of Bosnia and Herzegovina is more submissive on landslide forming because of deep surface cover by sensitive soil like marl, marlstone, clay and sand. Hard rock is below surface soil cover and after long period of rain lost friction and start to move down by gravity force over slope.

On the Figure 4. is map of sensitivity on landslide, where is red colour most sensitive and green stabile area. On the south Bosnia cover of rock so less and there we have mostly problem with rock feel down on some place. South Bosnia is mostly build from limestone rock and over rain, water very fast infiltrate over rocks because high porosity, without make any problem. Over disaster 2014. municipality Vogosca near Sarajevo was damaged by many landslides and geologist should made fast intervention action to stop landslide and save whatever was possible, there was more than 100 landslides and we must decide what is more important, some road and river bank we should do immediately but some can wait. On the Figure 5. is the local road, but which connect village with 20 house with town, kids couldn't go on school and distribution of food was problem, so we try on fast way to back road in function.

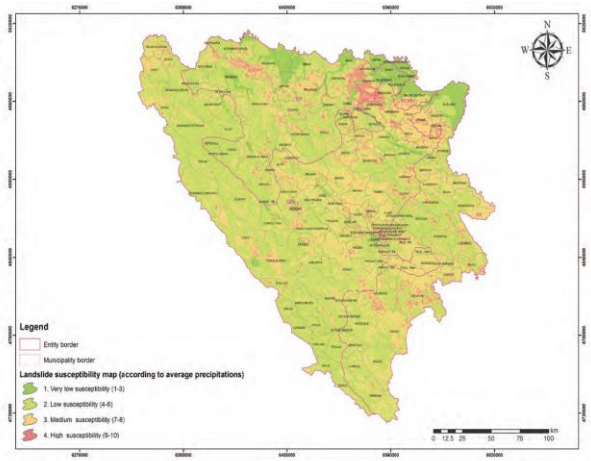


Fig. 4. Landslide Susceptibility Map of BiH 1: 100 000 (EU floods recovery programme 2015.)

Fig. 5. Main scarp of landslide on the local road in Vogosca (Nikolic T. 2014)

RECOGNIZED PROBLEMS AND MODALITY TO SOLVE IT

The best test for ready for disaster is over disaster. We had many missing part in prevention, prediction, alarming and rescue over disaster 2014. but if we learn something to increase our resistivity on disaster in next case, than we develop and it is good.

There will be shown just one sample of recognized problem with modus of solve. On the figure 6. is one of problem with „mudflow“ in the village Topcic Polje, where over 10 house been covered by mud in few minutes. Strong rain, sensitive soil, angle of slope is some of condition that happened there, but if ask whether something can be done to prevent and predict this situation, answer is Yes. That is not only one case on the World and used some already proved technology is possible to stop or make less impact on object by mud flow (debris flow) wall like shown on photo 7. from Kobe. If we want to make wall on debris flow, we should make maps with most possibility they can come, than make wall or net which can stop mad flow and there is not end of task, most important is to service this equipment, to clean it and repair if that is necessary over some period.

Fig. 6-7. Mudflow Topcic Polje, 2014. (up photo), mudflow wall Japan (Sabo dam), Kobe 2019. (down photo)

Second sample is from Doboj town, near Bosna river, where is over disaster water inundate over river bed and for 10 minutes come in all parts of town, flooded huge number of building and house. Un-property prevent action over flood and early warning system had for result slow reaction of citizens to save material subject, to victim and die many animals on the farm. Some problems were present on Figure 8. Square around is main category over which we look on vulnerability, and text inside cycle present failure in early warning and other action for reduce risk from disaster.

In the part of early warning system is very indicated not enough public inform about natural disaster (dangerous) with a target better preparedness and more effective self-protect and community protection (systematic action which made responsible institution). For the public consciousness increase, more planning and publishing over public media, new papers, electronic media and public network.

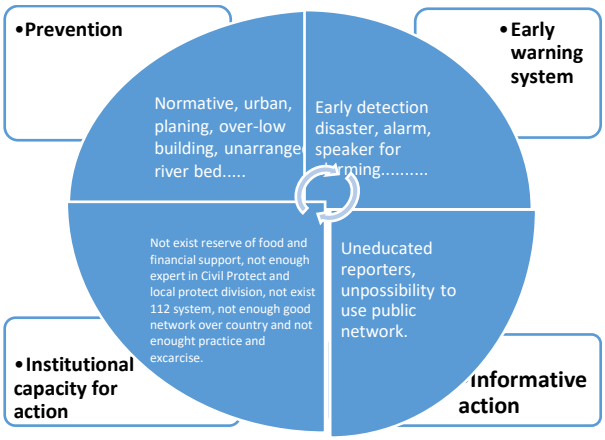


Fig. 8. Graphic overview vulnerability for Doboj city

Over analyze documents, conversation with experts in public service and facts, we can conclude how consequence of disaster become bigger because:

– unproperty or not enough action on river beds or slope, and directly antropogenic impact on safety,

– unstable slope (deforestration on some location and degradation made some slope unstable and sensitive on debris flow what treigger many landslide),

– not exist or not property systems for early detect dangerous and alarming.

CONCLUSIONS

Over flood and landslide 2014. Bosnian citizen and agencies didn't be ready for collapse what was been. Before all preventive action should be made over peaceful and quiet time (establish dam, early warning system, educate citizens about possible disaster (earthquake, flood, landslide...) what we can expect on target area, make enough big river and brook channel (especial for torrential flow below mountain), prepare citizen how to behave in extra-ordinary situation, educate and equip civil protect service and agencies for faster and practical intervention. One of the most important thing, is to predict in action plan service to recovery infrastructure, house, school, damage dam and other impacted structure, with aim to as soon as possible back humane life in condition before disaster.

Investing 1€ in prevention, save you 3€ over disaster (life, house, infrastrukture). That opinion was proven by japanese experts, who decrease demage and victim over disaster more than 60% because investing a lot of money in laboratory, education, prevention and recue team over last 50 years (Figure 9.)

Any disaster what was happened in the past should learn as to improve our Risk Disaster Management on higher level and reduce damage and victim in future as less as we can, try to be always step over disaster. These recommendations will help ensure that Disaster Risk Reduction (DRR) is a national and a local priority and has a strong institutional basis for implementation. Japan philosophy about this thing, increase his system on high level and reduce victim and infrastructure impact over 70% from 1959. What said big philosopher Aristotle "We should learn to expect, unexpected".

Fig. 9. Japan sample investment in DRR (www.mlit.go.jp)

REFERENCES

Bronnimann, C. S. (2011): *Effect of groundwater on landslide triggering*, pp. 80, Lausanne, Suisse,

Spiker, E. C., Gori, P. L. (1981): *National Landslide Hazards Mitigation Strategy*, Department of the interior U.S. Geological survey,

EU floods recovery programme (2015): *Floods and landslide risks assessment for the housing sector in Bosnia and Herzegovina*, Hydro-engineering institute (HEIS) Sarajevo,

Huseinbasic S. (2013): *Security risks and cooperation among South East European countries*, Jordan Studio, Sarajevo (BIH).

Huseinbasic S., Imisirovic B., Sljepcevic P., Nikolic T., Koprivica A. (2017): *Study about protection and rescue from natural disaster and others accident with focus on establish system of early alarming in flooded area*, OKC Banja Luka (BIH), Ministry of land, infrastructure, transport and tourism (MLIT) /www.mlit.go.jp/, Natural disaster /http://www.ready.gov/.

Nikolic T. (2013): The anthropogenic impact on slope stability in Bosnia and Herzegovina, Book of abstract, *The first symposium about landslide in Adriatic-Balkan region*, Zagreb, Croatia.

Nikolic, T. (2015): The preventive and urgent sanation activities to avoid landslide consequences – Case study of Vogosca Municipality during the period of floods in BIH in May 2014., *Proceedings of the second Regional Symposium in the Adriatic-Balkan Region 14-16 may 2015*. Belgrade, Serbia, RESYLAB University of Belgrade.

SENDAI framework for disaster risk reduction (2015-2030)

Varnes, DJ. (1978): Slope movement types and processes In: Schuster R. L. & Krizek R. J. Ed., *Landslides, analysis and control Transportation Research Board Sp. Rep. No. 176*, Nat. Acad. Oi Sciences.

6. ГЕОЛОШКО КУЛТУРНО НАСЛЕДСТВО

Културно историски споменици

Геопаркови и туризам

Гаонаследство и национални музеи

6-GK-01
UDC: 737.1(37)
620.186:[737.1:553.086(497.784/.785)

CHEMICAL COMPOSITION OF ROMAN COINS FROM PELAGONIA (NORTH MACEDONIA) DETERMINED BY THE SEM-EDS METHOD

Ivan Boev

Faculty of Natural and Technical Sciences, "Goce Delčev" University in Štip, Blvd. Krste Misirkov 10-A, P. O. Box 210, 2000 Štip, Republic of Macedonia
ivan.boev@ugd.edu.mk

A b s t r a c t: The paper presents the results of the tests on the chemical composition of coins from the Pelagonia region (North Macedonia) dating from Roman times, using the SEM-EDS method. From the results obtained, it can be concluded that there are two types of coins present: bronze and copper. In the case of bronze coins based on the chemical composition of bronze, two types of coins can be distinguished: 1) bronze coins with the following composition: Cu-45,81-46,31 %; Sn- 26,78-47,26%; Pb-6,37-9,37 %. In their composition these bronze coins are not similar to the bronze coins from other regions of the world. 2) bronze coins with the following composition: Cu-65-85 %; Sn-12-31 %; Pb-3,49-11,59 %. The composition of bronze of these coins is similar to that from Egypt, Ancient Greece, Phoenicia, Ceylon, Korea and the Celtic bronze coins in England. 3) copper coins with the following composition: Cu-97,53-98,12 %, Pb-1,11-1,50 %. The composition of these copper coins is very similar to the composition of coins from Mycenae and Thebes.

Key words: Pelagonia; bronze; copper; SEM-EDS

ХЕМИСКИ СОСТАВ НА РИМСКИТЕ МОНЕТИ ОД ПЕЛАГОНИЈА (СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА) ОДРЕДЕН СО МЕТОДАТА СЕМ-ЕДС

А п с т р а к т: Во трудот се прикажани резултатите од испитувањата на хемискиот состав на монетите од областа Пелагонија (Северна Македонија) кои потекнуваат од римско време со примена на методата СЕМ-ЕДС. Од добиените резултати може да се заклучи дека се појавуваат два типа на монети и тоа: бронзени и бакарни. Кај бронзените монети на основа на хемискиот состав на бронзата може да се издвојат два типа на монети и тоа:1) бронзени монети со состав: Cu – 45,81–46,31 %; Sn – 26,78–47,26%; Pb – 6,37–9,37 %. Овие бронзени монети по својот состав не се слични со бронзените монети од други региони во светот. 2) бронзени монети со состав: Cu – 65–85 %; Sn – 12–31 %; Pb – 3,49–11,59 %. Составот на бронзата од овие монети е сличен со составот на бронзата од Египет, Античка Грција, Феникија, Цејлон, Кореа како и бронзените монети на Келтите во Англија.3) бакарни монети со состав: Cu – 97,53–98,12 %, Pb – 1,11–1,50 %. Составот на овие бакарни монети е многу сличен со составот на монетите од Микена и Теба.

Клучни зборови: Пелагонија, бронза, бакар, СЕМ-ЕДС

INTRODUCTION

Metals have played an important role in the development of society over the centuries, their use having a strong influence on the development of civilization and human history. Getting to know the properties of metals, the people from earlier ages concluded that they could significantly improve their properties by mixing them with one another. When mixing these metals, their melting point lowers and the final product gets better characteristics such as strength, and resistance to corrosion (Goffer, 1980).

Scientific studies concerning ancient metal objects (coins, weapons, tools, or jewelry) are of particular importance from a historical and archaeological point of view. Composition analysis provides information on the metals from which these items are made and on how metals were processed (bronze, copper, silver, gold) (Constantinescu et al, 2010, 2012).

COMPOSITION OF A PART OF ANTIQUE BRONZE AT THE BEGINNINGS OF METALLURGICAL ART

The age of bronze is still in question. In Babylon, the metal spear dates back to probably 4000 BC, and on Enhegal's plate of (King of Lagosh,

3100 BC) there are records of "so many bronze manas" paid for some land, but "bronze" may have been just copper. In Egypt, red bronze from Medun dates back to 3700 BC, and the metal statue of Pepe I, Dynasty VI, from compacted plates shows a profound knowledge of metal art. Ancient China claims that during the Shang Dynasty, 1783 BC, bronze work reached an advanced stage. Since southern China began producing large quantities of bronze and tin and the possibility for experimenting was good, China's claim can be considered acceptable. The Egyptian plates have records of expeditions to Sinai, sent by their early kings, to take bronze from the local mines, while, no doubt, the tin was taken from the Phoenician merchants who bought it from the British Isles, where it was excavated 3,000 years ago, and exchanged it for Egyptian products. The ancient Assyrians took copper from Arabia and Cyprus, and tin from India and Spain, and it is highly likely that the old metallurgists mixed these two metals in certain proportions to obtain alloys, though in some cases the ores themselves may have been melted together, giving different compositions of bronze. Some conclusions can be drawn from these analyses of the bronze.

Egyptian bronze shows differences in composition. Where there was no need for hard edge, tin was replaced by lead, a small amount of tin was used where rigidity was required and for cast bronze where sharp impression was needed (Table 1, 2, 3). The arsenic and antimony found in certain bronzes may have had a hardening effect and are likely to be accidental impurities in copper ores. The lead present in some of the Egyptian bronze may have come from lead mines near Laurium on the east coast of Greece and was no doubt a substitute for tin for economic reasons. The Egyptians, who had copper, tin and lead, were able to experiment with these metals in order to obtain the best proportions for various purposes. The Greek "bronze", where no special quality was required, was found to be almost pure copper, while in samples of real bronze, the addition of tin indicates that metallurgists knew of its importance and used it for certain purposes. The bronze from Carthage contained a rather excessive amount of tin, probably to obtain the best results in casting, and since the Phoenicians worked with tin, they had large amounts of that metal. The Russian alloy of copper was not bronze, but a copper and iron alloy, which indicates that the use of tin was not known, or tin was very difficult to obtain; the presence of iron probably had a firming effect, which was required for a sickle blade. The Celts from England used bronze in this early period, metal workers probably procured copper and tin from Cornwoll and discovered the best proportions for use in the manufacture of their tools and weapons. The Korean bronze appears to have been a deliberate alloy of copper and tin, and the production of teaspoons demonstrates the knowledge of metallurgical art. Japanese and Chinese bronze mirrors show some similarity in composition: the Chinese were older bronze workers than the Japanese, who probably imitated their proportions. The Etruscan bronze shows knowledge of the true composition of bronze, and the Etruscans must have been very good metal workers, judging by the vast quantity of bronze ornaments, accessories and other items now on display at the Florence Museum.

Probably neither North America nor Central America had a Bronze Age; the metal objects found in antiquity are made of domestic copper, obtained from mines in the north and northwest.

WORK METHODOLOGY

The chemical composition of the bronze coins originating from our museums and collected from the Pelagonia area is determined by applying the method of electron microscopy using an EDS detector. The analyses were performed with a TESCAN SEM VEGA3 LMU scanning electron microscope with an Oxford EDS detector, within the AMBICON lab at UGD - Stip.

ESULTS OBTAINED AND COMMENTS

The results are shown in Table 1 (Figures.1, 2 and 3). From the data shown in the table it can be concluded that there are three groups of coins in the research samples: two types of bronze coins and one type of copper coins. Bronze coins are classified into two groups: 1) a group of coins having the following composition Cu- 45,81-46,31 %; Sn- 26,78-47,26%; Pb-6,37-9,37 %. The composition of this group of coins is not similar to that of bronze from other localities (Table 2, 3, 4) and most probably these coins are not from the time of the bronze objects whose composition is depicted in (Table 2, 3, 4); 2) second group of coins having in their composition Cu-65-85 %; Sn-12-31 %; Pb-3,49-11,59 %.The composition of the bronze of these coins is similar to that of Egypt, Ancient Greece, Phoenicia, Ceylon, Korea and the Celtic bronze coins in England (Table 2, 3, 4); 3) the third group of coins are copper coins with the following composition: Cu-97,53-98,12 %, Pb-1,11-1,50 %. The composition of these copper coins is very similar to those from Mycenae and Thebes (Tables 2 and 3).

T a b l e 1

Chemical composition of bronze coins from Pelagonia (by SEM-EDS)

Elements (%)	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13
Copper	68.92	67.05	71.13	81.51	46.31	78.89	65.66	66.63	78.24	45.81	86.83	98.12	97.53
Tin	16.11	25.53	15.09	10.89	26.78	17.01	31.10	28.88	18.30	47.26	12.27	–	–
Lead	11.59	6.43	10.28	5.40	9.33	3.15	–	3.49	–	6.37	–	1.11	1.50
Iron	3.38	0.99	2.33	2.26	1.22	0.95	1.44	0.99	0.84	–	0.91	–	–
Cobalt	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Zink	–	–	–	–	1.90	–	1.80	–	2.31	–	–	–	–
Silver	–	–	–	–	14.46	–	–	–	–	–	–	–	–
Antimony	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		–	–
Arsenic	–	–	1.17	0.06	–	–	–	–	–	0.56	–	–	–

M-1 ….. M-13, coins from Pelagonia,

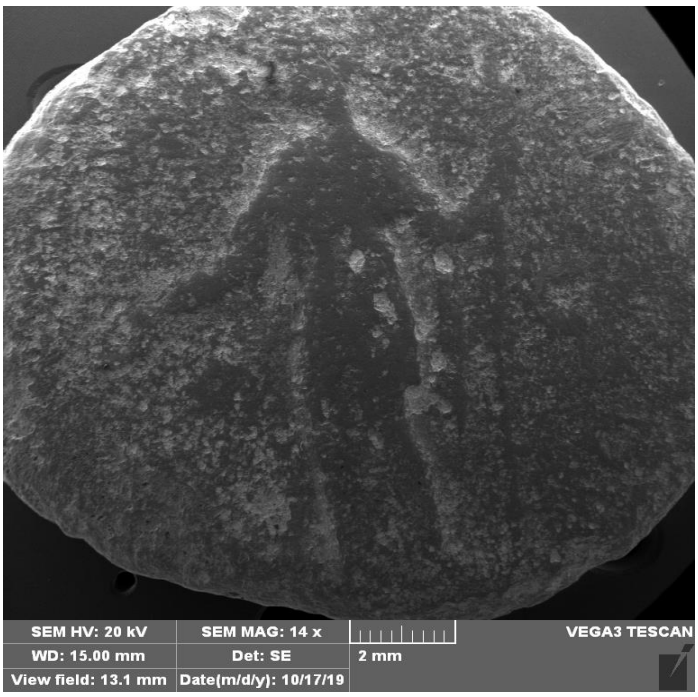


Fig. 1. Image of Roman Coins form Pelagonia (North Macedonia)

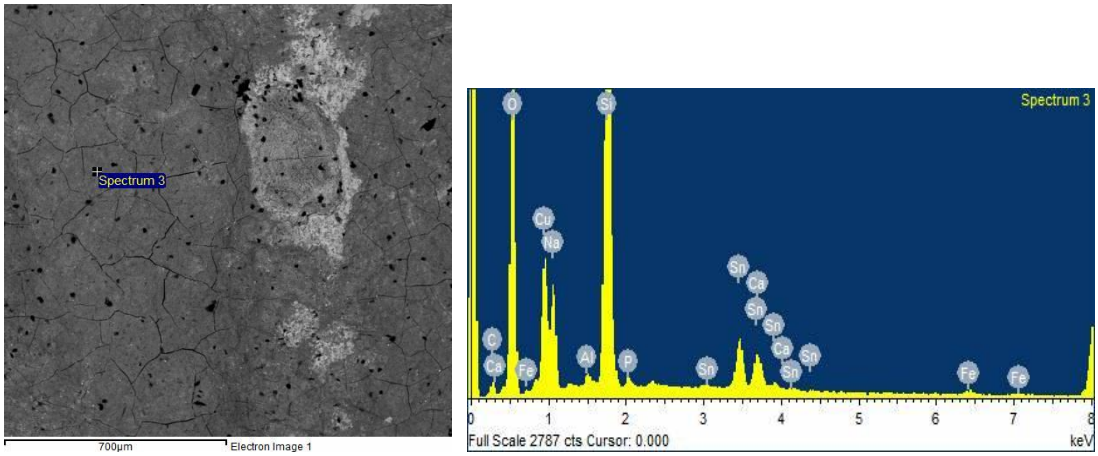


Fig. 2. SEM-EDS image of Roman Coins From Pelagonia

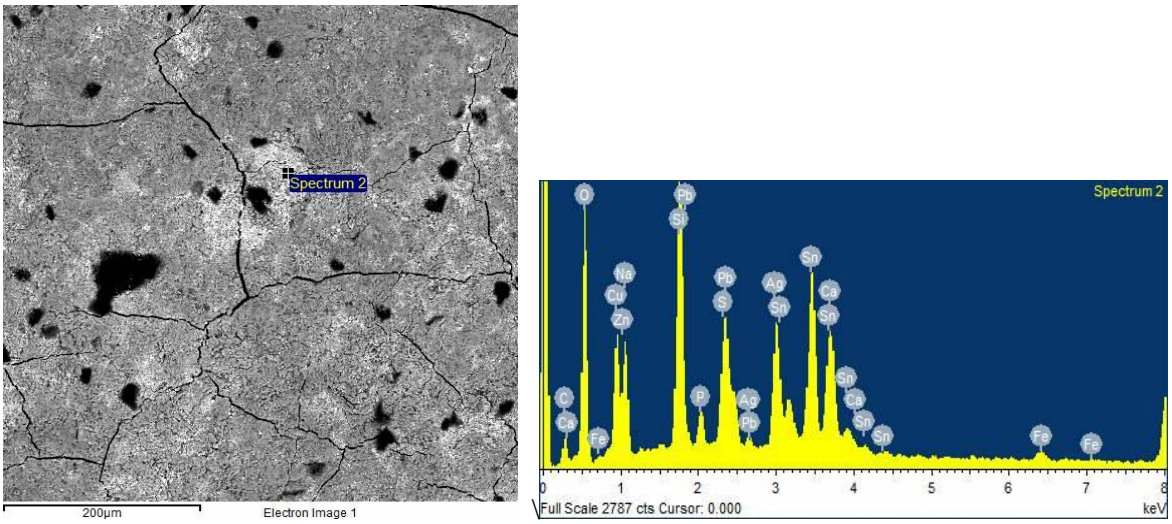


Fig. 3. SEM-EDS image of Roman Coins From Pelagonia

T a b l e 2

Ancient Egyptian Bronze (George Brinton Phillips, 1992)

Elements (%)	Old Memphis	Palace of Apries	Pyramid of Illahun	Thebes	Luxor
Copper	74,62	92,00	73,66	89,95	85,83
Tin	0,88	6,52	4,78	0,16	3,51
Lead	21,32	0,82	19,25	0,65	8,50
Iron	0,34	0,28	0,19	0,32	0,24
Cobalt	–	–	0,81	–	–
Antimony	–	–	–	0,68	–
Arsenic	–	–	–	5,60	–

T a b l e 3

Ancient Greek Bronze (George Brinton Phillips, 1992)

Elements (%)	Mycenae	Greek	Acropolis	Mycenae	Taormina
Copper	99,38	99,37	88,07	95,63	90,28
Tin	–	0,10	9,66	0,07	7,31
Lead	0,18	–	0,30	–	0,19
Iron	–	–	–	0,87	0,48
Cobalt	–	–	–	–	–
Antimony	–	–	–	–	–
Arsenic	0,19	–	–	–	–

T a b l e 4

Ancient Bronze (George Brinton Phillips, 1992)

Elements (%)	Phoenician	Ceylon	Russian	Celt from England	Korean
Copper	82,00	77,46	91,55	83,80	77,25
Tin	14,36	19,63	6,22	10,18	21,54
Lead	–	0,19	–	5,31	0,02
Iron	0,63	–	–	0,41	0,70
Cobalt	–	0,43	0,30	–	–
Antimony	–	–	–	–	–
Arsenic	–	–	–	–	–

CONCLUSION

Bronze coins are widespread in the archaeological sites of Pelagonia and, with their composition, they reflect the level of development of mining and metallurgy at that time. The bronze and copper coins found in the localities of Pelagonia originate from the same forges of coins as in the other regions of the Roman Empire, which is indicated by the chemical composition of the bronze used for their manufacture.

REFERENCES

Z. Goffer, Archaeological Chemistry, John Wiley and Sons, New York, 1980.

B. Constantinescu, D. Cristea-Stan, A. Vasilescu, R. Simon, D. Ceccato, *Archaeometallurgical characterization of ancient gold artefacts from Romanian museums using XRF, micro-PIXE and micro-SR-XRF methods*, Proc. Rom. Acad. Series A-Math. Phys. Tech. Sci. Inf. Sci., **13**, *1*, 19–26 (2012).

B. Constantinescu. E. Oberländer-Târnoveanu, R. Bugoi, V. Cojocaru, M. Radtke, *The Sarmizegetusa bracelets*, Antiquity, **84** (326), 1028–1042 (2010).

George Brinton Phillips, 1992: The Composition of Some Ancient Bronze in the Dawn of the Art of Metallurgy, American Anthropologist, New Series, Vol, 24, No.2, pp. 129-134.

6-GK-02
UDC: 738:552.4.051
904:72(497.713)"652"

SHOCKED QUARTZ IN THE SAMPLES FROM ARCHEOLOGICAL LOCALITY STOBI

Ivan Boev, Blažo Boev

Faculty of Natural and Technical Sciences, Institute of Geology, "Goce Delčev" University in Štip, Blvd. Krste Misirkov 10-A, P.O, Box 210, 2000 Štip, Republic of Macedonia
blazo.boev@ugd.edu.mk

A b s t r a c t: Shock quartz (shock metamorphic quartz) occurs in the processes of shock metamorphism or impact metamorphism. Shock metamorphism or impact metamorphism describes the effects of shock-wave related deformation and heating during impact events. The formation of similar features during explosive volcanism is generally discounted due to the lack of metamorphic effects unequivocally associated with explosions and the difficulty in reaching sufficient pressures during such an event. The paper presents the results of examinations on a sample from the archaeological locality Stobi and they indicate that it is a shock quartz, occurrence of spherical shapes in the sample.

Key words: quartz, shocked, metamorphism

ШОК КВАРЦ ВО ПРИМЕРОЦИТЕ ОД АРХЕОЛОШКИОТ ЛОКАЛИТЕТ СТОБИ

А п с т р а к т: Шок кварцот (шок метаморфниот кварц) се појавува во процесите на шок метаморфизмот или импакт (ударниот) метаморфизам. Во трудот се прикажни резултатите од испитувања на примерок од археолошкиот локалитет Стоби и истите укажуваат на тоа дека се работи за шок-кварц, појава на сферни облици во примерок

Клучни зборови: кварц, метаморфизам, шок

INTRODUCTION

Stobi is one of the most researched archaeological localities in the Republic of North Macedonia located in the central part of the country, at the mouth of Crna Reka (Erigon) into Vardar (Axios), a few kilometers south of the settlement Gradsko. It covers an area of about 20 hectares. The oldest data is found in the records of the Roman historian Titus Livius, according to which Stobi originates from the Hellenistic period, more precisely from 197 BC. (Wiseman, 2004, 1973). According to archaeological data from previous research, this urban settlement was built at the earliest in 3-2 century BC, although there are some ceramic findings that point to a much earlier period (7-5 century BC) (Mikulčić, 2003).

Due to its favorable location, on the Via Egnatia road, which led from the Danube to the Aegean, this urban settlement was a significant strategic, military, economic and cultural center (Aleksova, 1997).

The old episcopal basilica is the first church that was built in the ancient city of Stobi. The church was built literally in the shadow of the ancient theater, which at the time, in the first half of the fourth century, was still active and served the ancient inhabitants of Stobi for performing various theatrical performances. That was the period when all the religions in the Roman Empire were equal, and in Stobi the pagan temples, the theater, the Jewish synagogue and the oldest Christian church functioned at the same time.

The Christian religion was declared equal to the others in 313, with the publication of the Milan Edict by the Roman Emperors Constantine I the Great and Licinius. Immediately afterwards, episcopal centers throughout the Roman Empire began to be formed and temples of the new religion were built. In Stobi, as early as the first quarter of the century, the bishopric was founded, which was led by Bishop Budius - one of the participants of the first ecumenical council held in 325 in Nicaea.

The Old Episcopal Basilica headed by Bishop Budius was most probably built then. After the construction of this church, the era of mass baptism and acceptance of the Christian religion began in Stobi. The old church, as early as in the second half of the fourth century, was remodeled and extended to the east in order to receive more believers.

The interior of the Old Episcopal Church was lavishly decorated with floor mosaics and wall paintings that visually and symbolically transferred Biblical messages to believers (Figure 1)

Fig. 1. Part of the mosaics in Stobi

In the explored part of Stobi, several architectural objects have been discovered and studied, which are profane and sacred buildings with public function, then private houses (palaces), baths, thermal baths, the antique theater, part of city walls, streets, the forum, main entrance to the city, as well as the casino where the sample analizyed in this paper was found.

The casino represented a hall the floor of which was covered with a mosaic with geometric motifs. In the middle there was an eight-angled fountain, covered with marble plates and gambling chairs arranged around it. In its composition, the casino also had a bath with sitting places and a small swimming pool with running water to refresh the guests (Figures 2 and 3).

Fig. 2. View of the casino in Stobi

Fig. 3. Remains of intarsia in the casino in Stobi

METHODS OF TESTING

The analyses were made with a scanning electron microscope TESCAN SEM VEGA3 LMU with an Oxford EDS detector.

X-ray tests were performed on the Siemens D 500 diffractometer with computer software support, with Cu monochromatic radiation at 40 KV / 30 mA with an automatic variable input shutter. The determination of the mineral phases was carried out using the DIFRAK 11 program package in the EVAL and IDR programs.

The quantitative determination of the presence of the mineral phases was performed by using the Peter and Kalman method with predefined calibration coefficients for certain mineral phases.

The preparations for X-ray diffraction were recorded in the range 2 0 = 3- 60º.

Thermal research was done on the Derivatograph Q-1500-D under the following conditions:

– Sample weight 500mg

– Sensitivity by TG 200 mg

– Sensitivity by DTA 250 μV, DTG 500 μV

– Heating speed 10 ° C / min

– Temperature range of measuring from 15-20° C to 1000°C

– Inert matter Al_2O_3

– Environment in the furnace - air without turbulence

OBTAINED RESULTS AND COMMENTS

For a detailed mineralogical examination, a single blue-green sample was taken and examined using the methods of electronic microanalysis (SEM-EDS) and X-ray diffraction (XRD).

From the examinations that were carried out with the methods of electronic microanalysis (Table 1, Figure 4) it can be concluded that it is a SiO_2 compound having Na, Mg, K impurities

T a b l e 1

Chemical composition of quartz (SEM-EDS)

Element %	1	2	3	4	5	6
Si	45.71	46.33	45.98	45.32	46.23	46.11
O	52.21	51.55	52.43	52.92	51.76	51.34
Na	0.50	0.70	0.83	0.91	0.89	0.65
Mg	0.32	0.40	0.44	0.51	0.55	0.39
K	0.81	0.92	0.88	0.79	0.95	0.96

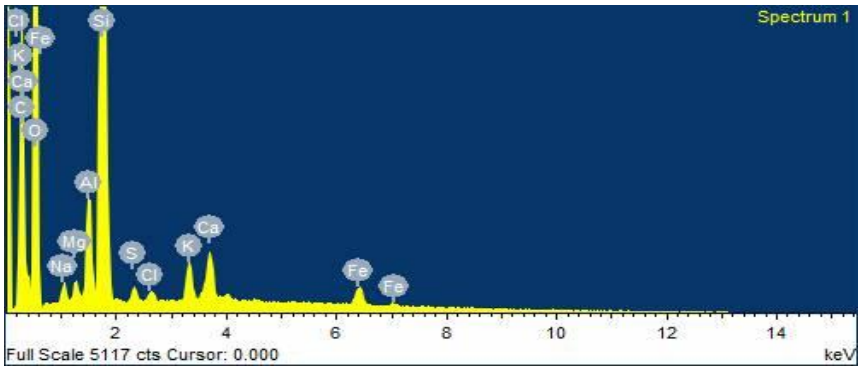


Fig. 4. SEM-EDS of the SiO_2 compound from the sample from Stobi

Figure 5 shows the roentgenogram of this sample and from it it can be clearly seen that it is quartz. Figures 6 and 7 show SEM-EDS photographs of the quartz sample from Stobi, with very clearly visible circular shapes present in this sample.The occurrence of these circular shapes unambiguously points to the fact that it is the so-called shock-quartz (Figure 8).

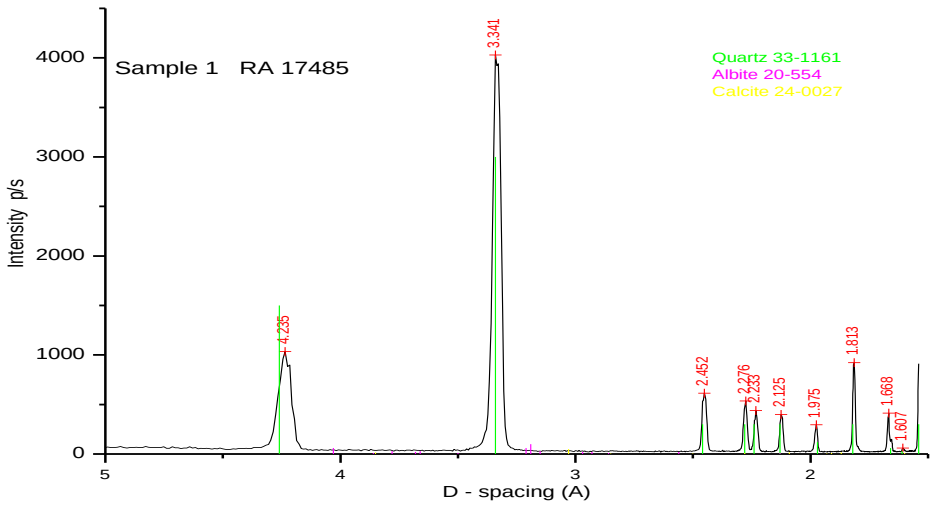


Fig. 5. Roentgenogram of quartz from the archaeological locality Stobi

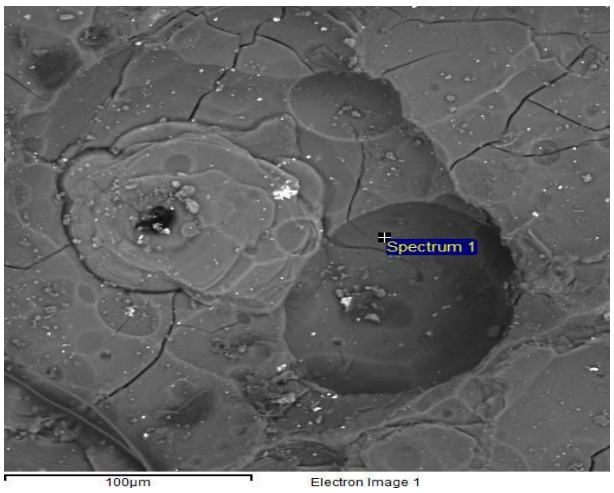


Fig. 6. SEM-EDS photograph of quartz

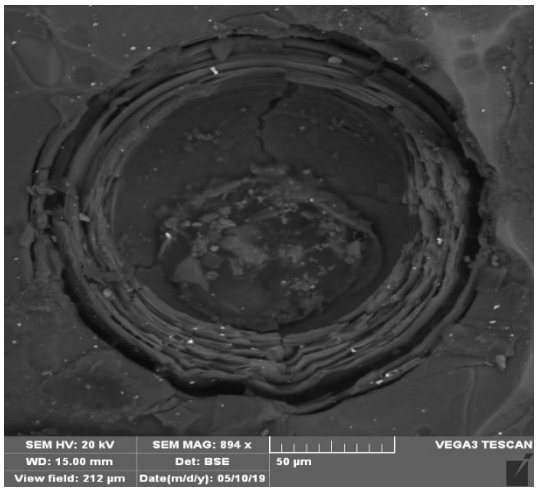


Fig. 7. SEM-EDS photograph of quartz

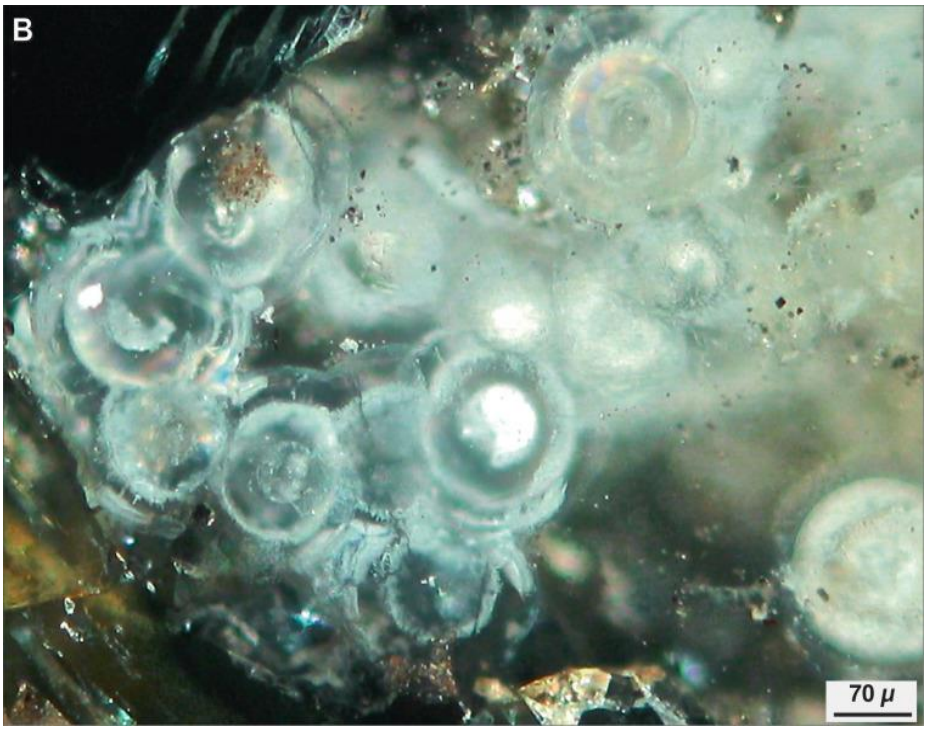


Fig. 8. Shock quartz (shock metamorphic quartz)

CONCLUSION

The conducted trials of the sample originating from the casino on the Stobi archaeological locality using the X-ray diffraction methods and methods of electronic microanalysis indicate that this is a sample constructed from quartz - a particular kind of quartz that occurs in the processes of shock -metamorphism (impact metamorphism).

REFERENCES

Aleksova, B. (1997): *Loca Sanctorum Macedoniae, Institute for old Slav culture,* Macedonian civilization, Skopje.

Mikulčić, I. (2003):, *Stobi antički grad*, Magor, Skopje,

Proekten elaborat za konzervatorsko-istražuvački i restavratorski raboti na objektot "Kockarnica"-Stobi (IV faza), arh. br. 07-166/39, INDOK-NKC, Skopje, 2004.

Wiseman, J. (1971): Excavations at Stobi, *American Journal of Archaeology (AJA)*, **76**, p-p. 407–424.

Wiseman, J. R. (1973): *Stobi: A Guide to the excavations*, Beograd,

ISBN 978-608-244-829-9