



ЗРГИМ

**X СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО
МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО**

ПОДЕКС – ПОВЕКС '17

**03 ÷ 05. 11. 2017 година
Охрид**

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

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ

Зборник на трудови:

ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ

Издавач:

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

Главен и одговорен уредник:

Проф. д-р Дејан Мираковски

Уредник:

Доц. д-р Стојанче Мијалковски

За издавачот:

м-р Горан Сарафимов, дипл.руд.инж.

Техничка подготовка:

Доц. д-р Стојанче Мијалковски

Изработка на насловна страна:

Асс. д-р Ванчо Аџиски

Печатница:

Дуна, Скопје

Година:

2017

Тираж:

150 примероци

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

622.22/23:622.3(062)

СТРУЧНО советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'16 (8; 2016; Струмица)

Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини: зборник на трудови / IX стручно советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'16 11-13.11.2016 година Струмица;

[главен и одговорен уредник Зоран Панов, Стојанче Мијалковски]. - Штип:

НУ Универзитетска библиотека "Гоце Делчев", 2016-258 стр.: илустр.; 30 см

Abstracts кон трудовите. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-608-242-019-6

а) Рударство – Експлоатација – Минерални сировини – Собири

COBISS.MK-ID 99826186

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



ОРГАНИЗАТОР:

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

www.zrgim.org.mk



КООРГАНИЗАТОР:

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

НАУЧЕН ОДБОР:

Проф. д-р **Зоран Десподов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Македонија;
Проф. д-р **Зоран Панов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Македонија;
Проф. д-р **Дејан Мираковски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Македонија;
Проф. д-р **Тодор Делипетров**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Македонија;
Проф. д-р **Благој Голомеов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Македонија;
Проф. д-р **Орце Спасовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Македонија;
Доц. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Македонија;
Проф. д-р **Слободан Вујиќ**, Рударски Институт, Белград, Р. Србија.
Проф. д-р **Милорад Јовановски**, УКИМ, Градежен факултет, Скопје, Р. Македонија;
Проф. д-р **Витомир Милиќ**, Технички факултет во Бор, Р. Србија;
Проф. д-р **Радоје Пантовиќ**, Технички факултет во Бор, Р. Србија;
Проф. д-р **Ивица Ристовиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Раде Токалиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Војин Чокорило**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Владимир Павловиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Божо Колоња**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Јоже Кортник**, Факултет за природни науки и инженерство, Љубљана, Словенија;
Проф. д-р **Јакоб Ликар**, Факултет за природни науки и инженерство, Љубљана, Словенија;
Проф. д-р **Верослав Молнар**, БЕРГ Факултет, Технички Универзитет во Кошице, Р. Словачка;
Проф. д-р **Петар Атанасов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
Проф. д-р **Венцислав Иванов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
Проф. д-р **Петар Даскалов**, Научно – технички сојуз за рударство, геологија и металургија, Софија, Р. Бугарија;
д-р **Кремена Дедељанова**, Научно – технички сојуз за рударство, геологија и металургија, Софија, Р. Бугарија;
м-р **Саша Митиќ**, Рударски Институт, Белград, Р. Србија.

ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР:

Претседател:

Проф. д-р **Дејан Мираковски**, УГД, ФПТН, Штип.

Потпретседатели:

Доц. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип;
Драган Димитровски, ДИТИ, Скопје;
Митко Крмзов, Еуромакс Ресурсис, Струмица.

Генерален секретар:

м-р **Горан Сарафимов**, ЗРГИМ, Кавадарци.

ЧЛЕНОВИ НА ОРГАНИЗАЦИОНИОТ ОДБОР:

Митко Крмзов, Еуромакс Ресурсис, Струмица;
Мице Тркалески, Мермерен комбинат, Прилеп;
Зоран Костоски, Мраморбјанко, Прилеп;
Шериф Алиу, ЗРГИМ, Кавадарци;
Филип Петровски, Минерал проект, М. Каменица;
Драган Димитровски, ДИТИ, Скопје;
м-р **Драги Пелтечки**, Еуромакс Ресурсис, Струмица
м-р **Љупче Ефнушев**, Министерство за економија, Скопје;
м-р **Горан Сарафимов**, ЗРГИМ, Кавадарци.
м-р **Кирчо Минов**, Рудник за бакар “Бучим”, Радовиш;
м-р **Зоран Богдановски**, АД ЕЛЕМ, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;
м-р **Борче Гоцевски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;
м-р **Благоја Георгиевски**, АД ЕЛЕМ, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;
м-р **Сашо Јовчевски**, ЗРГИМ, Кавадарци;
м-р **Горан Стојкоски**, Рудник “Бела Пола”, Прилеп;
м-р **Костадин Јованов**, ЗРГИМ, Кавадарци;
м-р **Трајче Бошевски**, Рудпроект, Скопје;
Ненад Лазаровски, ДУНА Скопје;
Чедо Ристовски, Рудник “САСА”, М. Каменица;
Антонио Антевски, “Булмак” - Рудник “Тораница”, К. Паланка;
Дарко Начковски, “Булмак” - Рудник “Злетово”, Пробиштип;
Димитар Стефановски, “Булмак” - Рудник “Злетово”, Пробиштип;
Драган Насевски, ГИМ, Скопје;
Лазе Атанасов, ДИТИ, Скопје;
Миле Стефанов, Рудник “Бањани”, Скопје;
Живко Калевски, Рудник “Осломеј”, Кичево;
Марија Петровска, Стопанска Комора, Скопје;
Љупчо Трајковски, ЗРГИМ, Кавадарци;
Емил Јорданов, ГД “Гранит” АД, Скопје;
Пепи Мицев, “Ве група”, Радовиш;
Орхан Рамадановски, “Кнауф”, Дебар;

Проф. д-р **Зоран Десподов**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Зоран Панов**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Дејан Мираковски**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Борис Крстев**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Мирјана Голомеова**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Ристо Дамбов**, УГД, ФПТН, Штип;
Проф. д-р **Николинка Донева**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Ристо Поповски**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Марија Хаџи-Николова**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Афродита Зенделска**, УГД, ФПТН, Штип;
Доц. д-р **Радмила Каранакова Стефановска**, УГД, ФПТН, Штип;
Асс. д-р **Ванчо Аџиски**, УГД, ФПТН, Штип.

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

03 Ноември 2017, Охрид
Република Македонија

ОРГАНИЗАТОР:

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

КООРГАНИЗАТОР:

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



ЗРГИМ

Х СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

“Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини”

ПОДЕКС – ПОВЕКС '17

Охрид

03 ÷ 05. 11. 2017 год.

ПРЕДГОВОР

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

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

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

На досегашните девет советувања (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015 и 2016 год.) учествуваа повеќе автори од 10 држави, кои презентираа 242 стручни трудови.

За ова десетто советување (ПОДЕКС - ПОВЕКС '17) пријавени се 33 труда, на автори од 2 држави.

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

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

Уредници



AMGEM

X EXPERT CONFERENCE THEMED:

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

PODEKS - POVEKS '17

**Ohrid
03 ÷ 05. 11. 2017.**

FOREWORD

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

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

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

Many authors from 10 countries participated in the previous nine conferences (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015 and 2016) presenting 242 expert papers. Thirty-three authors from 2 countries have registered their expert papers for the Xth conference (PODEKS - POVEKS '17).

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

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

The Editors



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Македонија

Х СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

Технологија на подземна и површинска експлоатација
на минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '17

Охрид
03 ÷ 05. 11. 2017 год.

СОДРЖИНА

ЗАШТИТА НА ЖИВОТНА И РАБОТНА СРЕДИНА

МОНИТОРИНГ НА ПРАШИНА ВО РУДАРСКАТА ИНДУСТРИЈА, ЗОШТО И КАКО? * Дејан Миравовски, Николајчо Николов, Борче Гоцевски, Марија Хаџи-Николова, Иван Боев.....	1
СЛЕДЕЊЕ НА КВАЛИТЕТОТ НА ВОЗДУХОТ ВО ОКОЛИНАТА НА ПРЕДЛОЖЕНИОТ ПОВРШИНСКИ КОП „ИЛОВИЦА-ШТУКА“ * Драги Пелтечки, Вера Ѓорѓиева, Теодора Стојанова, Љубица Панова, Никола Механџиски, Митко Крмзов.....	10
УНАПРЕДУВАЊЕ НА ЖИВОТНАТА СРЕДИНА ВО РУДНИК САСА * Марија Стојановска.....	25
МЕТОДИ ЗА ОТСТРАНУВАЊЕ НА ЦИЈАНИДИ ОД РУДНИЧКИ ВОДИ * Мирјана Голомеова, Афродита Зенделска, Благој Голомеов, Борис Крстев.....	32
ИНТЕНЗИТЕТ НА ВРНЕЖИТЕ И АНАЛИЗА НА ГОЛЕМИ ВОДОТЕЦИ ВО РУДНИКОТ „СУВОДОЛ“ – БИТОЛА * Костадин Јованов.....	42
НЕУТРАЛИЗАЦИЈА НА ПОВРШИНАТА НА ДЕПОНИЈАТА ЗА ЛУЖЕЊЕ ВО КОМПЛЕКСОТ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА КАТОДЕН БАКАР „КАЗАНДОЛ“ – ВАЛАНДОВО * Трајче Бошевски.....	51
ПЛАН ЗА ВОНРЕДНИ СОСТОЈБИ – СУШТИНСКИ ДЕЛ ОД СИСТЕМОТ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО БЕЗБЕДНОСТА ПРИ РАБОТА * Марија Хаџи-Николова, Дејан Миравовски, Николинка Донева, Борче Гоцевски, Станке Тасковски.....	56
БЕЗБЕДНА РАБОТА ВО ЗАТВОРЕНИ (ОГРАНИЧЕНИ) ПРОСТОРИ * Станке Тасковски, Борче Гоцевски, Марија Хаџи – Николова, Стојанче Мијалковски.....	64
СИСТЕМ ЗА ИНСТАЛИРАЊЕ И АПЛИКАЦИЈА НА “QR КОД” ВО РУДАРСКАТА ИНДУСТРИЈА * Ванчо Аџиски, Далибор Серафимовски, Зоран Десподов, Стојанче Мијалковски.....	72
МЕРКИ ЗА БЕЗБЕДНОСТ ПРИ РАБОТА ЗА РАКУВАЧИТЕ НА РУДАРСКИ МАШИНИ ВО ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА * Анкица Илијева Стошиќ.....	82

СОВРЕМЕНА РУДАРСКА ПРАКТИКА

ИСЦРТУВАЊЕ НА ИЗОХИПСИ ЗА ПОТРЕБИ ВО РУДАРСТВОТО И ГЕОЛОГИЈАТА * Стојанче Мијалковски, Зоран Десподов, Дејан Миравски, Ванчо Аџиски, Николинка Донева.....	91
ВЛИЈАНИЕ НА РЕЖИМОТ НА ДУПЧЕЊЕ НА ОШТЕТУВАЊАТА КАЈ КРУНИТЕ ЗА ДУПЧЕЊЕ * Ристо Дамбов, Николинка Донева, Илија Дамбов.....	103
PRODUCTIVITY ANALYSIS OF THE COMBINED TECHNOLOGY FOR QUARRYING UTILIZING CHAIN CUTTERS AND DIAMOND WIRE SAWS * Ivaylo Kopriv, Dimitar Kaykov.....	112
ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА НА НЕЕКСПЛОЗИВНИ СМЕСИ ЗА ЦЕПЕЊЕ И ДОБИВАЊЕ НА КОМЕРЦИЈАЛНИ МЕРМЕРНИ БЛОКОВИ * Ристо Дамбов, Никола Р'жаникоски, Игор Стојчески, Илија Дамбов.....	119
УПОТРЕБА НА СОФТВЕРИ И МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ СО ЦЕЛ ЗА ПОЕФИКАСНИ И ПОБЕЗБЕДНИ МИНИРАЊА ВО ПОВРШИНСКАТА ЕКСПЛОАТАЦИЈА * Орхан Рамадановски.....	126
АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИЗРАБОТКА НА ХОДНИК ВО ШКРИЛЕЦ СО ПРИМЕНА НА ДВЕ ТЕХНОЛОГИИ ВО РУДНИК „САСА“ * Николинка Донева, Зоран Десподов, Дејан Ивановски, Марија Хаџи-Николова, Стојанче Мијалковски.....	135
ТЕНДЕНЦИЈА ЗА ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНА ТОВАРНО-ТРАНСПОРТНА МЕХАНИЗАЦИЈА ВО РУДНИКОТ “ЗЛЕТОВО” * Дарко Начковски, Ванчо Гоцевски.....	141
КЛАСИФИКАЦИЈА НА ПЕПЕЛТА ОД ТЕРМОЦЕНТРАЛАТА РЕК БИТОЛА ВО МАКЕДОНИЈА И МОЖНОСТИ ЗА НЕЈЗИНА УПОТРЕБА * Тена Шијакова-Иванова, Весна Зајкова Панова, Виолета Стефанова, Виолета Стојанова.....	153
ТЕХНО-ЕКОНОМСКИ И ЕКОЛОШКИ ПРЕДНОСТИ НА НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИ МЕТОДИ ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ЈАГЛЕНИ * Радмила Каранакоска, Зоран Панов, Ристо Дамбов, Ристо Поповски.....	161
НЕКОИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА СЕИЗМИЧНОСТА НА ПОДРАЧЈЕТО РАДОВИШ-СТРУМИЦА-ВАЛАНДОВО (Р. МАКЕДОНИЈА) * Ристо Поповски, Зоран Панов, Лазо Пекевски, Благица Донева, Радмила Каранакоска, Стефановска.....	168

ГЕОТЕХНИКА И ГЕОЛОГИЈА

СОВРЕМЕНИ МЕТОДИ ЗА ГЕОТЕХНИЧКИ МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРАЊЕ КАЈ ПОВРШИНСКА И ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА * Игор Пешевски, Јован Бр. Папиќ, Милорад Јовановски.....	179
ОДРЕДУВАЊЕ НА КВАЛИТЕТОТ НА ГРАДЕЖНО-ТЕХНИЧКИ КАМЕН * Љупче Ефнушев, Ѓорѓи Димов, Благица Донева.....	191

ГЕОМЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ВАРОВНИКОТ ОД НАОЃАЛИШТЕТО “РАШАНЕЦ” И НИВНА КОРЕЛАЦИЈА СО БРЗИНАТА НА ЕЛАСТИЧНИТЕ БРАНОВИ * Ѓорѓи Димов, Војо Мирчевски, Виолета Стефанова, Гоше Петров, Благица Донева.....	199
ГЕОМЕТАЛУРГИЈА * Марјан Делипетров, Гоце Златков, Благица Донева, Зоран Панов, Радмила Каранакоса Стефановска, Ристо Поповски, Крсто Блажев.....	207
НАОЃАЛИШТЕ ЗА ЈАГЛЕН „ЛАВЦИ,, - РЕСЕН * Александар Стоилков, Ласте Ивановски, Маја Јованова, Пеце Муртановски.....	215
МЕНАЏМЕНТ, ИСТРАЖУВАЊЕ НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ И РУДНИЧКА ГЕОЛОГИЈА * Орце Спасовски.....	225
ГЕОЛОШКО-ЕКОНОМСКА ОЦЕНКА НА РУДНАТА ЖИЦА БР. 4 ОД РУДНИЦИТЕ ЗА ОЛОВО И ЦИНК “ЗЛЕТОВО” * Никола Богатиновски.....	235
ПОТЕНЦИЈАЛ НА ПРИЛЕПСКО ПОЛЕ ВО ОДНОС НА ЈАГЛЕНОСНОСТА * Александар Стоилков, Пеце Муртановски, Маја Јованова, Сашо Цветковски...	244
ХЕМИСКИ СОСТАВ НА АЛУВИЈАЛНО ЗЛАТО ОД НЕКОИ ЛОКАЛИТЕТИ ВО Р. МАКЕДОНИЈА * Виолета Стефанова, Тена Шијакова-Иванова, Војо Мирчевски.....	250
ГРАВИМЕТРИСКИ ИСТРАЖУВАЊА НА НАОЃАЛИШТА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ * Благица Донева, Тодор Делипетров, Марјан Делипетров, Крсто Блажев, Ѓорѓи Димов.....	258
СЕКУНДАРНИ СИЛИЦИСКИ СУРОВИНИ ВО КВАРТЕРНИ КОНТИНЕНТАЛНИ ФОРМАЦИИ * Крсто Блажев, Благица Донева, Ѓорѓи Димов, Марјан Делипетров.....	267
ЛИТОСТРАТИГРАФСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА КРЕДНИТЕ СЕДИМЕНТИ ВО ВАРДАРСКАТА ЗОНА * Гоше Петров, Виолета Стојанова, Војо Мирчевски.....	272
ЛИТОСТРАТИГРАФИЈА НА ЕОЦЕНСКИТЕ СЕДИМЕНТИ ВО СРПСКО-МАКЕДОНСКИОТ МАСИВ, РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈ * Виолета Стојанова, Гоше Петров, Тена Шијакова-Иванова.....	280



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Р. Македонија

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

ПОДЕКС – ПОВЕКС '17

Охрид
03 – 05. 11. 2017 год.

ГЕОМЕТАЛУРГИЈА

**Марјан Делипетрев¹, Гоце Златков², Благица Донева¹, Зоран Панов¹,
Радмила Каранакова Стефановска¹, Ристо Поповски¹, Крсто Блажев¹**

¹Универзитет “Гоце Делчев”, Факултет за природни и технички науки,
Штип, Македонија

²Генезис Ресурсис Интернешнл ДООЕЛ, Македонија

Апстракт: Повисоките еколошки и социо-економски барања во експлоатацијата на идните минерални ресурси бараат сеопфатно знаење за рудните телата дури и во раните фази на рударскиот процес. Геометалургијата комбинира геолошки и минерални информации за да создаде просторен модел за планирање и управување со производството. Примената на геометалуршкиот концепт ја подобрува ефикасноста на ресурсите, ги намалува оперативните ризици и помага во оптимизирање на производството на таков начин што исто така се разгледуваат одржливоста и социо-економските фактори. Со геометалуршки модел е можно да се изучува различно производствено сценарио почнувајќи од истражување до изводливоста и фази на производство. Постојат некои алтернативни начини за градење на геометалуршки модел, но минералогскиот пристап е генерички (заеднички) и може да се усвои за секаков вид на минерални сировини. Овој документ опишува како еден ваков концепт се користи во рударската индустрија и ги демонстрира придобивките во однос на подобрената ефикасност на ресурсите во различни рудни депозити.

Клучни зборови: Геометалургија, геологија, рударство, металургија.

GEOMETALLURGY

**Marjan Delipetrev¹, Goce Zlatkov², Blagica Doneva¹, Zoran Panov¹,
Radmila Karanakova Stefanovska¹, Risto Popovski¹, Krsto Blazev¹**

¹University “Goce Delcev” Faculty for natural and technical sciences, Stip, Macedonia

²Genesis Resources International DOOEL, Macedonia

Abstract: Higher environmental and socio-economic demands in the exploitation of the future mineral resources require comprehensive knowledge on ore bodies even in the early stages of the mining process. Geometallurgy combines geological and mineral processing information to create a spatial model for production planning and management. Applying a geometallurgical concept improves resource efficiency, reduces operational risks and helps in optimizing production in such a way that sustainability and socio-economic factors also are considered. With a geometallurgical model it is possible to study different production scenario starting from exploration to the feasibility and production stages. There are some alternative ways for building a geometallurgical model but the mineralogical approach is generic and can be adopted to any kind of mineral resources. This paper describes how a concept like this has been used in the mining industry and demonstrates the benefits in terms of improved resource efficiency in different ore deposits.

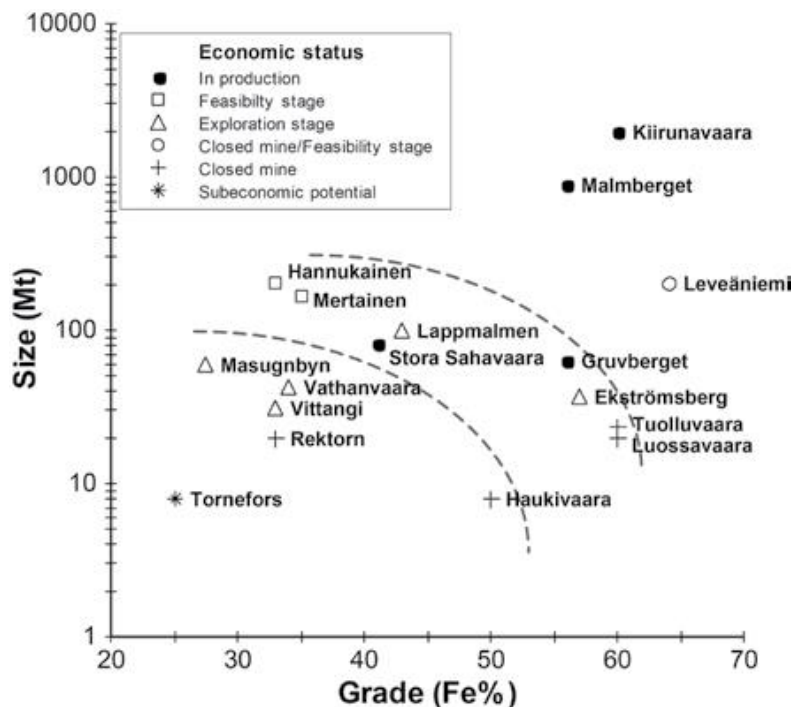
Key Words: *geometallurgy, geology, mining, metallurgy.*

1. БОВЕД

Крос-дисциплинскиот пристап познат како геометарургија поврзува две различни, но тесно поврзани области во рударската индустрија, имено геологијата и минералната обработка. Тоа подразбира разбирање и мерење на рудни својства релевантни за неговата успешна обработка. Геометаллургијата ги зема геолошките и металуршките информации за да создаде просторен (3D) предвидлив модел за минерален процес (Ламберг, 2011). Индустриските апликации се нарекуваат геометаллуршки програми и тие го подобруваат знаењето на ресурсите и затоа го намалуваат ризикот во работењето поврзано со непознатата варијација во рудниот депозит. Геометаллуршкиот концепт се движи од карактеризација на руда до економска оптимизација на рударската операција (GeoMet 2011 и референци во нив, 2011). Северна Скандинавија е позната по Кируна типот на железо-апатит рудни тела, со Кирунавара и Малмберге кои се најголеми. Тие се високо квалитетни и покажуваат само умерени варијации во нивната минералологија и својства за обработка. Потенцијалните придобивки од примената на геометаллургијата кај овие видови на постојни рудници се релативно ниски. Сепак, постојат голем број на депозити на железо во регионот со помал квалитет, големи геолошки варијации во рудата и многу поголема предизвикувачка минералологија за производство на концентрат на железо кој може да се продаде (Слика 1). Пример за такво е Hannikainen (Финска) каде што магнетитот треба да се одвои од сулфидите, бидејќи пиротот е моноклин, а со тоа и магнетски (Arvidson, 2013). Денес, само неколку рудници имаат геометаллуршка програма, но овој концепт ќе стане почест во иднина, поради барањата за поефикасно искористување на постоечките рудни ресурси. Предизвикот е да се создаде предвидлив металуршки модел на рудното тело за време на развојот на депозитот. Кога геометалургискиот модел конечно е инкорпориран со економски информации, моделот точно ќе не информира дали проектот ќе биде изводлив или не. Целта на овој труд е да се опише што е геометалуршкиот концепт и како може да се користи во рударската индустрија. Покрај тоа, ние демонстрираме како геометаллургијата е суштинска алатка за подобрување на ефикасноста на ресурсите во различни видови на рудни депозити.

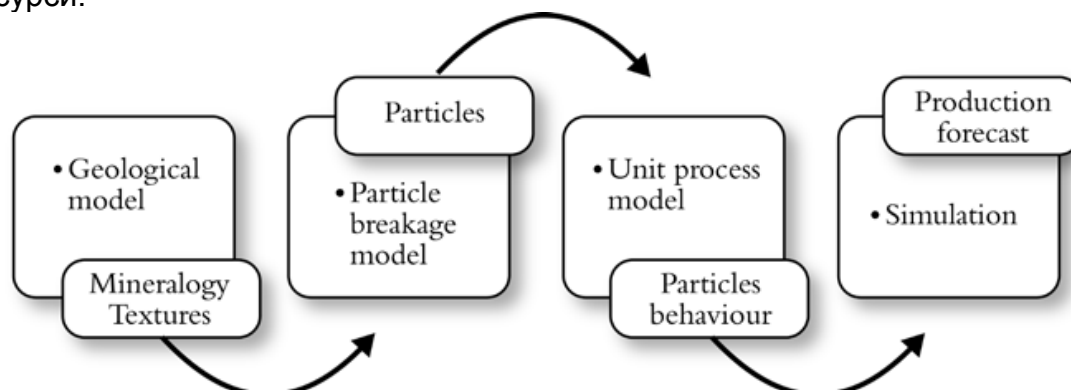
2. ШТО Е ГЕОМЕТАЛЛУРГИЈА?

Геолозите имаат долга традиција на создавање на 3D модели на рудни тела за варијација во метални оценки и литологија. За процесната фабрика тие обезбедуваат дневни прогнози за главни оценки, тонажи и главни видови руди или литологии. Идејата за геометаллургија е да се подобри знаењето на рудата преку развивање на методи за мерење на параметрите важни за обработка. Оваа информација треба да се користи за дизајнирање соодветен минерален процес за одредено рудно тело, за управување и оптимизација на производството (Batterham et al., 1992). Последната деценија е период на брза еволуција во областа на геометаллургијата, а еден од најголемите соработници е развојот на автоматската минералологија (Gottlieb et al., 2000).



Слика 1. Одделение и тонажна врска на депозитите на железна руда во северна Финска, Норвешка и Шведска

Поради оваа важна алатка, многумина ја сметаат геометаллургијата за синоним за процесот на минералологија. Најновиот и најширок поглед го користи терминот геометалургиски перформанси за одржливост (GeoMet 2011 и референци во него, 2011) со инкорпорирање на други надворешни фактори кои влијаат на контекстот на геометаллургија во перспектива на глобалниот пазар, како што е бизнис димензијата (толкување, анализа, евалуација и валидација од сите технички аспекти), планирање на рудникот, управување со ризик, издржливост (вода, потрошувачка на енергија и ниво на емисија на CO₂) и геотехничкиот пристап (на пример, идентификација на условите на варијабилна карпеста маса (GeoMet 2011 и референци во нив, 2011), која исто така ги опфаќа социо-економските барања при искористување на минералните ресурси.



Слика 2. Геметаллуршкиот концепт базиран на честички, модифициран од Ламберг (2011). Минералогски модел и текстури го поврзуваат геолошкиот модел и процесниот модел. Во процесот на модел минерали се третираат како честички. Од минералните информации, присуството на честички се генерира преку модел на кршење на честички

3. ПРЕДНОСТИ НА ГЕОМЕТАЛЛУРШКИОТ КОНЦЕПТ

Целта на геометаллургијата е да се кандидира и да симулира различно производствено сценарио, дури и во фазата на истражување и со тоа предвидуваат фактори кои влијаат на производството и во трошоците и во техничките аспекти. Оправданоста за геометаллуршката програма произлегува од потенцијалот да донесе некои од следниве придобивки во споредба со традиционалниот пристап: Подобро искористување на рудните ресурси, бидејќи рудните граници се дефинирани исто така со цел да се предвидат металуршките резултати; Подобри металуршки перформанси, бидејќи е можно однапред да го наместите процесот според информациите од погонот; Подобро контролирано рударство поради сеопфатно познавање на рудното тело; Подобри промени во оптимизацијата на погонот, бидејќи варијациите во снабдувањата на фабриката се ниски, или барем подобро контролирани; Подобри промени за новите технолошки решенија, бидејќи проблемите што произлегуваат од руда се идентификуваат добро напред и истражувачките програми можат да се фокусираат на нивно решавање; Смалување на ризиците во работењето, преку подобро познавање на рудното тело и процесот и преку контролиран синџир на процеси; Подобри можности за економично оптимизирање на целосната операција со оглед на цените на металите, алтернативните производи и трошоците за стоки.

Овие придобивки можат да се искористат само ако геометалургискиот модел е достапен во испитната фаза за изводливост. Во постоечките рудници, како што е депозитот Кириунавара (Niiranen и Böhm, 2012), очекуваните придобивки од геометаллуршката програма може да бидат ограничени. Распоредот на производството може да биде тешко или дури невозможно да се промени, особено во подземните операции. Слично на тоа, да се води процесот во кампањи, односно еден тип руда во одредени периоди, можеби не е можно или не е изводливо. Затоа, придобивките може да произлезат од тоа што се знаат ограничувањата на материјалите што доаѓаат во различно време. Ал Руиз и сор. (2009) развил предвидлив геометалуршки модел за Колахуаси бакар. Моделите можат да ја предвидат пропустливоста и обновувањето на бакарот секојдневно. Ова знаење само по себе нема директно да доведе до какво било подобрување во производството, но со реални секојдневни цели ќе биде полесно да се достигне ова максимално ниво.

4. ПРИМЕНА НА ГЕОМЕТАЛЛУРГИЈА ВО ПРАКСА

Примената на геометалуршкиот пристап во рударскиот проект вклучува многу предизвици кои бараат внимателно разгледување. Концептот на геометаллургија треба да се спроведе што е можно порано во рударскиот проект; по можност веќе во фазата на истражување. Техниките за карактеризација на руда треба да бидат брзи, ефтини и пред сè практични. Ова значи дека тие ќе дадат квантитативни податоци релевантни за обработка на рудата и тие би можеле да се применуваат рутински. Развојот на индустриска апликација наречена геометалуршка програма најчесто ги вклучува следните чекори (модифицирани по Доби и сор., 2004; Ламберг, 2011 и референци во нив).

- 1) Собирање на геолошки податоци преку дупчење, јадрено дупчење на балван, мерења, механички анализи на камен, петрофизички параметри и хемиски анализи.
- 2) Програма за земање руда за металуршки испитувања каде геолошките податоци се користат за идентификација на склопот на локации за примероците.
- 3) Лабораториски испитувања на овие примероци со цел да се извлечат параметри на процесниот модел (понекогаш се нарекува тестирање на варијабилноста на рудата).
- 4) Проверка на металуршката валидност на дефинициите на геолошката руда и, доколку е потребно, развивање на нови рударски дефиниции наречени геометалуршки домени.
- 5) Развивање на математички односи за проценка на важни металуршки параметри низ геолошката база.
- 6) Развивање на металуршки модел на процесот. Моделот се состои од единечни операции кои ги користат металуршките параметри дефинирани погоре.
- 7) Симулација со користење на металуршкиот процесен модел и дистрибуирани металуршки параметри како што е податочниот пакет.
- 8) Калибрација на модели преку бенчмаркинг за постојните операции.

Во геометалуршките програми најслабите точки вообичаено се во несоодветни информации собрани од дупчалните јадра и мал број примероци собрани за тестирање на варијабилноста. Во лабораториските тестови доста мал број примероци треба да претставуваат големи тонажи на рудата. Најчесто се тестираат 30 до 50 внимателно избрани и подготвени примероци, но има примери каде целата програма се базира на помалку од десет примероци (Ламберг, 2011 и референци во нив). Ова поставува високи барања за избор на примерок, земање мостри и подготовка на мостра за да се избегне зголемување на грешката при земање примероци што ја ограничува корисноста на собраните податоци (Gu, 1982). Постои и дилема во изборот и подготвувањето на металуршки мостри врз основа на геолошки информации: тестираните мостри треба да ја претставуваат целосната варијабилност на рудата во смисла на металуршкиот одговор и ова може да се знае само откако ќе се направат тестовите. Во основа постојат два различни пристапи за поврзување на чекорите наведени погоре за да се воспостави геометалуршки модел. Првиот се потпира на геометалуршко тестирање, а другиот пристап се базира на минералогиската (Ламберг, 2011).

5. ПРИСТАП БАЗИРАН НА ГЕОМЕТАЛУРШКО ТЕСТИРАЊЕ

Поголемиот дел од геометалуршките програми се потпираат на металуршкиот одговор мерено со геометалуршко тестирање без минералешките информации.

Геометалуршките тестови се лабораториски тестови со мал обем, чија цел е директно мерење на металургискиот одговор на примероците. Примери за таков се тестот на GeM Comminution Index, тестот за индикатори на минерална раздвојливост на JK (Lamberg, 2011 и референци во него) и испитувањето на Дејвис цевките (Niiranen и Böhm, 2012).

5.1. Минералошки пристап

Чисто минералошки пристап во геометаллургијата значи дека геометалургискиот модел целосно се базира на минералологијата. Моделот користи минерални параметри, како што се модална минералологија, минерални текстури, минерални асоцијации, големини на минерални гранули и нивната поврзаност со особините за ослободување. Врз основа на пристапот на честички, модифициран по Lamberg (2011), може да се воспостави геометаллуршки модел во три под-модели (слика 2): геолошки модел, процес модел и производствен модел.

а. Геолошки модел

Геолошкиот модел се потпира на соодветна карактеризација на руда и обезбедува квантитативни минералошки податоци на таков начин што елементарни оценки или литологија не се потребни. Компонентите на геолошкиот модел се модалниот состав (минерален состав по тежина процент) и информациите за текстурата (минерални асоцијации и големини на зрна). Минералошкиот пристап бара брз и ефтин модален метод за анализа, со оглед на потребата да се произведат тие информации во голем број (> 10 000) примероци. Елементот за минерална конверзија е техника каде што минералните сорти се пресметуваат од хемиски анализи користејќи ги информациите за хемискиот состав на минералите. Математички, проблемот е систем на линеарни равенки, и генерално се решава со техника која не е негативна со најмали квадрати (Paktunc, 1998). Овој метод е робустен и економичен метод кој се развива со акцент на рутински пресметувања на модалната минералологија директно за примероци од руда по хемиски анализи. Ако минералологијата е сложена, може да биде потребна дополнителна техника, на пр. Сатмаган или квантитативни X-зраци. Комбинацијата на X-зраци флуоресценција (XRF) и X-зраци дифракција (XRD) за модалната минералологија има потенцијал да биде моќна алатка со висок капацитет. Покрај варијациите во модалниот состав, многу руди покажуваат варијации во големина на минерални гранули и во други параметри на минерална текстура. Затоа информациите за текстурата на рудата се потребни во вториот дел од геолошкиот модел. Традиционалниот геолошки опис на текстурите е претежно квалитативен и вклучува параметри како големина на зрна (груб, умерен, фин), форма на зрна (еуедарски, призматични, анедрични) и придружни минерали. Описите како што се овие се недоволни од геометаллуршка перспектива, и има потреба да се развие текстурална анализа која дава нумерички опис на текстуралните својства со користење на параметри за додавање. Само тогаш текстуралните информации можат да се употребат и при моделирање и геостатистика. Не постои општо прифатен метод за мерење и мерење на минералната текстура, но техника развиена од Лунд (2013) покажа дека информациите како минерални текстури се од суштинско значење и мора да бидат вклучени во геолошкиот модел за да го предвидат металуршкиот исход. Потребно е многу повеќе работа пред оваа техника да може да се имплементира и да се користи во рутински процес и ова истражување сега се разгледува од истражувачкиот конзорциум наречен Ресурсна карактеризација во Нордискиот технички центар за камен, Технолошкиот универзитет Лулеа.

b. Процесниот модел

Процесниот модел ги зема информациите од геолошкиот модел и го пренесува до информации за металуршката изведба. Во минералната обработка, рудата е измешана за да се ослободат минералите и да се направи големина на честички погодна за низводните процеси. Бидејќи минералните текстури и особините за ослободување се тесно поврзани со големина на честички на фрагментизирање, беше направен напор за поврзување на текстуралните својства и дистрибуцијата на минерални ослободувања со честички (Лунд, 2013). Развиена е нова дефиниција за минерална текстура: два примерока се текстурално различни ако ослободувањето по големина (компензирано со модална минералогичка) е различно, откако е иситнето под слични услови (Лунд, 2013). Со други зборови, примероците се текстуално слични ако произведуваат сличен тип на честички кога се иситнат. Користејќи ја оваа дефиниција, телото на рудата е поделено на текстурални класи наречени архетипови. Односот на ситнењето е карактеризирано за различни видови со метод развиен од Мванга (2014). Однесувањето на различни видови честички се определува со методологија за следење на честички (Ламберг, 2011 и референци во него). Во процесниот модел конечно иситнувањето и други единични операции се комбинираат, обезбедувајќи прогноза на металуршки одговор на било кој вид тип руда или блок даден од страна на геолошки модел. Различниот тек и стратегии за обработка може да се тестираат, на пр. за да најдат најоптимално мелење за финост за различни геометалуршки домени.

c. Производствениот модел

Во производниот модел се комбинираат геолошкиот модел и моделот на процеси и оваа алатка се користи за управување со производството за најдобар можен резултат. Ова го вклучува распоредот на производството и економскиот модел со вредност на производ и трошоци за производство, давајќи пристап кој е применлив за било каков минерален ресурс.

6. ЗАКЛУЧОК

Геометаллуршкиот модел ги комбинира геолошките и минерални информации за да создаде просторен модел за планирање и управување со производството. За да се започнат и симулираат различни сценарија за производството, ваков концепт треба да се имплементира од фазата на истражување преку фази на изводливост и производство. Иако денес само неколку рудници имаат геометаллуршка програма, таа ќе стане почеста во иднина поради барањата за поефикасно искористување на постоечките рудни ресурси. Минералношката пристап опишан овде е општо валиден, што значи дека може да се примени на било кој вид депозит.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Alruiz, O.M., Morrell, S., Suazo, C.J. and Naranjo, A. 2009. A novel approach to the geometallurgical modelling of the Collahuasi grinding circuit. *Minerals Engineering*, 22. 1060-1067. DOI 10.1016/j.mineng.2009.03.017

- [2] Arvidson, B.. 2013. Kaunisvaara Process Development and Process Plant Implementation. Proc. Conference in Mineral Engineering, Luleå, Sweden, pp. 31-46.
- [3] Batterham, R.J., Grant, R.M. and Moodie, J.P. 1992. A perspective on Process mineralogy and Mineral processing: Proc. The first International Conference on Modern Process Mineralogy and Mineral Processing, Beijing, China, pp. 3-12.
- [4] Dobby, G., Bennett, C., Bulled, D. and Kosick, X. 2004. Geometallurgical modelling – The new approach to plant design and production forecasting/planning, and Mine/Mill Optimization. Proceedings of 36th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, Ottawa, Canada, paper No.15.
- [5] GEOMET 2011. 2011. Proc. First AusIMM International Geometallurgy Conference (GeoMet), Brisbane, Australia, pp. 1-348.
- [6] GEOMET 2013. 2013. Proc. The second AusIMM International Geometallurgy Conference (GeoMet), Brisbane, Australia, pp. 1-354.
- [7] Gottlieb, P., Wilkie, G., Sutherland, D., Ho-Tun, E., Suthers, S., Perera, K., Jenkins, B., Spencer, S., Butcher, A. and Rayner, J. 2000. Using Quantitative Electron Microscopy for Process Mineral Applications. JOM, 52(4). 24-25. DOI 10.1007/s11837-000-0126-9
- [8] Gy, P. 1982. Sampling of Particulate Materials: Theory and Practise. New York: Elsevier.
- [9] Lamberg, P. 2011. Particles – the bridge between geology and metallurgy: Proc. Conference in mineral engineering, Luleå, Sweden, pp. 1-16.
- [10] Leinonen, O. 1998. Use of chromite microstructure image analysis to estimate concentration characteristics in the Kemi chrome ore. Doctoral thesis, Institute of Geosciences and Astronomy, University of Oulo, Finland.
- [11] Lund, C. 2013. Mineralogical, chemical and textural characterisation of the Malmberget iron ore deposit for a geometallurgical model. Doctoral thesis, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Luleå University of Technology, Sweden.
- [12] Mwanga, A. 2014. Test methods for characterizing ore comminution behaviour in geometallurgy. Licentiate thesis, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Luleå University of Technology, Sweden.
- [13] Niiranen, K. and Böhm, A.. 2012. A systematic characterization of the ore body for mineral processing at Kiirunavaara iron ore mine operated by LKAB, Northern Sweden. Proc. XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC), New Delhi, India. Paper No. 1039.
- [14] Paktunc, A.D. 1998. MODAN: an interactive computer program for estimating mineral quantities based on bulk composition. Computers & Geosciences, 24(5). 425-431. DOI 10.1016/S0098-3004(98)00018-1.
- [15] Dean David,,An introduction to geometallurgy (presentation). Belgrade, 2017.