



**ЗРГИМ**

**XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО  
МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО**

**ПОДЕКС – ПОВЕКС '22**

**14 ÷ 16. 10. 2022 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](http://www.zrgim.org.mk)

Главен и одговорен уредник:

**Проф. д-р Стојанче Мијалковски**

За издавачот:

**м-р Горан Сарафимов, дипл.руд.инж.**

Техничка подготовка:

**Проф. д-р Стојанче Мијалковски**

Изработка на насловна страна:

**Доц. д-р Ванчо Аџиски**

Печатница:

**“2–ри Август”, Штип**

Година:

**2022**

Тираж:

**200** примероци

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

622.22/23:622.3(062)

СТРУЧНО советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'22 (13; 2022; Струмица)  
Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини: зборник на трудови / XIII-то стручно советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'22, 14-16.10.2022 година, Охрид; [главен и одговорен уредник Стојанче Мијалковски]. - Скопје:  
Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија, 2022.-274 стр.: илустр.; 30 см

Библиографија кон трудовите  
ISBN 978-608-65530-6-7

а) Рударство -- Експлоатација -- Минерални сировини -- Собири  
COBISS.MK-ID 58325253

***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](http://www.zrgim.org.mk)



## КООРГАНИЗАТОР:

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

## НАУЧЕН ОДБОР:

Проф. д-р **Зоран Десподов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Зоран Панов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Дејан Миравовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Благој Голомеов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Блажо Боев**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Ристо Дамбов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Орце Спасовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Војо Мирчовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Николинка Донева**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Доц. д-р **Ванчо Аџиски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **Милорад Јовановски**, УКИМ, Градежен факултет, Скопје, Р. Северна Македонија;  
Проф. д-р **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 **Радоје Пантовиќ**, Технички факултет во Бор, Р. Србија;  
Проф. д-р **Јоже Кортник**, Факултет за природни науки и инженерство, Љубљана, Словенија;  
Проф. д-р **Верослав Молнар**, БЕРГ Факултет, Технички Универзитет во Кошице, Р. Словачка;  
Проф. д-р **Иваило Копрев**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;  
Проф. д-р **Димитар Анастасов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;  
Проф. д-р **Павел Павлов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;  
Проф. д-р **Венцислав Иванов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;  
Проф. д-р **Кемал Зекири**, Факултет за геонауки, Митровица, Косово;  
д-р **Кремена Дедељанова**, Научно – технички сојуз за рударство, геологија и металургија, Софија, Р. Бугарија;

## **ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР:**

### **Претседател:**

Проф. д-р **Ѓорги Димов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија.

### **Потпретседатели:**

Проф. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип;  
м-р **Драган Димитровски**, ДИТИ, Скопје;  
**Митко Крмзов**, Геомин, Струмица.

### **Генерален секретар:**

м-р **Горан Сарафимов**, Рудник “Боров Дол”, Радовиш.

## **ЧЛЕНОВИ НА ОРГАНИЗАЦИОНИОТ ОДБОР:**

Проф. д-р **Радмила Каранакова – Стефановска**, УГД, ФПТН, Штип;  
м-р **Борче Гоцевски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;  
м-р **Љупче Ефнушев**, Министерство за економија, Скопје;  
м-р **Кирчо Минов**, Рудник “Бучим”, Радовиш;  
м-р **Драги Пелтечки**, “Рудплан” ДООЕЛ, Струмица;  
м-р **Благоја Георгиевски**, АД ЕЛЕМ, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;  
м-р **Сашо Јовчевски**, Dekra Arbeit, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;  
м-р **Андреј Кепевски**, Цементарница “Усје”, Скопје;  
м-р **Дејан Ивановски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;  
м-р **Лазе Атанасов**, ДИТИ, Скопје;  
м-р **Дејан Петров**, Геотехника, Штип;  
м-р **Горан Стојкоски**, ЗРГИМ, Прилеп;  
**Триантафилос Триантафилиу**, Мермерен комбинат, Прилеп;  
**Мице Тркалески**, Мермерен комбинат, Прилеп;  
**Зоран Костоски**, Мармобанко, Прилеп;  
**Шериф Алиу**, ЗРГИМ, Кавадарци;  
**Антонио Антовски**, “Булмак” - Рудник “Тораница”, К. Паланка;  
**Ангелчо Заковски**, “Булмак” - Рудник “Злетово”, Пробиштип;  
**Тони Митевски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;  
**Емил Јорданов**, ГД “Гранит” АД, Скопје;  
**Александар Стоилков**, АД ЕЛЕМ,  
**Миланчо Дамески**, МИСА-МГ, Скопје;  
**Сашко Дамески**, МИСА-МГ, Скопје;  
**Лазар Пончев**, Машинокоп, Кавадарци;  
**Игор Трајанов**, Рудник “Боров Дол”, Радовиш;  
**Виктор Шотаровски**, Метсо минералс, Скопје;  
**Никола Механциски**, “Кнауф”, Дебар;  
**Пепи Мицев**, “Геомин”, Струмица;  
**Мартин Здравкин**, “ТЕТА - КОП”, Велес;  
**Илија Лозановски**, “Теиком Тим”, Битола.

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

---

**14 Октомври 2022, Охрид**  
Република Северна Македонија

**ОРГАНИЗАТОР:**

ЗДРУЖЕНИЕ НА РУДАРСКИТЕ И ГЕОЛОШКИТЕ ИНЖЕНЕРИ  
НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА  
[www.zrgim.org.mk](http://www.zrgim.org.mk)

**КООРГАНИЗАТОР:**

УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП  
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО  
[www.ugd.edu.mk](http://www.ugd.edu.mk)



**ЗРГИМ**

### **XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:**

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

## **ПОДЕКС – ПОВЕКС '22**

**Охрид**

**14 ÷ 16. 10. 2022 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 одржуваше секоја година во месец ноември. По пауза од три години, поради пандемијата од COVID-19, од оваа година започнува со одржување во октомври. 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 дванаесет советувања (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 и 2019 год.) учествуваа повеќе автори од 12 држави, кои презентираа 337 стручни трудови.

За ова тринаесетто советување (ПОДЕКС - ПОВЕКС '22) пријавени се 29 труда, на автори од 3 држави.

Големиот број на трудови од домашните автори произлезе како резултат на научно-истражувачката работа реализирана на високообразовните институции во Р. С. 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**

### **XIII EXPERT CONFERENCE THEMED:**

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

# **PODEKS - POVEKS '22**

**Ohrid  
14 ÷ 16. 10. 2022.**

## **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, was been organized annually during November. After a three-year hiatus, due to the COVID-19 pandemic, this year it starts taking place in October. A number of experts from the mining industry, universities, research institutions, planning companies, and equipment manufacturing companies participate in this conference.

Many authors from 12 countries participated in the previous twelve conferences (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 and 2019) presenting 337 expert papers.

Twenty-nine authors from 3 countries have registered their expert papers for the XIII<sup>th</sup> conference (PODEKS - POVEKS '22).

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 North 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

**XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:**

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

**ПОДЕКС – ПОВЕКС '22**

**Охрид  
14 ÷ 16. 10. 2022 год.**

## **СОДРЖИНА**

<b>HOVERMAP &amp; SIROVISION – USE OF NOVEL TECHNOLOGIES FOR REMOTE AND AUTONOMY MAPPING AND ANALYSIS * Lyudmila Moskovska.....</b>	<b>1</b>
<b>МОРФОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА АЛУВИЈАЛНО ЗЛАТО КАКО КРИТЕРИУМ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА НЕГОВОТО ПРИМАРНО ПОТЕКЛОТО * Виолета Стефанова, Виолета Стојанова, Гоше Петров.....</b>	<b>11</b>
<b>ПРИМЕНЕТИ МЕТОДИ ПРИ ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА НА ТЕХНИЧКИ ГРАДЕЖЕН КАМЕН * Орце Петковски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски.....</b>	<b>17</b>
<b>КВАЛИТАТИВНИ КАРАКТЕРИСТКИ НА МЕРМЕРИТЕ ОД ЛОКАЛИТЕТОТ ЦРКОВНИ РИД (ВАРДАРСКА ЗОНА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА) КАКО ОСНОВА ЗА НИВНА УПОТРЕБА КАКО ГРАДЕЖЕН КАМЕН * Орце Спасовски, Благица Донева.....</b>	<b>27</b>
<b>МОЖНОСТИ ЗА ДОИСТРАЖУВАЊЕ НА ЈАГЛЕНОВО НАОЃАЛИШТЕ ЖИВОЈНО * Бојан Ивановски, Александар Стоилков, Благојче Митревски, Симона Ивановски, Ласте Ивановски.....</b>	<b>35</b>
<b>НАОЃАЛИШТА НА БЕНТОНИТСКИ ГЛИНИ, ЕКСПЛОАТАЦИЈА И НИВНА ПРИМЕНА ВО ИСТРАЖНОТО ДУПЧЕЊЕ * Ласте Ивановски, Ванчо Ангелов, Орце Петковски, Бојан Ивановски.....</b>	<b>42</b>
<b>ХИДРОГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОГНОЗЕН МОДЕЛ НА ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ ЗДРАВЕВЦИ, КРАТОВСКО * Орце Спасовски, Благица Донева.....</b>	<b>51</b>
<b>ГЕОЛОГИЈАТА НА МАРС * Иван Боев, Елида Лецај .....</b>	<b>60</b>



<b>ПРИМЕНА НА ГЕОФИЗИЧКИТЕ МЕТОДИ ВО РУДАРСТВОТО</b> * Благица Донева, Марјан Делипетрев, Ѓорги Димов, Ристо Поповски.....	75
<b>ПРИМЕНА НА МЕТОДИ ЗА ПОВЕЌЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ ПРИ ИЗБОР НА РУДАРСКА ОТКОПНА МЕТОДА ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА</b> * Стојанче Мијалковски, Зоран Десподов, Дејан Мираковски, Ванчо Аџиски, Николинка Донева, Ванчо Гоцевски.....	82
<b>ЗАПОЧНУВАЊЕ СО ИЗРАБОТКА НА ГЛАВЕН ТРАНСПОРТЕН И СЕРВИСЕН НИСКОП ОД ПОВРШИНАТА ДО ХОРИЗОНТ 750 ВО РУДНИКОТ ЗА ОЛОВО И ЦИНК “САСА”</b> * Дејан Ивановски, Борче Гоцевски, Стојанче Мијалковски, Чедо Ристовски, Тони Митевски, Цеце Стојчев, Сашко Цветковски.....	89
<b>МОДИФИЦИРАНА ПОДГРАДНА МЕТОДА СО ЗАШТИТЕН ЧАДОР, СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ: ГЛАВЕН НИСКОП, РУДНИК „САСА“</b> * Николинка Донева, Зоран Десподов, Стојанче Мијалковски, Дејан Ивановски, Афродита Зенделска, Марија Хаџи-Николова.....	98
<b>ПРИМЕНА НА МЕТОДИТЕ ЗА ОТКОПУВАЊЕ СО ЗАПОЛНУВАЊЕ НА ОТКОПАНИТЕ ПРОСТОРИ ВО ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ ЗА МЕТАЛИ ВО МАКЕДОНИЈА</b> * Зоран Десподов, Сојанче Мијалковски.....	106
<b>ПРЕДВИДУВАЊЕ НА ЕФЕКТИТЕ ОД МИНИРАЊЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА СОФТВЕРСКИ ПРОГРАМИ</b> * Илија Дамбов.....	118
<b>ФРАГМЕНТАЦИЈА НА КАРПИ – МОДЕЛИРАЊЕ НА ПРОЦЕНКА ПРЕД И ПО МИНИРАЊЕ</b> * Зоран Панов, Лазо Пекевски, Радмила Каранакова Стефанова, Ристо Поповски.....	129
<b>АНАЛИЗА НА ЕФЕКТИТЕ ОД МИНИРАЊЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА СОФТВЕРСКИ ПРОГРАМИ</b> * Ристо Дамбов, Илија Дамбов, Јован Лотески.....	138
<b>ТЕХНОЛОГИЈА НА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ТРАВЕРТИНСКИ БЛОКОВИ ВО РУДНИКОТ ГОЛУБОВА ПЕШТЕРА С. БЕШИШТЕ – ПРИЛЕП</b> * Ристо Дамбов, Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Костоски, Илија Дамбов, Магдалена Костоска.....	150
<b>СЕИЗМИЧКИ ЕФЕКТИ ПРИ МИНИРАЊЕ НА ПК „ТРОЈАЦИ“, ПЛЕТВАР, ПРИЛЕП</b> * Јован Лотески, Ристо Дамбов, Илија Дамбов.....	161
<b>ИЗРАБОТКА НА КОНТУРНИ МИНСКИ ДУПНАТИНИ НА ЕКСПРЕСНИОТ ПАТ ГРАДСКО - ПРИЛЕП, ПОДДЕЛНИЦА ДРЕНОВО - ФАРИШ</b> * Миле Стефанов, Зоран Ужевски, Пепи Мицев.....	173
<b>A STOCHASTIC APPROACH FOR DETERMINING A SUSTAINABLE CUTTING PATTERN FOR IRREGULARLY SHAPED STONE BLOCKS</b> * Dimitar Kaykov, Ljupcho Dimitrov.....	183

<b>AN INTRODUCTION ON ASSESSMENT OF THE LIGNITE PRICE- CASE STUDY KOSOVO'S LIGNITE</b> * Kemajl Zeqiri, Naser Peci.....	194
<b>НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИ МЕТОДИ ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ЈАГЛЕНИ</b> * Александар Стоилков, Пеце Муртановски, Маја Јованова, Сашо Цветковски, Миле Арсовски.....	200
<b>РАБОТНИ УСЛОВИ ПРИ ПРОЦЕСОТ НА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН</b> * Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски.....	207
<b>ТЕХНИЧКИ ПРЕГЛЕД НА ОПРЕМАТА КОЈА СЕ КОРИСТИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНА СУРОВИНА</b> * Игор Максимов.....	219
<b>ИДЕЈНО РЕШЕНИЕ ЗА ХИДРОТРАНСПОРТ И ОДЛАГАЊЕ НА ЈАЛОВИНАТА НА ЈАЛОВИШТЕ 2 – ТОРАНИЦА</b> * Благој Голомеов, Мирјана Голомеова, Афродита Зенделска, Стојанче Мијалковски.....	226
<b>МОНИТОРИНГ НА РЕКУЛТИВАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА МУЛТИСПЕКТРАЛНО ДАЛЕЧИНСКО НАБЉУДУВАЊЕ</b> * Ванчо Аџиски, Стојанче Мијалковски.....	235
<b>ОТСТРАНУВАЊЕ НА ТЕШКИ МЕТАЛИ ОД КИСЕЛА РУНИЧКА ДРЕНАЖА СО НЕУТРАЛИЗАЦИЈА</b> * Афродита Зенделска, Адријана Трајанова, Мирјана Голомеова, Благој Голомеов, Дејан Мираковски, Николинка Донева, Марија Хаџи-Николова.....	247
<b>ВКЛУЧУВАЊЕТО И УЧЕСТВОТО НА ВРАБОТЕНИТЕ КАКО ЗНАЧАЕН ФАКТОР ЗА КОНТИНУИРАНО ПОДОБРУВАЊЕ НА БЕЗБЕДНОСТА И ЗДРАВЈЕТО ПРИ РАБОТА</b> * Анкица Илијева Стошиќ.....	256
<b>СЕИЗМИЧНОСТ НА РЕГИОНОТ ШТИП-РАДОВИШ ВО ПЕРИОДОТ ОД 2000 ГОДИНА ДО 2021 ГОДИНА</b> * Јасмина Најдовска, Катерина Дрогрешка, Ивана Молеровиќ, Моника Андреевска, Марјан Делипетрев, Драгана Черних Анастасовска, Љубчо Јованов.....	267



**ЗРГИМ**  
Здружение на  
рударски и  
геолошки инженери  
на Р. Македонија

XIII<sup>TO</sup> СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

Технологија на подземна и површинска експлоатација на  
минерални сировини

## ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

Охрид  
14 – 16. 10. 2022 год.

### РАБОТНИ УСЛОВИ ПРИ ПРОЦЕСОТ НА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН

**Радмила Каранакова Стефановска<sup>1</sup>, Зоран Панов<sup>1</sup>, Ристо Поповски<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Универзитет “Гоце Делчев”, Факултет за природни и технички науки,  
Штип, Р. Северна Македонија

**Апстракт:** Истражувањата покажале дека условите за работа при процесот на подземна гасификација на јаглени кои имаат најголемо влијание врз стапката на растот на шуплината се температурата, приливот на вода, притисокот и составот гас во подземната гасификација на јаглен. Овде се презентирани, ефектите од условите за работа и јагленовите својства, поточно, јагленовата реактивност, работниот притисок, загубата на топлина, како и видот на оксидантот којшто се користи.

**Клучни зборови:** подземна гасификација, јаглен, технологија, работни услови, физички и хемиски процеси.

### OPERATING CONDITIONS IN THE UNDERGROUND COAL GASIFICATION PROCESS

**Radmila Karanakova Stefanovska<sup>1</sup>, Zoran Panov<sup>1</sup>, Risto Popovski<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>University “Goce Delcev”, Faculty of Natural and Technical Sciences, Stip,  
R. of North Macedonia

**Abstract:** The investigation has found that the operating conditions that have the greatest impact on cavity growth rate are temperature, water influx, pressure, and gas composition in underground coal gasification. In this paper are presented the effect of operating conditions and coal properties, namely, coal reactivity, operating pressure, heat loss, and the type of oxidant used are investigated.

**Keywords:** underground gasification, coal, technology, operating conditions, physical and chemical process.

#### 1. ВОВЕД

Самата Подземна гасификација е многу сложен физички и хемиски процес и многу фактори влијаат на составот и квалитетот на Сингасот. Со оглед на високата температура, влажноста и затворениот простор, тешко е ефикасно да се следи и контролира самиот процес се со цел негово подобрување. Во текот согорувањето на јаглен на самото место, во ист момент се одвиваат различни процеси на испарување (сушење), пиролиза и согорување и гасификација на пепел. Во процесот на подземна гасификација на јаглен, под влијание на

високи температури, се формира температурно поле во јагленовиот слој којшто треба да се гасифицира во масата на јаглен, при што ги прави слоевите на јаглен и карпи првично полни со стратификација, споевите и пукнатините ги омекнува, ги топи, цементира и ги зацврстува. Соодветно на тоа, внатрешната молекуларна структура е средена и е реорганизирана, што доведува до квалитативни промени на организационата структура и на морфолошкиот изглед. Оттука, очигледни се промени кои што се случуваат во физичко-механички својства на масата на јаглен.

Во процесот на подземна гасификација на јаглен, полето со висока температура е во самиот јагленовиот слој и е под висока температура, што го прави јагленовиот слој полн со слоеви и споеви и меѓупростори коишто се меки, растопени, лепливи и зацврстени.

Под влијание на високата температура, внатрешната молекуларна структура се реорганизира, при што целосно ја менува површината на јагленовата серија. Оттука, се случуваат драматични промени во физички и механички својства на телото на јагленот. Во овој труд се презентирани, ефектите од условите за работа и јагленовите својства, поточно, јагленовата реактивност, работниот притисок, загубата на топлина, како и видот на оксидантот којшто се користи

## **2. ДЕБЕЛИНА НА ЈАГЛЕНОВА СЕРИЈА**

### **2.1. Дебелина на јагленова серија**

Повеќето од операциите на ПГЈ биле спроведени во главно во порозни услови за гасови, и тоа во наоѓалишта на кафеави јаглени и помлади формации на цврст јаглен. Општо земено, овие депозити се на поплитки длабочини, до 300 метри, и се релативно лесно запалливи. Силното набабрување на јагленот има тенденција да го блокира протокот на гас низ лежиштето на јаглен, со што се попречува текот на реакцијата. Гасификација на слоеви со дебелина од 1 m или повеќе ја подобрува економичноста. Наоѓалиштата коишто се потенки од 0,5 метри не се сметаат за погодни за ПГЈ.

Во процесот на ПГЈ, областа на горење не само што се лади преку размена на топлина, туку дел од топлината, исто така, се губи и во слојот на јаглен како и во околните карпи (подот, покривот), со што имаме негативно влијание врз стабилноста на процесот на подземна гасификација.

Се сугерира дека кога дебелината на јагленовиот слој е помала од 2 метри, процесот на ладење е со драматични промени и околните карпи значително влијаат на вредноста на топлината на гас којшто се добива од јагленот. Што се однесува до релативно тенките јагленови слоеви, со зголемување на брзината на инјектирање на воздух или инјектирање на воздух збогатен со кислород може да се подобри топлотната вредност на гасот.

Во поранешниот Советски Сојуз, во подземната станица за гасификација Lisichansk применет е воздух збогатен со кислород којшто се инјектира во слојот на јаглен каде што дебелината била помалку од 2 m. Кога дебелината на слоевите на јаглен се намалува или приливот на вода се зголемува, содржината на CO<sub>2</sub> во добиениот гас ќе се зголеми.

## 2.2 Ефект на јагленова реактивност

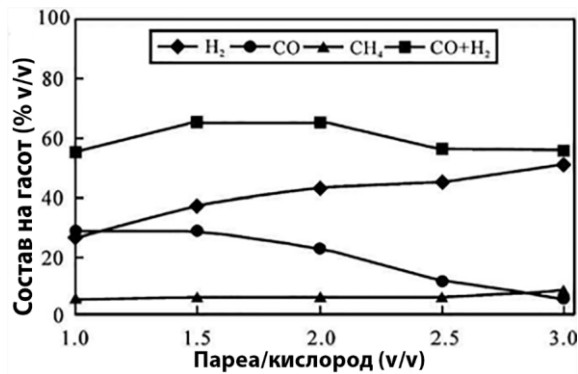
Хемиската реактивност на јагленот потенцијално е многу важна за процесот на ПГЈ. Забележаната вродена реактивност кај јаглени од низок ранг, се разликуваат до 4 степени на големина кога се екстраполираат при типични гасификациони работни температури. Вродената (природната) јагленова реактивност има големо влијание на дистрибуцијата во гасификаторот како и на крајниот производ. Особено високата реактивност резултира со производство на метан преку реакцијата кај пепелот со  $H_2$ . Бидејќи оваа реакција е егзотермна, зголемувањето на реактивноста на оваа реакција може да доведе до големи промени во калориската вредност на крајниот производ.

## 2.3. Гасификациони агенси

Во литературата е присутна гасификација при различни атмосферски услови како што се воздухот, пареа, пареа - кислород и јаглерод диоксид. Во принцип, атмосферските услови во гасификаторот ја одредуваат калориска вредност на синтетичкиот гас кој го добиваме како производ. Кога се користи воздухот како агенс во гасификацијата се добива синтетички диоксид со ниска вредност на греење. Ова главно се должи на разредување на синтетичкиот гас од азотот кој што се содржи во воздухот. Но, доколку се користи пареа или комбинација на пареа и кислород, синтетичкиот диоксид е со средна вредност на топлинска енергија кај произведениот гас. Додавањето на пареа го менува балансот во јаглерод-кислород системот и имаме јаглерод-кислород-пареа систем во процесот на согорување. Кислород-пареа гасификацијата не само што го користи вишокот топлина за подобрување на енергетската ефикасност на процесот, туку исто така, го зголемува обемот на производството на гас по тон на јаглен и го намалува обемот на потрошувачка на кислород по тон на јаглен. Менување на односите помеѓу гасна композиција и количината на пареа-кислород се прикажани на слика 1.

Резултатите од експериментот покажале дека при користење на чист кислород во процесот на подземна гасификација на јаглен, водата во јагленовата серија како и водата којашто истекува од кровината може да се користи за производство на течен гас. Сепак, бидејќи водата при испарувањето троши топлина а и невозможно да се контролира количината на пареа често гасната композиција има широки флукуации. Поради тоа е потребно да се прилагоди обемот на снабдување со кислород за да се задржи стабилност на постапката во процесот на гасификација.

Од слика 1 може да се забележи дека со порастот на количината на пареа-кислород, обемот на пареа се зголемува, содржината на  $H_2$  на гас за јаглен се подобрува, содржината на  $CO$  се намалува и содржината на  $CH_4$  малку се зголемува.



Слика 1. Варијации на гасната композиција со пареа-кислород (60)

Произведениот Синтетички гас (SYNGAS) во процесот на ПГЈ има ниска калорична вредност (од околу една осмина) доколку се инјектира воздух, а оваа вредност се удвојува доколку се инјектира кислород. Пареата збогатена со кислород во процесот на гасификација има извонреден ефект во составот на производот. Во тесна околина, при гасификација со чист кислород, просечната стапка на зголемувањето на температурата на гасифицираната јагленова серија е за 2,10 °C/h; додека пак во гасификацијата каде се користи пареа збогатена со кислород, високата температурата главно се концентрира околу гасификационата галерија, при што највисоката температура во оксидационата зона достигнува над 1200 °C.

Воздухот којшто се инјектира во гасификациониот канал е со мала брзина, пламенот има тенденција да се шири кон местото на инекција, но доколку се зголемува брзината на протокот на воздух, шуплината има тенденција да расте во спротивна насока. Исто така е познато дека ширење на пламенот е побрзо кога се користи кислород наместо на воздухот. Ова однесување е очекувано со оглед на тоа што горењето коешто е поддржувано од кислород е со поголема топлина и има повисока стапка на реакција.

Според Saulov et al. ги земал во предвид границата на високи температури, високата енергија на активација и силниот проток на воздух. При овие услови на површината на каналот има две зони, ладна и топла. Температурата не е доволно висока во ладната зона да иницира реакции, додека пак во топлата зона и кислородот на површината реагираат веднаш. Бидејќи енергијата на активација е висока, овие зони се многу малку одвоени. Вкупната количина на реакција е определена со стапката на дифузија на кислородот во топлата зона, додека концентрацијата на кислород кај динамичениот модел, во кој имаме раст на шуплината и загуба се проценети како функции зависни од времето.

#### 2.4. Ефект на температура

Процесот на ПГЈ е практично една од самобалансирачка термичка реакција. Топлината произведена од согорувањето на јагленот придонесува за воспоставување на идеално температурно поле во подземните гасификатори, така што доведува до појава на гасификациони реакции и на крајот до производство на гас.

Температурата е клучен фактор во одредување на континуирано и стабилно производство во процесот на подземна гасификација на јаглен. Моделите на варијација на температурата во гасификаторите се тесно поврзани со видот на гасификациониот агенс, со начинот на гасификацијата и од промените во

празнината (шуплината). Во услови на гасификација со чист кислород, просечната стапка на зголемување на температурата во гасификаторот на јагленова серија при вжештени сидови во суштина е нула. Во такви услови на околу 4.15 °C/h; во фронталната гасификација со кислород-пареа, турбулентниот пламен е целосно контролиран од страна на дифузијата, а стапката на инјектирање нема контрола врз позицијата на пламенот. Согорувањето на јагленот започнува со реакции на деволатизација (испарување) при ниски температури и може да се лади со приливот на воздух. Ако овие реакции играат значајна улога во иницирањето на остатокот од процесот на оксидација или во енергетскиот биланс, позицијата на пламенот зависи од брзината на воздухот и истата е можно да се контролира.

Кога другите фактори се константни, зголемувањето на стапката на протокот и време на операција резултираат во монотонно зголемување во сите димензии на празнина и волумен. Меѓутоа, кога растојанието помеѓу дупчотините за вбригување и дупчотините за производство се зголемува, вкупниот обем на празнина се намалува, тоа се должи на значително намалување на степенот на раст на празнината во директна насока.

## **2.5. Ефект на притисок**

Познато е дека притисокот има позитивно влијание на перформансите на гасификацијата на јаглен. При притисоци блиски до атмосферскиот притисок, калориската вредноста на произведениот гас е многу ниска, бидејќи постојат кинетички ограничувањата на реакциите на гасификацијата. Промените во работен притисок во голема мера може да го подобрат подземниот процес на гасификација. Под услов циклично да се менува притисокот, загубата на топлина очигледно да се намалува, ефикасноста на топлината, ефикасноста на гасификација и топлинската вредноста на произведениот гас значително да се зголемува. Со подземен гасификатор со долг канал и голем пресек може да се подобрат условите на согорување и гасификацијата во голема мера, значително подобрување на квалитетот на произведениот гас како и стабилност на производството на гас. Затоа, големите подземни гасификатори се во состојба да ги исполнат потребите на индустриското производство.

## **2.6. Ефектот на загубата на топлина**

Топлинските загуби при подземната гасификација на јаглен не е лесно да се проценат. Ако празнината останува целосно во слојот на јаглен, загубите на топлина од (во) околните слоеви веројатно ќе биде мала и може да се игнорира. Сепак, како што празнината постепено станува изложена на откривката, неповратно ќе се зголеми загубата на топлина во околината. Не е лесно да се процени оваа загубата на топлина бидејќи откривката е подложна расцепување. Дел од енергијата што се користи за да се загрее празнината до потребната температура може да се надомести со претходно загревање на гасот којшто се инјектира. Механизмите за загубата на топлина веројатно може полесно да се истражуваат со помош на еднофазна област со висока температура која главно треба се концентрира околу олабавените зони кај кои доаѓа до термални експлозии и каде што температурата е највисока т.е. зоната на оксидација достигнува до 1300°C. Во споредба со фронталната гасификација, просечната температура во гасификаторот за обратна

гасификација е помал. Падот на температурата резултира со намалување на CO содржината, додека H<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub> и содржината на CO<sub>2</sub> се зголемуваат.

Кај методот на гасификација со топлинска експлозија, под услови на гасификација со чист кислород, просечната стапка на зголемувањето на температурата на гасифицираната јагленова серија е околу 4.15 °C/h; во фазата со фронтална гасификација со кислород-пареа, температурното поле главно се концентрира околу олабавените зони кои произлегуваат од термалните експлозии, при што е највисоката температура во зоната на оксидација може да достигне и до 1300 °C. Податоците од тестирањата покажуваат дека со фронталната гасификација кислород-пареа со подвижни точки значително може да ги подобрат условите за температурата во гасификаторот. Во случајот на обратната (назад) гасификација со кислород-пареа, со текот на времето, температурата на рабовите на гасификација на јагленот во континуитет се зголемува, напредува стабилно, малку по малку и е во основа иста со онаа како кај фронталната гасификација. Затоа, кај обратната (назад) гасификација може да се формираат нови температурни услови како и подобрување на ефикасноста на гасификација на јагленовите слоеви.

Во процесот на гасификација на јаглен, промените на температурата во слојот на јаглен главно се должат на медиумот за пренос на топлината од огнот на местото на горење, кое што во суштина претставува извор на топлина.

Во процесот на подземна гасификација на јаглен, температурата на јагленова серија околу каналот за гасификација се зголемува заедно со испорачаната топлина. Кога површината на јагленот се загрева со топол гас или од соседните вжештени јаглени, температурната дистрибуција се проширува кон раздробениот јаглен, односно во внатрешноста на споевите на јаглен, што неизбежно резултира со термички ефекти на апсорпција, десорпција и продирање на движење кон сува дестилација на гасот којшто е складиран во слојот од јаглен. Студијата на King и Ertekin [3] покажува дека во неизотермични услови, процесот на апсорпција, десорпција и процесот на навлегување или експанзија е поврзано со температурата.

Според теоријата на гасификацијата, температурата над 1000°C укажува на голема брзина и дифузија на реакцијата на распаѓање на вода, сочинувајќи го основните процес за производство на богат водороден гас во текот на фазата на ПГЈ со пареа. Од друга страна, падот на температура под 700°C значително ја забавува брзината на реакцијата.

Поради овие причини, посебно внимание беше посветено на одржување на параметрите за подобро производство на гас со висока содржина на запаливи компоненти, воглавно водород. Затоа фазата на кислород се продолжува за да се постигнат температури во опсег помеѓу 1100 °C и 1200 °C. Според резултатите од пресметковната симулација, со зголемување на должината на каналот за гасификација, вредноста на загревање на гасот се подобрува. Сепак, зад редуccionатата зона, зголемувањето е со помала разлика. Влијанието на полето на температурната на вредност на загревање на гасот е забележлива. Ова се должи на ефектот на температурата, со висока температурна зона, промената на измерената вредност од областа на концентрацијата за составот на гасот е поголема од онаа на пресметаната вредност.



Подземната гасификација на големо количество на јаглен на температури повисоки од 1000 °C обично се одразува на глиневата отквивката. Повеќето од термичките реакции во глиневите карпи се ендотермни.

## **2.7. Пораст на шуплините**

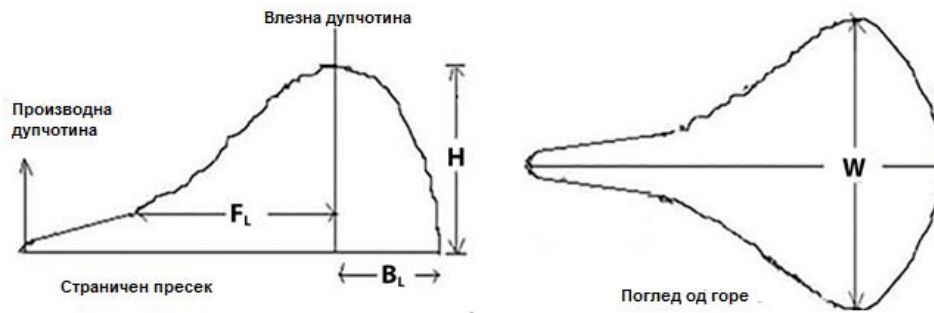
Како што напредува процесот на гасификација на јагленот којшто се наоѓа во наоѓалиштето, добиваме пепел, шут и празен простор. Големината на формираната празнина за време на гасификацијата директно влијае на економските и еколошките фактори коишто се од суштинско значење за успехот на процесот. На развојот на шуплината влијае разликата на условите кои владеат во гасификаторот:

- Распределба и прераспределба на гасификаторските агенси и гасификаторот за време на процесот на гасификација;
- Степен на преземање на страните на гасификаторот во зависност од топлинско-масна измена;
- Однесувањето на кровината и стабилноста на карпите;
- Хемиско-кинетички процеси на гасификација и
- Контрола на геометријата на гасификацијата.

Од наведените фактори кои се влијателни на развојот на гасификаторот научниците процениле дека приматно значење има распределбата на токот на гасификациските агенси. На пропустливоста влијаат:

- Природни физички обележја како што се порозност, шкрилавост, заситеност со вода, јаглерод диоксид и метан;
- Термичка промена со сушење, пиролиза и топење и
- Распределба на напрегањето вклучувајќи ги литостатските, термичките, структуралните (како последица на создавање на празен простор) и притисоците на флуидот.

Тежината на влијанието на некој фактор се менува во зависност од обележјето на гасификаторот. Страничните димензии влијаат на страничното искористување на ресурсите, на одредување на растојанието помеѓу модулите и конечно на димензиите на шуплината кои ја определуваат хидролошката состојба и слегнувањето на кровината. Точната форма и големина на каналот за гасификација во ПГЈ е од витално значење за безбедноста и стабилноста на горните делови од геолошка формација. Поради тоа што висината на празнината расте, таа ќе достигне до спојот помеѓу слојот на јаглен и покривката. Од тој момент па натаму растот на празнината може да биде под силно влијание од страна на интеракцијата на смесата на гас со прекумерна тежина. Вообичаено на почетокот на процесот на ПГЈ, потребна е егзотермна реакција на согорување на јагленот сè со цел да се создаде доволно голема подземна празнина. Во оваа рана фаза, растењето на шуплина не е ограничено од интеракцијата со покривката. Откако ќе се постигне поле на стабилна температура, се внесува пареа во шуплината за гасификација на јаглен со цел да се добие производ од запалив гас. Обликот и степенот на раст на празнината во голема мера ќе влијаат на други важни феномени, на пример на шемите на проток на гас, кинетиката, температурните профили, итн. Големината на празнината во било кое дадено време зависи од степенот на потрошувачка на јаглен и неговата форма, а не зависи од идеалните шемии на проток во внатрешноста на празнината.



**Слика 2.** Шематски дијаграм каде што се дефинирани: должината напред, должината назазад, висината и ширината на конечниот профил на шуплината

Обликот на празнината е речиси симетричен околу инјекционата дупчотина. Развојот на празнината зад местото на инјектирање (т.е. должина назазад) е помала од височината (во вертикална насока) и ширината на местото на инјектирање (во попречен правец). Должината напред на празнината (односно оддалеченост од инјектирање до крајната точка на куполата на празнината во директна насока) е поголема од висината и должината назазад. Конвективниот прилив на реактант гасот во директна насока (т.е. кон производствената дупчотина) придонесува за дополнителен раст на празнината во оваа насока.

Посматраната финална шуплина која е поврзана со долг одводен канал е речиси со полукружен облик. На Сл. 2 е шематски е прикажан конечниот облик на празнината (на шуплината) и имаме приказ од вертикалната перспектива, напред, назазад како и во попречни насоки.

Температурата на покривот на празнината е во опсег од  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температурата на подот се движи меѓу  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Обемот на зголемување на празнината е постепен и зависи од потрошувачката на јаглен и од термомеханичките појави (доколку ги има). Бидејќи растот на шуплината е неправилен во сите три димензии, моделот на протокот во внатрешноста на празнина е неидеален. Комплексноста се зголемува уште повеќе, бидејќи и други процеси се случуваат во исто време, како што е пренос на топлината поради конвекција и зрачење, одбивање, навлегување на вода од околните извори, неколку хемиски реакции и други геолошки аспекти. Развиени се неколку математички модели кои ги земаат во предвид шуплината во којашто се одвива ПГЈ, видот на наоѓалиштето и големината на каналот. Повеќето од веќе постоечките модели, шуплината ја гледаат правоаголен или цилиндричен канал.

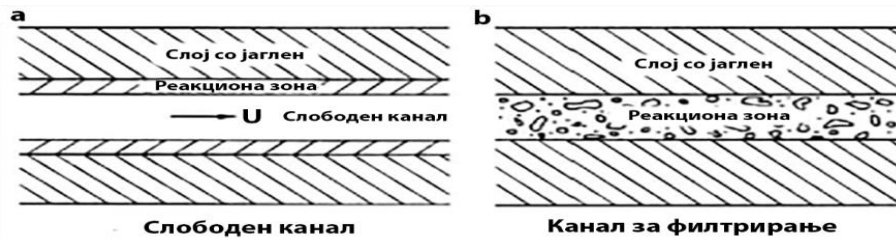
Според Perkins и Sahajwalla [2] се предвидува стапка на раст на празнина помеѓу  $1,6$  и  $5\text{ cm/h}$ , користејќи го нивниот математички модел кој ја поврзува линеарната стапка на раст на празнина со реактивноста и способноста за голем транспорт на гас. Мерејќи ја линеарно ја пресметал вертикалната стапка на раст од  $1,1\text{ cm/h}$  (добиена со користење на измерените височинини во празнината во различни времиња, а останатите услови остануваат исти).

Волуменот на празнина е директно пропорционален на потрошувачката на јаглен, а формата зависи од релативните стапки на раст кои се случуваат во секоја од четирите идентификувани насоки. Додека потрошувачката на јаглен се регулира со степенот или брзината на реакцијата која се одвива во реакторот, растот на секоја поединечна насока е зависен од полето на

комплексниот проток на реактивниот гас во внатрешноста на празнина и други ефекти како што се термомеханички појави на јагленот.

Chen et al.[4] развил модел за пресметување на температурната дистрибуција во вертикална насока и на обемот на согорување.

Според физичките и хемиските својства на јагленот и рудничко - геолошките условите на подземните слоеви на јаглен во панелот за гасификација може да се формираат два вида на гасификациони канали; имено, слободен канал без цврста фаза и изработка на порозен лабав канал за филтрирање. Во надолжна (или радијална) насока, слободниот канал може да се подели во три зони (сл. 3), односно зона на слободен проток, зона на реакција и зоната во рабовите на јагленот.



Слика 3. Гасификациони канали во јагленово наоѓалиште

При континуираната размена на топлина помеѓу сидовите и каналот, составот на гасот е различен односно при самото производство се одземаат или се произведуваат одредени композиции. Истовремено, се појавува хомогена реакција во составот на гасот. Во зоната на реакција, се одвива оксидација, намалена реакција и реакција на пиролиза на јаглен. Преносот на топлина во составот на гасот, потрошувачката и производството на композиции може да се сметаат како гранични услови за производство на гас. Во зоната на јагленова серија, дел од топлината во зоната на реакција имаме загуби во рабовите на јагленовата серија, најчесто во форма на спроведување на топлина, при што имаме сува дестилација на рабовите на јагленовата серија. Поради тоа, можеме да ги набљудуваме карактеристиките на движење на гасниот продукт и да се воспостави контрола на процесот во слободниот канал за гасификација. Растот на празнина директно влијае на искористување на јагленовите ресурси и на енергетската ефикасност, а со тоа и на економската оправданост. Од растот празнина, исто така се зависни и други потенцијални размислувања за дизајнирање, вклучувајќи избегнување на слегнување на површината и на загадувањето на подземните води.

Правењето на парови на дупчотини (дупчотина за вбризување и дупчотина за производство на гас) е скапо, па поради тоа е пожелно за гасификацијата да се применува максимален волумен на јаглен помеѓу паровите на дупчотини. При процесот на гасификација, се формира празнина која ќе расте по висина и ширина се додека не дојде до колабирање на кровината. Колабирањето на кровината е важно бидејќи допринесува за страничен раст на гасификаторот. На местата каде што кровината е јака и не се руши, или каде што имаме издробена почва која што блокира и е слабо консолидирана, дел од течностите реагенти ќе направат заобиколување на јагленот и ефикасноста на реакторот може брзо да се намали. Во принцип, со зголемување на длабочината, би требало условите да се сè повеќе и повеќе поволни за развој на гасификаторот, со помал ризик да се случуваат проблеми со заобиколување на јагленот, освен можеби во услови на многу силна кровина.

## 2.8. Гасна дифузија

Во процесот на согорување и гасификација на рабовите на јагленот во гасификаторот, главните реакции се во повеќе фази (мулти-фазни). Во секоја фаза на реакциите на мулти-фазата, реактантот во гасовита состојба со метод на дифузија се шири на површината на каде што имаме реакција во цврста состојба. Воглавно имаме два вида на гасна дифузија: молекуларна дифузија и дифузија на струење на воздух (вртложна). Процесот на согорување на рабовите на јагленот зависи од карактеристиките на гасната дифузија и динамички карактеристики на хемиските реакции. Покрај тоа, земајќи ги во предвид условите за движење на флуидите, можеме да заклучиме дека конвектното движењето на флуидите (од потопла (поретка) состојба кон поладна (погуста) состојба) кај гасната дифузија, е значаен фактор кој влијае на процесот на подземната гасификација. Во услови на високи температури, молекуларната дифузија е зависна од степенот на концентрација, големината на температурата и од големината на притисокот.

При проучување на основните карактеристики на конвектната дифузија за гасот којшто е произведен при подземна гасификација на јаглен, врз основа на експерименталниот модел, преку анализа и дистрибуција на моделите на варијација во областа на концентрација на флуидите во процесот на согорување и гасификација на јагленова серија во рамките на гасификаторот, Lanhe креирал 3-D не-линеарни нестабилни математички модели на конвектна дифузија на гасот за кислород. Истата студија заклучува дека концентрацијата на кислород е во директен сооднос со неговата оддалеченост од работниот фронт на пламен, односно колку е подолго растојанието, толку е поголема концентрацијата на кислород и обратно.

Во близина на зоната на согорување, при многу висока температура, кислородот во реакција со јаглерод е речиси потрошен; во ослабената зона, концентрација на кислород многу опаѓа така што речиси се приближува до нула; во излезната зона, благодарение на релативно ниските температури, падот на концентрацијата на кислород е забавена.

Во време на гасификационите процеси, на околните карпи кои дејствуваат како ѕидови на печката се под влијание на висока температура, со зголемување на температурите се менуваат и нивните механички својства. Истовремено, имаме стрес и поместување на карпите што исто така се должи на високата температура. Нестабилноста на гасификаторот ќе резултира со прекин на пареата, и нецелосен контакт помеѓу гасификациониот агенс и јагленот. Може да постојат два механизми што ќе влијаат на транспортот на гас низ порозниот слој над изворот на гас, односно, дифузија и навлегување. Движечка сила на дифузијата е степенот на составот на гас (изразена преку фракциите на гасната компонента); движечка сила за навлегување е вкупниот степен на притисок.

Се покажа дека зголемувањето на притисокот влијае повеќе на брзината на движење на гасот во однос на значителното зголемување на температурата која е речиси незначителна. Сепак, за сите тестирани услови се појавува  $\text{CO}_2$  на растојание од неколку стотици метри по само неколку години. Директна пропорционалност на коефициентот на ефективна пропустливост на ефективен квадрат значи дека радиусот на порите е потврден.

## 2.9. Брзината на фронталното согорување

При гасификација на компактни наоѓалишта, фронтот на горење се движи споро и паралелно со наоѓалиштето и на протокот на гасови. Жешките гасови од процесот на согорување секогаш имаат директен контакт со недогорениот јаглен што е пред зона на согорување и тоа сè додека не дојдат до производствената дупчотина. Во каналот за гасификација, зоната на согорување се движи кон надворешноста под речиси прав агол во однос на протокот на воздух и гасовите од согорувањето. Во текот на процесот се формира термален бран кој постепено патува низ наоѓалиштето на јаглен кон дупчотината за производство на гас. Обликот на топлинскиот бран има тенденција многу малку да се менува. Со оглед на тоа што обликот на бранот останува непроменет, процесите кои се случуваат во секое температурно ниво во движењето топлинскиот бран остануваат непроменети со текот на времето, и се појавува и преовладува стабилна состојба или псевдостабилна состојба. Под овие услови во еден димензионален систем, е можно да се трансформира на математичкиот модел во движење во координатен систем кој ги претвора парцијалните диференцијали во обични диференцијални равенки, што е големо поедноставување на проблемот. Оваа трансформација е [78]:

$$n = x - vt$$

каде што:

$x$  = фиксен координатен простор,

$t$  = време,

$v$  = брзина на топлинскиот бран или фронтот на согорување,

$n$  = координатен систем кој што се движи со фронтална брзина  $v$ .

Кога физичките својства на јагленот имаат тенденција да се разликуваат во голема мера на кратки растојанија, дури и за само еден јагленов слој, изработката на задача на моделирање за ПГЈ процесот е многу сложена. Гасификација на типичен 9 m слој на суббитуменозен јаглен изнесува 0.3-0.6 m/ден и го троши целиот јаглен во ширина од 12 до 15 метри и во растојание од околу 18 метри. Прецизните пропорции на различните компоненти на гасови во синтетичкиот гас се зависни од квалитетот и рангот на јагленот, длабочина на слојот, соодносот на пареата-кислород, од количината на инјектираниот кислород како и од други параметри. При постојан сооднос на пареа-кислород композициите остануваат стабилни.

## 3. ЗАКЛУЧОК

Подземна гасификација не може да се контролира во иста мера како процесот на површинска гасификација бидејќи не е возможно да се контролира количината на јаглен којашто се обработува. Процесот на ПГЈ може да се управува со стабилност и флексибилност, како што кажавме, влезниот проток има директна врска со производниот проток, со мал ефект врз квалитетот на произведениот гас. Излезната моќност од гасификаторот може да се брзо зголемува или да се намалува со зголемување или намалување на количината на проток на  $O_2$ .

Иако зголемената длабочина и притисок не е предуслов за висок квалитет на гас, подобро е да имаме поголема маса на проток, а со тоа поголема ефикасност на пренос на енергијата на површината. Производството на

енергија од систем за ПГЈ зависи од брзината на проток на гасните производи и топлинската вредноста на гасна смеса. Обемот на проток на гасниот производ обично е четири пати поголем во однос на инјектираниот гас, и овде единствен лимитирачки фактор е динамичниот отпор на производната дупчотина. Волуменот на одлив во производната дупчотина е пропорционален на притисокот на внесување на гас. Зголемување на длабочината ја зголемува густината на произведениот гас како и неговиот притисок. Добиената количина на прилив се должи на зголемување на притисокот која што треба да ги надмине загубите кои што настануваат при триење како резултат на зголемената должина на дупчотината. Зголемување на дијаметарот на производната цевка, исто така го зголемува степенот на ограничување на протокот. Зголемување на дијаметарот може но не мора да биде можно да се постигнат потребните температури за ПГЈ, пред се поради недостатокот на контрола на приливот на вода и реактантите.

Направени се теренски проби со различни оперативни маневри, како што е спроведување на контролирано движење на инјекционите точки, операции и варијации збогатени со  $O_2$  на работен притисок за да се обезбеди релативна контрола на протокот на гас, а со тоа подобрување на ефикасноста на топлинска енергија и квалитетот на произведениот синтетички диоксид (SYNGAS).

Би било подобро да симулираме модел од неколку гасификациони процеси во вистинска големина, така што целиот процес би можел да се моделира одеднаш, наместо секвенцијално.

## КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Courtney, R., 2009. *Underground Coal Gasification*. UCG Workshop, Pittsburgh Coal Conference. Pittsburgh, PA.
- [2] Perkins G, Sahajwalla V. A mathematical model for the chemical reaction of a semi-infinite block of coal in underground coal gasification. *Energy & Fuels* 2005;19(4)
- [3] King GR, Ertekin TM. Review of methane-related mathematical models (part one): experiment and the model on balanced absorption. *Coal Layer Gas* 2000;25:13.
- [4] Chen L, Hou C, Chen J, Xu J. A back analysis of the temperature field in the combustion volume space during underground coal gasification. *Mining Science and Technology (China)* 2011;21(4):581e5.
- [5] Bhutto AW, Bazmi AA and Zahedi G (2013) Underground coal gasification: from fundamentals to applications. *Progress in Energy and Combustion Science* 39(1): 189–214, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2012.09.004>.
- [6] Blindermann MS, Saulovb DN and Klimenko AY (2008) Forward and reverse combustion linking in underground coal gasification. *Energy* 33(1): 446–454, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2007.10.004>.
- [7] Boysen JE, Covell JR and Sullivan S (1990) Rocky Mountain 1 Underground Coal Gasification Test, Hanna, WY – Results from Venting, Flushing, and Cooling of the Rocky Mountain 1 UCG Cavities. Gas Research Institute, Chicago, IL, USA, GRI Publication No. 90/0156