



**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ - ШТИП  
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ**

**UNIVERSITY GOCE DELCEV - STIP  
FACULTY OF NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES**

UDC: 622:55:574:658

ISSN:1857-6966  
DOI: 10.46763/NRT

# **Природни ресурси и технологии Natural resources and technology**

**Број 1  
No 1**

**Година 15  
Volume XV**

**Јуни 2021  
June 2021**

**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП  
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ**

---



**Природни ресурси и технологии  
Natural resources and technologies**

**Јуни 2021  
June 2021**

**ГОДИНА 15  
БРОЈ 1**

**VOLUME XV  
NO 1**

---

**UNIVERSITY “GOCE DELCEV” – STIP  
FACULTY OF NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES  
DOI: <https://www.doi.org/10.46763/NRT21151>**

---

**ПРИРОДНИ РЕСУРСИ И ТЕХНОЛОГИИ**  
**NATURAL RESOURCES AND TECHNOLOGIES**

**За издавачот**

Проф. д-р Зоран Десподов

**Издавачки совет**

Проф. д-р Блажо Боев  
Проф. д-р Зоран Десподов  
Проф. д-р Лилјана Колева - Гудева  
Проф. д-р Зоран Панов  
Проф. д-р Борис Крстев  
Проф. д-р Мирјана Голомеова  
Проф. д-р Благој Голомеов  
Проф. д-р Дејан Мираковски  
Проф. д-р Тодор Серафимовски  
Проф. д-р Војо Мирчовски  
Проф. д-р Тена Шијакова - Иванова  
Проф. д-р Соња Лепиткова  
Проф. д-р Гоше Петров  
Проф. д-р Кимет Фетаху,  
(Политехнички универзитет во Тирана, Р.Албанија)  
Проф. д-р Ивајло Копрев,  
(МГУ Софија, Р. Бугарија)  
Проф. д-р Никола Лилиќ,  
(Универзитет во Белград, Р. Србија)  
Проф. д-р Жоже Кортник  
Универзитет во Љубљана, Р. Словенија  
Проф. д-р Даниела Марасова,  
(Технички универзитет во Кошице, Р. Словачка)

**Editorial board**

Prof. Blazo Boev, Ph.D  
Prof. Zoran Despodov, Ph.D  
Prof. Liljana Koleva - Gudeva, Ph.D  
Prof. Zoran Panov, Ph.D  
Prof. Boris Krstev, Ph.D  
Prof. Mirjana Golomeova, Ph.D  
Prof. Blagoj Golomeov, Ph.D  
Prof. Dejan Mirakovski, Ph.D  
Prof. Todor Serafimovski, Ph.D  
Prof. Vojo Mircovski, Ph.D  
Prof. Tena Sijakova - Ivanova, Ph.D  
Prof. Sonja Lepitkova, Ph.D  
Prof. Gose Petrov, Ph.D  
Prof. Kimet Fetahu, Ph.D  
R. Albania  
Prof. Ivajlo Koprev, Ph.D  
R. Bulgaria  
Prof. Nikola Lilik, Ph.D  
R. Srbija  
Prof. Joze Kortnik, Ph.D  
R. Slovenia  
Prof. Daniela Marasova, Ph.D  
R. Slovacka

**Редакциски одбор**

Проф. д-р Зоран Десподов  
Проф. д-р Зоран Панов  
Проф. д-р Борис Крстев  
Проф. д-р Мирјана Голомеова  
Проф. д-р Благој Голомеов  
Проф. д-р Дејан Мираковски  
Проф. д-р Николинка Донева  
Проф. д-р Марија Хаци - Николова

**Editorial staff**

Prof. Zoran Despodov, Ph.D  
Prof. Zoran Panov, Ph.D  
Prof. Boris Krstev, Ph.D  
Prof. Mirjana Golomeova, Ph.D  
Prof. Blagoj Golomeov, Ph.D  
Prof. Dejan Mirakovski, Ph.D  
Prof. Nikolinka Doneva, Ph.D  
Prof. Marija Hadzi - Nikolova, Ph.D

**Главен и одговорен уредник**  
Проф. д-р Афродита Зенделска

**Managing & Editor in chief**  
Prof. Afrodita Zendelska, Ph.D

**Јазично уредување**  
Весна Ристова  
(македонски јазик)

**Language editor**  
Vesna Ristova  
(macedonian language)

**Техничко уредување**  
Кире Зафиров

**Technical editor**  
Kire Zafirov

**Редакција и администрација**  
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип  
Факултет за природни и технички науки  
ул. „Гоце Делчев“ 89, Штип  
Република Северна Македонија  
URL:

**Address of the editorial office**  
Goce Delcev University - Stip  
Faculty of Natural and Technical Sciences  
Goce Delcev 89, Stip  
Republic of North Macedonia  
<https://js.ugd.edu.mk/index.php/NRT/index>

---

## С о д р ж и н а / C o n t e n t s

<b>Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски, Ванчо Адјиски</b> ФИЗИЧКИ И ХЕМИСКИ ПРОЦЕСИ ПРИ ПОДЗЕМНАТА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН <b>Radmila Karanakova Stefanovska, Zoran Panov, Risto Popovski, Vancho Adjiski</b> PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES UNDER THE UNDERGROUND COAL GASIFICATION .....	5
<b>Зоран Панов, Ванчо Адјиски, Гоце Златков, Радмила К. Стефановска, Ристо Поповски</b> НОВ ПРИСТАП КОН ВОВЕДУВАЊЕ НА ДИГИТАЛНА ГРАНУЛОМЕТРИСКА АНАЛИЗА НА ИЗДРОБЕН МАТЕРИЈАЛ <b>Zoran Panov, Vancho Adjiski, Goce Zlatkov, Radmila K. Stefanovska, Risto Popovski</b> A NEW APPROACH FOR INTRODUCTION OF DIGITAL GRANULOMETRIC ANALYSIS OF CRUSHED MATERIAL .....	13
<b>Ванчо Адјиски, Зоран Панов, Гоце Златков, Ристо Поповски,</b> <b>Радмила Каранакова Стефановска</b> МЕТОДОЛОГИЈА ЗА АВТОМАТИЗИРАН ПРИСТАП ПРИ УТВРДУВАЊЕ НА СТЕПЕНОТ НА ИСПУКАНОСТ (RQD) НА ЈАДРА ОД ИСТРАЖНИ ДУПНАТИНИ СО ПОМОШ НА ФОТОГРАФИИ <b>Vancho Adjiski, Zoran Panov, Goce Zlatkov, Risto Popovski,</b> <b>Radmila Karanakova Stefanovska</b> METHODOLOGY FOR AUTOMATED APPROACH IN DETERMINING THE ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD) INDEX FROM DRILL CORE PHOTOGRAPHS .....	27
<b>Тодор Серафимовски, Ивица Ристовиќ, Блажо Боев, Горан Тасев,</b> <b>Иван Боев, Далибор Серафимовски, Матеј Доленец</b> МИНЕРАЛОШКИ АНАЛИЗИ НА ПРИМЕРОЦИ ОД СТАРОТО ХИДРОЈАЛОВИШТЕ НА РУДНИКОТ БОР, РЕПУБЛИКА СРБИЈА <b>Todor Serafimovski, Ivica Ristović, Blažo Boev, Goran Tasev,</b> <b>Ivan Boev, Dalibor Serafimovski, Matej Dolenc</b> MINERALOGICAL ANALYSIS OF SAMPLES FROM THE OLD BOR MINE FLOTATION TAILING, REPUBLIC SERBIA .....	37
<b>Митко Јанчев, Иван Боев</b> КАРАКТЕРИСТИКИ НА РАДНОТ ОД ФОСОФИГИПСНИОТ ОТПАД ВО БЛИЗИНА НА ЛОКАЛИТЕТОТ ЗГРПОЛЦИ, ВЕЛЕС, РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА <b>Mitko Jancev, Ivan Boev</b> RADON FOOTPRINT FROM THE PHOSPHOGYPSUM WASTE STACK NEAR ZGRPOLCI LOCALITY, VELES, REPUBLIC NORTH MACEDONIA .....	51
<b>Митко Јанчев, Иван Боев</b> ВЛИЈАНИЕ НА ГИПСОТ ОД ДЕПОНИЈАТА ЗГРОПОЛЦИ (ХЕМИСКА ИНДУСТРИЈА-ХИВ-ВЕЛЕС) ВРЗ СКУЛПТУРИТЕ ОД АРХЕОЛОШКИОТ ЛОКАЛИТЕТ СТОБИ, СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА <b>Mitko Jancev, Ivan Boev</b> IMPACT OF GYPSUM FROM THE ZGROPOLCI LANDFILL (CHEMICAL INDUSTRY – HIV- VELES) ON THE SCULPTURES AT THE ARCHAEOLOGICAL SITE STOBI, NORTH MACEDONIA .....	65

---

<b>Благица Донева</b> ВЛИЈАНИЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ЗДРАВЈЕТО НА ЧОВЕКОТ <b>Blagica Doneva</b> INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION ON HUMAN HEALTH .....	71
<b>Афродита Зенделска, Мирјана Голомеова, Благој Голомеов</b> ОДРЕДУВАЊЕ НА ВОЛУМЕН НА БАЗЕН ЗА ИЗЕДНАЧУВАЊЕ НА ПРОТОКОТ И СОСТАВ НА ОТПАДНА ВОДА <b>Afrodita Zendelska, Mirjana Golomeova, Blagoj Golomeov</b> DETERMINATION OF THE VOLUME OF FLOW EQUALIZATION BASIN IN WASTEWATER TREATMENT .....	83
<b>Цветанка Панова, Мирјана Голомеова</b> ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНА КОЛИЧИНА НА ЗАЛИХИ И НИВНО УПРАВУВАЊЕ <b>Cvetanka Panova, Mirjana Golomeova</b> DETERMINING OPTIMAL INVENTORY LEVELS AND THEIR MANAGEMENT .....	93
<b>Екатерина Намичева, Петар Намичев</b> ТРАДИЦИОНАЛНАТА КОНСТРУКЦИЈА НА МАКЕДОНСКАТА КУЌА ОД 19-ОТ ВЕК <b>Ekaterina, Namicheva, Petar, Namicev</b> THE TRADITIONAL CONSTRUCTION OF THE MACEDONIAN HOUSE FROM THE 19TH CENTURY .....	107



**ФИЗИЧКИ И ХЕМИСКИ ПРОЦЕСИ ПРИ  
ПОДЗЕМНАТА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН**  
**Радмила Каранакова Стефановска<sup>1</sup>, Зоран Панов<sup>1</sup>,  
Ристо Поповски<sup>1</sup>, Ванчо Адиски<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип  
[radmila.karanakova@ugd.edu.mk](mailto:radmila.karanakova@ugd.edu.mk)

**Апстракт.** Со палење на јагленовиот слој и инјектирање на инекциониот гас, подземната гасификација на јаглен предизвикува јагленот да претрпи термохемиски реакции “in situ“ и на тој начин да се гасифицира во познатиот синтетички гас-сингас, кој понатаму ќе се користи за добивање на енергија, за производство на водород, како и за негово складирање. 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 сè со цел негово подобрување. Во овој труд ќе бидат објаснети физичките и хемиските процеси кои се случуваат за време на подземното гасифицирање на јагленот.

**Клучни зборови:** јаглен, подземна гасификација, физички процеси, хемиски процеси, сингас.

**PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES UNDER THE  
UNDERGROUND COAL GASIFICATION**

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

<sup>1</sup>Faculty of natural and technical sciences, Goce Delcev University, Stip, Macedonia  
[radmila.karanakova@ugd.edu.mk](mailto:radmila.karanakova@ugd.edu.mk)

**Abstract.** By igniting the coal seam and injecting the injection gas, the underground coal gasification causes coal to undergo thermo chemical reactions in situ and thus to be gasified into Syngas for power generation, production of hydrogen and storage. Underground coal gasification is very complex physical and chemical process, and many factors affect the composition and quality of syngas. Considering high temperature humidity and closed environment, it is difficult to effectively monitor and control the UCG process to improve the quality of the Syngas. This paper will explain the physical and chemical processes that take place during Underground coal gasification.

**Kew words:** coal, underground gasification, physical process, chemical process, syngas.

### 1. Вовед

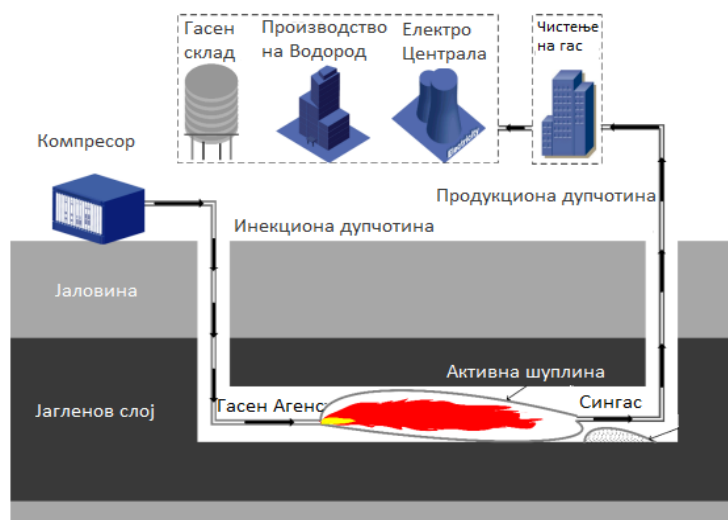
Јагленот е едно од најважните фосилни горива во Светот, играјќи витална улога во животот на човекот, особено: во делот на индустриското греење, во производството на електрична енергија и во други полиња. Сепак, употребата на јаглен, особено емисијата на сулфидни и азотни оксиди за време на согорувањето на јагленот предизвикува низа еколошки проблеми, сериозно влијаејќи на физичкото и психичкото здравје и квалитет на живеење на човекот низ целиот свет. Еден од начините да се решат овие проблеми е примената на подземното гасифицирање на јагленот [1].

Оваа технологија го претвора јагленот во гас, проследено со операција за отстранување на сулфидни и азотни оксиди, и го елиминира традиционалниот начин на експлоатација на јагленот. Покрај тоа, оваа технологија се карактеризира и со висока стапка на искористување на ресурсите. Значи, во споредба со традиционалните рударски технологии, подземната гасификација има потенцијални одржливи предности во однос на: енергијата, животната средина и економијата.

На Слика 1, е дадена шема за подземна гасификација на јагленот. Со компресор се инектира гас (воздух, кислород со различна концентрација, јаглороден диоксид или параа) преку инекционата дупчотина, при што јагленот се пали и се претвора во гас. Тогаш сите штетни гасови, како што се азотните и сулфидните оксиди остануваат подземјата.

Во околу 100 годишните истражувања и пракса во Светот, многу искуства и достигнувања биле акумулирани во методите и технологиите на подземната гасификација. Сепак, во пракса процесот на гасификација треба да се следи и да се контролира за да бидеме сигурни дека самиот процес ќе обезбеди стабилен состав на синтетичкиот гас со калориска вредност како и поголем принос на гас и стапка на гасификација.

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 успешно да се следи и контролира самиот процес, сè со цел за негово подобрување [2].



Слика 1. Шематски приказ на подземна гасификација на јаглен  
Figure 1. Schematic of underground coal gasification

## 2. Хемиски процеси

Главните хемиски процеси кои се одвиваат во текот на гасификацијата на јагленот се: сушење, пиролиза, гасификација и согорување на цврст јагленоводород. Во студиите е усвоено квази-стабилно палење на јаглородните честички коишто се подложуваат на гасификација од страна на хемиски реакции, проследени со хомогена реакција во фазата на гасификација. Овие процеси се случуваат во сите методи на гасифицирање на јагленот, и во случаите кај површинските гасификатори и во случај на подземната гасификација на јагленот (ПГЈ). Од хемиска и термодинамичка гледна точка, процесот на ПГЈ работи аналогно на гасификацијата во реакторите на површината.

Најважните хемиски реакции кои се случуваат за време на подземната гасификација на јаглен се наведени во Табела 1.

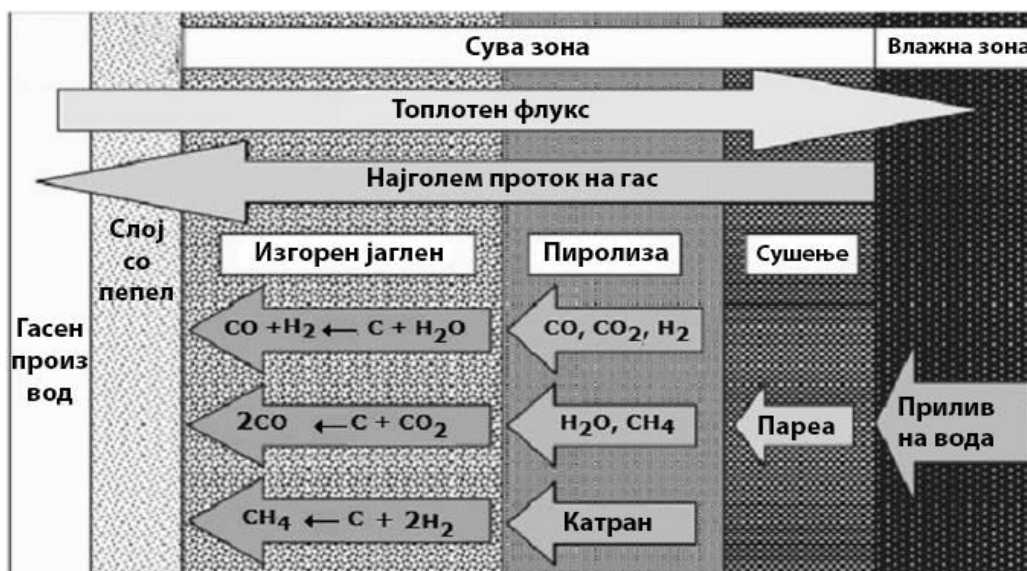
Табела 1. Хемиски реакции кои се случуваат за време на подземната гасификација на јаглен  
Table 1. Chemical reactions that occur during underground coal gasification

равенка на реакција	степен на реакција (R)	DHo298 (MJ/kmol)	реден број на равенката
$C + O_2/2CO_2$	R1	393.8	(1)
$C + CO_2/2CO_2$	R2	-162.4	(2)
$C + H_2O/H_2 + CO$	R3	-131.4	(3)
$C + 2H_2/CH_4$	R4	74.9	(4)
$CO + (1/2)O_2/CO_2$	R5	285.1	(5)
$H_2 + (1/2)O_2/H_2O$	R6	-0.242	(6)
$CO + H_2O/CO + H_2$	R7	-0.041	(7)

Хемиски реакции со равенки од (1) до (4) се одвиваат во сидот на рабовите на јагленовиот слој (хетерогени реакции), додека реакциите со равенки (6) и (7) се случуваат во гасна фаза (хомогена реакција).

Покрај погоре наведените хемиски реакции, се одвиваат и реакции на азот и сулфур, коишто исто така се важни. Финално производениот гас се состои од: водород, јаглерод моноксид, јаглерод диоксид, метан и азот. Составот и топлинска моќ на производениот гас зависи од термодинамичките услови на работата, како и од составот и температурата на агенсите коишто се употребени во процесот на гасификација.

Во текот согорувањето на јаглен на самото место, во ист момент се одвиваат различни процеси на: испарување/сушење, пиролиза и согорување, односно гасификација на пепел. Процесот на ПГЈ има зонски карактер и главните реакции на гасификација се случуваат како во цврста така и во гасовита фаза. Квалитативниот опис на појавите кои се случуваат во шуплините на сидот од јагленовиот слој при ПГЈ е објаснет на Сл. 2.



Слика 2. Квалитативен опис на појавите кои се случуваат во шуплините на сидот од јагленовиот слој при ПГЈ

Figure 2. Qualitative description of the phenomena in the cavities of the wall of the coal seam at Underground coal gasification

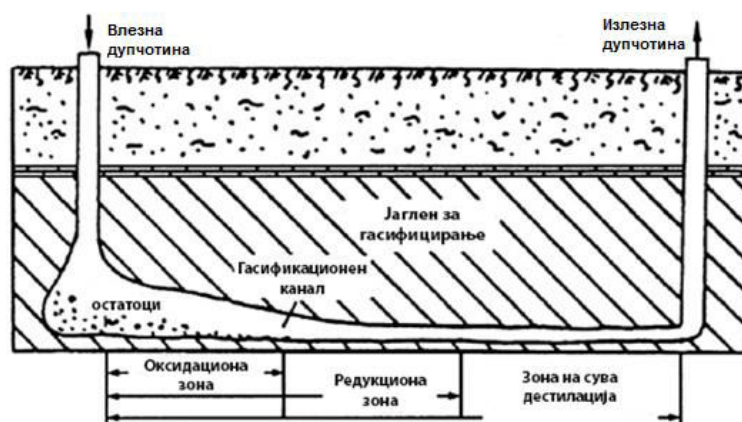


Во цврстата фаза, во главно, се случуваат пиролизата и процесот на сушење. Паралелно со движењето на гасовиот производ од термичкото распаѓање на јагленот, преку порите и џебовите при цврстата фаза се јавуваат разни хомо и хетерогени реакции. Соодносот на овие процеси зависи најмногу од вредноста на температурата. На граничната фаза во гасификациониот канал се одвиваат хетерогени реакции. Нивниот сооднос е детерминиран од дифузијата и од пристапната зона за реакција.

Главните производи на реакцијата на кислородот со јаглеродот во областа на гасификација (зона на оксидација) се јаглерод диоксид и јаглерод моноксид.

Врз основа на разликите во големите хемиски реакции, температурата и составот на произведениот гас, каналот за гасификација може да се подели во три зони: зона на оксидација, зона на редуција и зона на сува дестилација како што е прикажано на Сл. 3.

Во зоната на оксидација, се одвива повеќефазна хемиска реакција помеѓу кислородот кој е во гасификациониот агенс и јаглеродот во слојот на јаглен, што резултира со продуцирање на топлина со што јагленовото лежиште станува многу жешко[6]. Јагленовата серија се вжештува до температура од 900°C до 1450°C.



Слика 3. Гасификационен канал со три зони: зона на оксидација, зона на редуција, зона на дестилација  
Figure 3. Gasification channel in three zones: oxidation zone, reduction zone, distillation zone

При оксидацијата на јагленот, присутната вода има придонес со тоа што влијае на транспортот на кислород во јагленовите пори и учествува во хемиски реакции за време на процесот на оксидација. Детали за хемиските реакции кои ја вклучуваат водата сè уште не се до крај разјаснети.

Горењето поддржано од кислородот е постепено, протокот на воздухот навлегува во редуционата зона (зона на горење). Во редуционата зона, под влијание на високата температура  $H_2O$  и  $CO_2$  преминуваат во  $H_2$  и  $CO$ , во моментот кога ќе дојдат во допир со вжарениот јаглен. Вредноста на температурата се движи од 600 °C до 1000 °C, а должината е 1.5E2 пати поголема од онаа на зоната на оксидација, и таа е со притисок од 0.01E0.2 Мра. Покрај тоа, поради каталитичкото дејство на јагленовиот пепел и металните оксиди, се случува реакција на метанизација. Горенаведените ендотермни реакции предизвикуваат температурата во редуционата зона да се намалува, сè додека не се намали до степен за да ја прекине реакцијата на редуција.

По ендотермните реакции во редуционата зона, моменталната температура на гасот опаѓа, а потоа се преминува во деструктивна дестилација и зона на сушење (температура од 2000 °C до 600 °C). Главните физички промени кај јаглените со висока содржина на вода се: одводнување и пукање, како и апсорпција и контракција на јагленот кога температурата е под 100 °C. Кога температурата не е поголема од 300 °C се одвојуваат само мали количества на: парафински јаглеводороди, вода и  $CO_2$ . При температури повисоки од 300 °C, се случуваат бавни хемиски промени, придружени со лесна полимеризација и деполимеризација. Во меѓувреме, се одвојува соодветно количество на испарливи гасови и течна нафта, кои потоа преминуваат во желатинозна состојба. Кога температурата на рабовите на јагленовиот слој ќе

се зголеми од 350 °C до 550 °C, голем дел од катранот е одвоен (500 °C во својот врв) при што се додава одредено количество на јаглерод моноксид[3].

Врз основа на разликите при големите хемиски реакции, температурата, и составот на гасот, каналот за гасификација може да се подели во три зони, и тоа: оксидациона зона, редукионата зона и зона на сува дестилација, како што е прикажано на Сл.3.

Во зоната на оксидација, се добива мулти-фазен хемиски запалив гас. Се добива јаглеводород кога температурата изнесува од 450 °C до 500 °C.

Како што температурата во слојот од јаглен продолжува да расте, кога таа ќе достигне над 550 °C, се јавува полу-кокс којшто почнува да се консолидира и да се контрактира/собира, и тој е придружен со создавање на:  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ .

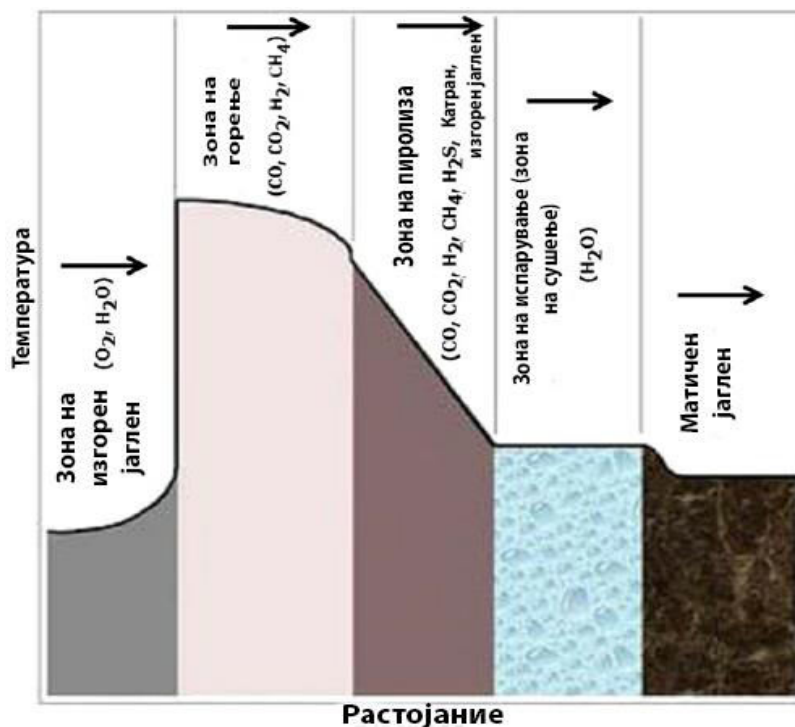
Целокупниот процес на ПГЈ е силно егзотермален и температурата во зоната на горење најверојатно повремено ќе надмине 900 °C при реакцијата помеѓу кислородот којшто се содржи во гасификациониот агенс. Дури и по ладењето, преку природна загуба на топлина на јагленовиот слој, се создава топлина и таа ги прави јагленовите слоеви многу топли. Јагленовите слоеви ќе станат многу топли со температури од 900 °C до 1450 °C. Водата којашто природно е во јагленовите наслаги, има улога во оксидацијата на јагленот и таа влијае на транспортот на кислородот во јагленовите пори, и учествува во хемиските реакции за време на оксидациониот процес. Деталите за хемиски реакции кои ја вклучуваат водата, сè уште не е од околните слоеви и од конвективните загуби на топлината од природните подземни води), синтетичкиот диоксид обично тече низ креираните дупчотини и има вредности на температурата помеѓу 200 °C и 400 °C. Околу зоната на горење, високата природна енергија на топлиот синтетички диоксид во однос на подземните води ќе има тенденција да доведе до продор на меурчиња на синтетичкиот диоксид во големите пори, ќе ги загрее подземните води и ќе ги претвори во пара. При тоа, ќе настане динамичен однос меѓу пареата и топлиите подземните води околу зоната на горење, при што ќе настане мешање на синтетичкиот диоксид со пареата.

При минување на воздухот низ овие три реакциони зони, се формира гас во кој главни запаливи компоненти се:  $CO$ ,  $H_2$  и  $CH_4$ , чијашто застапеност односно содржина зависи од методот на вбригување на воздухот и гасификациониот агенс. Овие три зони се движат во насока кон излезот заедно со протокот на воздухот, кој го овозможува континуирано работење на гасификационите реакции.

На Сликите 3 и 4 се прикажани различни хемиски региони на гасифицирање на јаглен на самото место. Во зоната за сушење, површинската вода во влажниот јаглен испарува на температура повисока од температурата на заситеноста на рабната вода под одреден притисок, што го прави јагленот порозен. Исушениот јаглен се подложува на процесот на пиролиза поради поголемото загревање во следната фаза.

Во текот на пиролиза, јагленот губи околу 40-50% од сувата маса поради малата молекуларна тежина на гасовите, хемиската вода, лесните јаглеводороди и тешките катрани, и по развојот на испарливи материи, многу порозната и цврста супстанца наречена пепел ќе биде согорена, а ќе се гасифицираат од инјектираниот оксидант - агенс и исцрпените гасови од претходните чекори.

Големината на фазата на гасовитата реакција е одредена од температурата и концентрацијата на одредени гасовити соединенија. Развојот на овие реакции честопати е поддржан од страна на каталитичкото влијание на некои хемиски соединенија, на пример, железни оксиди и др.



Слика 4. Ширење на топлинскиот бран преку јагленов слој на самото место за гасификација, прикажан во различни региони

Figure 4. Spreading of the heat wave through the coal layer on the spot for gasification, as shown in the different region

### 3. Физички процеси

Во процесот на подземната гасификација на јаглен (ПГЈ), движењето на гасот не само што директно влијае на распределбата на концентрацијата и на движењето на течноста во зоната на горење, туку исто така, го ограничува ширењето на агенсот за гасификација, следствено на тоа, ја одредува и брзината на хемиската реакција помеѓу гасовите и цврстата материја, како и процесот на горење и гасификација. Lanhe et al. [7] сугерира дека на проучувањето на модели на движење на течност во гасификаторот треба да претходи проучување на процесот на хемиска реакција, моделите на движење на агенсот како и правилното распоредување на температурата во областите во близина на фронтот на горење.

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 коишто се случуваат во физичко-механички својства на масата на јагленот [4].

При процесот подземно гасифицирање на јагленот, 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 физичките и механичките својства на телото на јагленот. Како резултат на тоа, неговите соодветни физички и механички својства веќе не се константни, константни се температурните функции. Разликите во коефициентот на топлинска експанзија кај јагленовите зрна и меѓу анизотропијата генерираат нови пукнатини, чие продолжување

води до поврзана мрежна структура. Со ова се подобрува поврзаноста на порите и зголемување на продирањето на гасот под притисок од сува дестилација.

Истражувањата покажуваат дека, при неизотермична состојба, густината на цврстите средини и водата во порите во голема мера се под влијание на температурата и притисокот. Сепак, мала деформација на цврстиот скелет, произведува одреден ефект на дистрибуцијата на полето на температурата и продирање на подземни води во панелот за гасификација [5]. Затоа, деформацијата на цврсти честички не е занемарлива и може да се сметаат за компресибилни.

Карпите со јаглен се издолжени и деформирани од притисокот на течностите во порите. Течноста во внатрешноста на порите влијае на пукнатините во скелетот на карпите на јаглен, поточно на нивното отворање и затворање и како второ, односот меѓу напрегањата и заморот на карпите од јаглен се менува од течноста во порите, кои за возврат го менуваат еластичниот модул и јакоста на камениот јаглен. Промените на температурното поле на споевите на јагленот се должи пред сè на пламенот на работното место. Кога температурата во слојот на јаглен се зголемува, стапката на десорпција на сува дестилација на гас во слојот на јаглен се забрзува. Содржината на слободен гас од сувата дестилација исто така се зголемува. Масата на гасот од сувата дестилација која учествува во продирањето премногу се зголемува. Од друга страна, со порастот на температурата, износот на апсорбираниот гас од сувата дестилација се намалува.

#### 4. Заклучок

Во споредба со традиционалните технологии на експлоатирање на јаглен (површинска и подземна), подземното гасифицирање на јагленот има потенцијални одржливи предности со висока енергетска ефикасност и ниски оперативни трошоци. Исто така, има и одржлив потенцијал за подобрување на глобалните проблеми во врска со загадувањето на воздухот. Во самиот процес на гасификација се одвиваат сложени физички и хемиски реакции, и многубројни фактори влијаат на составот и квалитетот на сингасот. Потребно е следење и контрола, кои ќе помагаат да се подобри квалитетот на самиот процес и да може да се одржи стабилноста на калориската вредност на гасот [1]. Повеќе истражувачи имаат спроведено серија на студии во областа на термодинамиката, но сите се во фаза на теоретско истражување. Деталното проучување и осознавање на процесот на подземно гасифицирање на јагленот гас нè поттикнува на понатамошни размислувања и истражувања.

#### Користена литература

1. Yuteng X., Jihang Y., Yifan Hu and all (2019) Monitoring and control in Underground coal gasification: Current Research status and future Perspective.
2. 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>.
3. Burton E, Friedmann J and Upadhye R (2006) Best Practices in UCG. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA.
4. Couch G (2009) Underground Coal Gasification. International Energy Agency Clean Coal Centre, London, UK, Report No. CCC/151.
5. Creedy DP, Garner K, Holloway S et al. (2001) Review of underground coal gasification technological advancements. UK DTI Cleaner Coal Technology Transfer Program, London, UK.
6. 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):1679E92. <http://dx.doi.org/10.1021/ef0496808>
7. Yang Lanhe, Liang Jie, Yu Li, Clean coal technology - Study on the pilot project experiment of underground coal gasification, Progress in Energy and Combustion Science, Volume 39, Issue 1, February 2013, Pages 189-214.