

Status and tendencies under development and application of underground coal gasification-UCG

David Petrović, Lazar Kričak, Stefan Milanović, Jovan Marković, Nikola Simić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Status and tendencies under development and application of underground coal gasification-UCG | David Petrović, Lazar Kričak, Stefan Milanović, Jovan Marković, Nikola Simić | International Conference "Energy and Ecology Industry EEI2018" | 2018 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007867>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs



Prof. dr David Petrović
4D Konsalting
Jurija Gagarina 63/60,
Belgrade, Serbia
david.konsalting@yahoo.com

Prof. dr Lazar Kričak
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7, Belgrade, Serbia
lazar.kircak@rgf.bg.ac.rs

Stefan Milanović
master inž. rudarstva
doktorand
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7, Belgrade, Serbia

Jovan Marković
master inž. rudarstva
doktorand
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7, Belgrade, Serbia

Nikola Simić
master inž. rudarstva
doktorand
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7, Belgrade, Serbia

STATUS AND TENDENCIES UNDER DEVELOPMENT AND APPLICATION OF UNDERGROUND COAL GASIFICATION-UCG

(STATUS I TENDENCIJE U RAZVOJU I PRIMENI PODZEMNE GASIFIKACIJE UGLJA-PGU)

In the World last decades, Underground Coal Gasification occurs significant expansion under research and development for the sake of huge utilization of coal deposit and bad ecological effects (in combustion in Power Plants) on the environment.

Serbia has substantial coal deposits, and if UCG used only off-balance deposits and excavation remains of balance deposits, it is obvious what economically (also environmental and energetically) effects it would carry.

In the research we were looking for activities in the World about UCG, so we think that using UCG in our conditions has a purpose and make sense.

Keyword: energetics, coal, environment, gasification

1. Uvod

Poznato je da ugalj, uprkos ekološkim ograničenjima, kao primarni energetska resurs u svetskom Termoenergetskom bilansu (TEB) zauzima 80% ukupnog energetskeg potencijala. Postavlja se pitanje kako ugalj transformisati u ekološki čisto gorivo. U tu svrhu se koriste i tehnologije gasifikacije uglja uz krilaticu "ne ugalj, nego gas iz uglja u TE". [1]

Transformacijom čvrstog ugljovodonika (ugalj) u gas, kao sintetički gas (Syngas-Synthetic Gas), koji je po pravilu, smeša ugljenika i vodonika, koja se može koristiti u gasnim turbinama za proizvodnju električne energije, ali i u vidu sirovine za hemijsku industriju, te crnu metalurgiju, toplane, itd. [2]

Danas je u gasifikaciji uglja, naročito nadzemnoj, lider kompanija Šel (Shell) koja u svetu ima najviše projekata za transformaciju uglja u gas, s ciljem proizvodnje elektroenergije. Nekoliko država (SAD, Kina, Japan, Nemačka...) su svetski lideri aktuelnih

tehnologija gasifikacije uglja i kao takvi su kreatori takozvanog "novog rađanja uglja".

Međunarodna praksa gasifikacije uglja u poslednjih 10 godina se nalazi u značajnom razvojnom stadijumu. Zvaničnih podataka o tome, koliko u svetskom TEB učestvuje sintetički gas nema, ali se može bar približno odrediti.

Prema podacima IEA (International Energy Agency), ukupna snaga elektrana Sveta (uključujući i atomske) početkom druge decenije ovog veka, iznosila je 4.624.767 MW [3]. (videti tabele 1 i 2) U tom periodu u svetu su radile 154 „fabrike“ za gasifikaciju uglja (gasgeneratori); lideri po broju projekata su Kina (46 projekata), SAD (26), Nemačka (20). Od toga, na transformaciju uglja u sintezgas za termoelektrane, tada je bilo aktuelno 30 projekata ukupno snage 13.146 MW (0.3% u odnosu na TEB sveta!)

Navedenih 13.416 MW snage (od 30 aktuelnih projekata tada) elektrana koje rade na sintezgas je mali procenat u odnosu na potencijale i potrebe za jeftinom i



International Conference Energy and Ecology Industry October, 11-13, 2018, Belgrade, Serbia

čistom energijom u budućnosti. Pre 15-ak godina je bilo predviđeno da neće proći mnogo vremena, kada će svet imati još novih 30 do 50 hiljada MW snage (u elektranama), čime će udeo sintezgasa u skorijoj

budućnosti porasti na oko 1,2-1,4% (četiri puta više u Podsetimo se da je sredinom prošlog veka nadzemna gasifikacija prestala biti interesantna čak i Nemcima i Japancima zbog velikih troškova za korišćenje električne energije iz mreže za sagorevanje iskopanog uglja u gasgeneratorima (dodajmo tome činjenicu da su količine iskopanog uglja svega oko 30% od raspoloživih). Osim

električne energije dobijene u TE na gas, znatan deo energetskeg potencijala služi i za dobijanje široke lepeze mogućih proizvoda iz sintezgasa (metanola, acetilena, amonijaka, vodonika, raznih hemikalija, motornih goriva, destilata, parafina itd.) navedenih u četvrtoj koloni tabele Isvetskom TEB). Ostali projekti su, kako je već navedeno, predviđeni za dobijanje velikog broja proizvoda iz sintezgasa, bilo da nastaju nadzemnom ili podzemnom gasifikacijom.

Tabela 1. Spisak postrojenja za gasifikaciju uglja

Список действующих в мире заводов по газификации угля, 2010 г.			
Страна	Заводы и владельцы	Мощность, MW	Продукция
Австралия	1 завод, Sasol Chemical Industries	110,0	Водород
Бразилия	2 завода, CNOOC, Sinopec	519,5 (суммарно)	Аммоний и электроэнергия, соответственно
Канада	1 завод, CNPC	1 025,0	Водород, тепловая энергия
Китай	46 заводов, CNOCC, Sinopec, Shell, Linde	12 918,0 (суммарно)	Аммоний, газ для котельных, метанол, водород для производства сжиженного моторного топлива и электроэнергии
Чехия	3 завода, Nippon	1 915,9 (суммарно)	Метанол, аммоний, электроэнергия и тепло
Доминиканская республика	1 завод, французская Nitrogen	196,9	Газ для закачки в пласт
Египет	1 завод, Suez	106,4	Аммоний
Финляндия	5 заводов, финские компании муниципального профиля	169,0 (суммарно)	Аммоний, электроэнергия для бытовых нужд
Республики б. Югославии	2 завода, местные муниципалитеты	226,9 (суммарно)	Аммоний, метанол
Франция	2 завода, китайская химическая компания Jilin	118,8 (суммарно)	Электроэнергия, кислородсодержащие химикаты
Германия	20 заводов, BASF, Mitsui, муниципальные компании	5 071,1 (суммарно)	Электроэнергия, метанол, аммоний, химикаты, моторное топливо
Индия	7 заводов, Exxon, муниципальные компании Германии	2086,6 (суммарно)	Электроэнергия, метанол, аммоний
Италия	7 заводов, Exxon, муниципальные компании Германии и Италии	4 509,0 (суммарно)	Электроэнергия
Япония	6 заводов, Sunoco (США), NFL (Индия), муниципальные компании Японии	1 326,0 (суммарно)	Аммоний, электроэнергия, метанол, улавливание CO
Малайзия	1 завод, правительство страны	1 032,4	Дистилляты
Нидерланды	3 завода, BP, Texas Eastman	1 187,2 (суммарно)	Электроэнергия, водород
Португалия	2 завода, BP, Samsung	1 103,2 (суммарно)	Аммоний
Катар	1 завод, португальская Portucel	10 936,0	Дистилляты, парафины
Сингапур	2 завода, немецкая DEA AG	583,7 (суммарно)	Электроэнергия, водород
ЮАР	3 завода, владельцы — AGIP, Sasol	2 380,2 (суммарно)	Моторное топливо, водород
Южная Корея	3 завода, владельцы — Shell, Sinopec	202,9 (суммарно)	Аммоний, электроэнергия
Испания	2 завода, владельцы — муниципалитеты	609,8	Электроэнергия, улавливание CO
Швеция	3 завода, владельцы — муниципалитеты	68,7 (суммарно)	Электроэнергия, улавливание CO
Тайвань	2 завода, владелец — американская Lake Charles	440,6 (суммарно)	Метанол
Великобритания	2 завода, владельцы — Shell, Sinopec	334,7 (суммарно)	Ацетилены
США	26 заводов, основные владельцы — BP, Samsung, Sinopec, Shell, Portucel, Indian oil Corp., AGIP	7 761,3 (суммарно)	Улавливание CO, метанол, моторное топливо, аммоний, электроэнергия, водород, дистилляты, химикаты, газ для закачки в пласт
Итого	Заводов — 154	???	

Источник: Департамент энергетики США



International Conference Energy and Ecology Industry

October, 11-13, 2018, Belgrade, Serbia

Tabela 2. Spisak postrojenja za gasifikaciju za rad termoelektrana

Заводы-газификаторы угля с целью питания ТЭЦ, 2010 г.				
Название завода, владелец	Страны	Технология	Мощность, MW	Год ввода
Brazilian BIGCC Plant — CNPC, Sinopec	Бразилия	TPS*	68,4	2006
Vresova IGCC Plant — Nanjing Chemical Industry (Китай)	Чехия	Sasol Lurgi Dry Ash **	636,4	1996
Thermoselece Vresova — BOC Gases (Германия, группа Linde)	Чехия	GSP***	787,4	2005
Kymijaarvi ACFBG Unit — IBIL (США)	Финляндия	FW ACFBG****	48,0	1996
Schwarze Pumpe 1 — Celanese Chemical (ТНК американского происхождения)	Германия	GSP	164,0	1992
Schwarze Pumpe 2 — Qilu Petrochemical (Китай, группа Sinopec)	Германия	Sasol Lurgi Dry Ash	410,1	1964
Schwarze Pumpe 3 — Fushun Detergent (Китай — группа PetroChina)	Германия	BGL*****	155,6	1999
Schwarze Pumpe 3 — Inner Mongolia (Монголия)	Германия	Sasol Lurgi Dry Ash	196,9	1968
Fondotoce Gasification Plant — Lucky Gold Star (США)	Германия	Thermoselect *****	34,2	1999
Sangri Plant — Sekundarrohstoff (Германия)	Индия	BGL	109,1	2002
Neyveli Plant — Exxon	Индия	Shell *****	888,6	2006
Api Energia — Sokolovska Uhelna (Чехия)	Италия	GE *****	525,6	2001
ISAAB Energy — Sydkraft AB (Германия)	Италия	GE	1 203,0	1999
SARLUX — Corenso United Oy (Финляндия)	Италия	GE	1 271,2	2000
Sulsis — Hydro Agri (Германия)	Италия	Shell	956,9	2006
Agip IGCC — Exxon	Италия	Shell	456,6	2006
Negishi — Neyveli Lignite Co (Индия)	Япония	GE	792,9	2003
Buggenum — Texas Eastman (США)	Нидерланды	Shell	465,9	1994
Pemis — BP, Samsung	Нидерланды	Shell	637,3	1997
Americentrale — Lahden (Финляндия)	Нидерланды	Shell	64,0	2000
Chawan — ATI Sulsis (США)	Сингапур	GE	363,6	2001
Puertollano — муниципалитет Пуэртоллано	Испания	GE	587,8	1997
Vamamo — Steelhead Energy (США)	Швеция	GE	14,4	1993
Dorado — Dahua Chemicals (Китай)	США	GE	11,0	1996
Delaware Clean Energy — Yuntianhua Chemicals (Китай)	США	GE	519,5	2002
Wabach River — Opti Canada	США	GE	590,6	1995
Polk Country — Liuzhou Chemicals (Китай)	США	GE	451,1	1996
Lima Energy — Sinopec	США	GE	1 005,7	2008
Mesaba — Jinling (группа Sinopec)	США	GE	н/д	2009
Steelhead Energy — Sinopec	США	GE	н/д	2010
Итого			13 415,8	

Источник: Департамент энергетики США
* Технология шведской компании Termiska Processer AB — предполагает использование низкого давления (около 1,8 бар) в газификаторах;
** Технология Sasol Lurgi Dry Ash (LOAF) — основана на газификации под давлением с сухим удалением золы, образующейся в процессе превращения угля в газ;
*** Технология Gas Schwarze Pumpe (Германия) — предполагает использование кислородного дутья, позволяющего подавать топливо либо пневматически, либо в виде водной суспензии;
**** Технология газификации биомассы компании Foster Wheeler Energia Oy (Финляндия);
***** Технология газификации Bhayalagar Gas Limited (Индия) — основана на пиролизе угля под воздействием высоких температур;
***** Изобретена в Швейцарии, под воздействием высоких температур происходит не только пиролиз угля, но и образование гранулированных металлов и минералов;
***** Технология Shell;
***** Технология General Electric — процесс пиролиза угля сопровождается одновременными процессами выработки метанола и аммония при параллельных поставках синтез-газа на электростанцию

2. Svetski motivi opredeljenja za gasifikaciju uglja

Do početka druge decenije ovog veka samo je kompanija Šel razradila i usvojila novih 37 projekata gasifikacije uglja sa ciljem proizvodnje različitih proizvoda, ali i elektroenergije. Prosečna snaga elektrana iznosila je 500-800 MW. Od tih 37 projekata prodato je 27 licenci za tehnologiju gasifikacije uglja (od strane Shell-a), a samo je Kina otkupila 17 licenci. Kineska energetska kompanija "Sinopec", kao glavni upravljač ugljenokopima Kine, svojevremeno je lansirala pomenutu krilaticu "ne ugalj, nego gas iz uglja u TE", pa su se mnoge aktivnosti odvijale u tom smislu. Poznato je da Kina proizvodi oko 2,5-3 mlrd uglja godišnje, a ugalj u TEB Kine učestvuje sa čak 70%. (Nije mnogo bolja situacija sa učešćem uglja u TEB u SAD-50%, kao ni u Nemačkoj -55%).

U najvećem regionu eksploatacije uglja, Kineskoj provinciji Šansi, nalazi se grad Linfen, gde stanovnici retko mogu videti sunce. Taj grad se smatra

najzagađenijim gradom na Svetu, a oboljenja stanovnika su najčešće onkološka (po istraživanju američkog fonda „Blacksmith Institute“). U Kini inače godišnje umre oko 400.000 ljudi zbog problema zagađenosti vazduha, zatrovanih voda i kiselih kiša. Zbog navedenog pažnju treba usmeriti ka tehnologijama navedenim u ovom radu, koje sve više dobijaju na značaju u oblasti energetike. [1]

Lideri u oblasti izučavanja gasifikacije uglja, za dobijanje gasa pogodnog za napajanje termoelektrana (TE), su: SAD, Nemačka, Velika Britanija, Kina, Australija, Novi Zeland, Indija, Južna Afrika, Češka, Poljska, Holandija, i druge zemlje sa smanjenim intenzitetom. Tako su Kineske kompanije, nakon uspešnih primena ovih tehnologija u Nemačkoj, Češkoj, Poljskoj, SAD i Brazilu, aktivno prišle realizaciji ovih projekata (po podacima "Sinopeka") u glavnim kineskim provincijama u kojima se vadi ugalj (Šansi, Guejdžou, Henan). [4, 5]

Što se tiče, Nemačke, SAD, Australije, u takvim projektima učešće imaju i "General Electric", "Siemens" i "Mitsubishi". Takođe je poznato (po Shell-u) da specifična ulaganja u izgradnju gasnih TE iznose oko 500\$/MW, dok je za slučaj TE koje rade na gas iz



International Conference Energy and Ecology Industry October, 11-13, 2018, Belgrade, Serbia

uglja proces izgradnje skuplji za 10-20%. Specifična ulaganja po MW su kod TE na ugalj, u odnosu na TE na gas iz gasifikacije nešto skuplja. (Prve komercijalne elektrane na sintezgas u Svetu "Schwarze Pumpe2" i "Schwarze Pumpe3", puštene su u rad davne 1964., odnosno 1968. godine.

3. Zašto podzemna gasifikacija uglja (PGU)

Svetska iskustva u Podzemnoj gasifikaciji uglja ukazuju kako se prema primarnom obliku energije uglja može znatno racionalnije ophoditi. Efekti primene PGU su rezultirali benefitima u energetskom, ekonomskom i ekološkom smislu. [6, 7]

Kada je u pitanju **energetski** tretman, dovoljno je imati na umu da se kod klasičnog rudarenja (npr. pri podzemnoj eksploataciji uglja) izeksploatiše najviše oko 30%, dok je kod PGU reč o 72-96% iskoristivosti „napadnutih“ količina uglja. Uz ovo, imati u vidu da se ovom metodom uglavnom eksploatišu *vanbilansne* rezerve i *otkopni ostaci bilansnih* rezervi.

Reč je o kontrolisanom, mirnom, nepotpunom sagorevanju **in situ**, bez ljudi i postrojenja pod zemljom. Nema ulaganja u često skupa postrojenja i transportne sisteme za ugalj i repromaterijal, niti za transport šljake i pepela na odlagališta. Iz prethodno navedenog se može zaključiti da su **ekonomski** benefiti značajno u korist PGU.

O **ekološkim** benefitima da i ne govorimo: nema šljake i pepela, niti njihovog odlaganja na površine zemlje koje su za druge namene; nema ni blizu slične degradacije terena kao npr. kod Podzemne eksploatacije uglja, a ni posebnih potreba za rekultivacijom terena, dok pri sagorevanju gasa u kotlarnicama nema nikakvih čvrstih čestica emitovanih u atmosferu kroz dimnjake.

Kada je reč o primeni gasa iz PGU, ona je baš višestruka. Koristi se kao energetski gas za TE i TO, te kao tehnološki gas u hemijskoj industriji, u sistemima za dobijanje vodonika, a ni dobijanje naftnih derivata iz njega nije neka velika investicija (npr. u Australiji su dobili dizel početkom ovog veka, a cena je bila 28\$ za barel, koja je obuhvatala sve-od uglja i samog procesa dobijanja gasa, te konačno nafte. Cena nafte na Svetskoj berzi tada je bila oko 100\$ za barel!). [8]

U podzemnoj gasifikaciji uglja, decenijama unazad u praktičnoj, najčešće industrijskoj primeni gasa PGU, vodeću ulogu je imao tadašnji Sovjetski Savez, koji je na deset lokacija isprojektovao, izgradio i eksploatisao ugalj podzemnom gasifikacijom, dobijajući tako gas za TE, TO, te za razne hemijske

proces, pomoću kojih su čak počeli sa izučavanjem tehnologija dobijanja raznih frakcija tečnog goriva. [9, 10]

U decenijama kada je u SSSR-u intenzivirana eksploatacija prirodnog gasa, a od SSSR-a kupovane licence za PGU (npr. SAD su 1974. platile licencu PGU 3mld. \$), a pomenute stanice PGU završavale predviđeni radni vek, aktivnosti na PGU su se sve više smanjivale. [11-16] Danas su te aktivnosti uglavnom na nivou naučnih razrada, ali se primećuje ponovo porast interesovanja i aktivnosti u Rusiji (i pored izuzetnih rezervi prirodnog gasa).

Kada se sve ozbiljnije izanalizira, gasifikacija uglja zaslužuje čak i državne subvencije (po inicijativama iz Shell-a). Upravo u to vreme su vlade SAD i Australije ocenile da se "gasifikacija isplati, jer će tako konstituisane elektrane postati prve u Svetu po tome što će imati nultu izbacivanje CO₂ u atmosferu". [8-10]

Naime, dimni gasovi nastali sagorevanjem uglja u ložištu kotla, inače veoma topli, izbacuju se u atmosferu. Malo tog stvorenog CO₂ se može sprečiti da ide u atmosferu. Ali, prilično ohlađen gas iz PGU (na 150-350°C), pre upućivanja na sagorevanje u elektrani, omogućava da se u skruberima lakše izdvoji CO₂!

Pominjana kompanija Shell je razvila tehnologiju gasifikacije uglja, nadzemne i podzemne, koja odgovara praktično svim tipovima uglja. Pri tome se CO₂, izdvojen u skruberima kao inertan gas iz sintezgasa, usmerava u podzemno skladište-ustvari u prostore bivše reakcione zone pri PGU, odnosno u iskorišćena nalazišta gasa (prirodnog, tamo gde ga neki imaju).

Prvi projekat PGU na Svetu bio je izveden u SSSR-u 1928. godine, pa je tada osnovan i trust "Podzemgas" sa zadatkom da koordinira naučno-istraživačke, projektne i eksperimentalne aktivnosti na PGU. Dalje aktivnosti vođene su kroz "Sojuzprom-gas", a danas je to "YEROSTIGAZ".

Od 1950-1990-ih godina tamo je postojalo 10 industrijskih kompleksa PGU, a danas je u radu samo još Angrenska stanica u Uzbekistanu, koja snabdeva gasom lokalnu TE. Sve ostale su odradile svoj radni vek, ili su zatvarane iz različitih razloga, uglavnom zbog prebogatih rezervi prirodnog gasa u Rusiji.

U podzemnoj gasifikaciji uglja, konkretno, u Svetu značajnu ulogu danas imaju SAD, Kina, Australija, N. Zeland, Indija, J. Afrika, ali i Nemačka, Poljska i druge zemlje. Što eksperimentalno, što poluindustrijski, što industrijski, danas se preko 40 zemalja sveta bave PGU. [17-20] Čak se i u Ruskoj

Federaciji ponovo intenziviraju obnove aktivnosti na planu PGU. Tako su specijalisti Ruske akademije nauka razradili Investicioni projekat sa upotrebom tehnologija PGU, a sa ciljem, za novi početak, konstituisanja šest ekstraktivnih energetske kompleksa, ukupne snage za početak oko 900 MW.

3.1. Elementi tehnološkog procesa PGU

Ovaj tehnološki proces obuhvata pripremu ugljenog sloja za gasifikaciju i sastoji se u formiranju i povezivanju vertikalnih i kosih bušotina u ugljenom sloju. Do povlata ugljenog sloja bušotine se zacevljuju, a kontakt cevi sa sredinom kroz koju se buši je cementiran; bušotina se kroz ugljeni sloj ne zacevljuje. [21-24]

Ostvarivanje veze između izbušenih bušotina može se provesti na sledeće načine:

- priključenjem na vod komprimovanog vazduha pritiska do 50 bar, ili pak azota (retko)
- pritiskom vode pumpnim agregatom;
- ostvarivanjem veze hidrauličnim frakturiranjem, uz upotrebu "podupirućeg" sredstva (propanta) i adekvatnog tela, kao nosača podupirućeg sredstva.

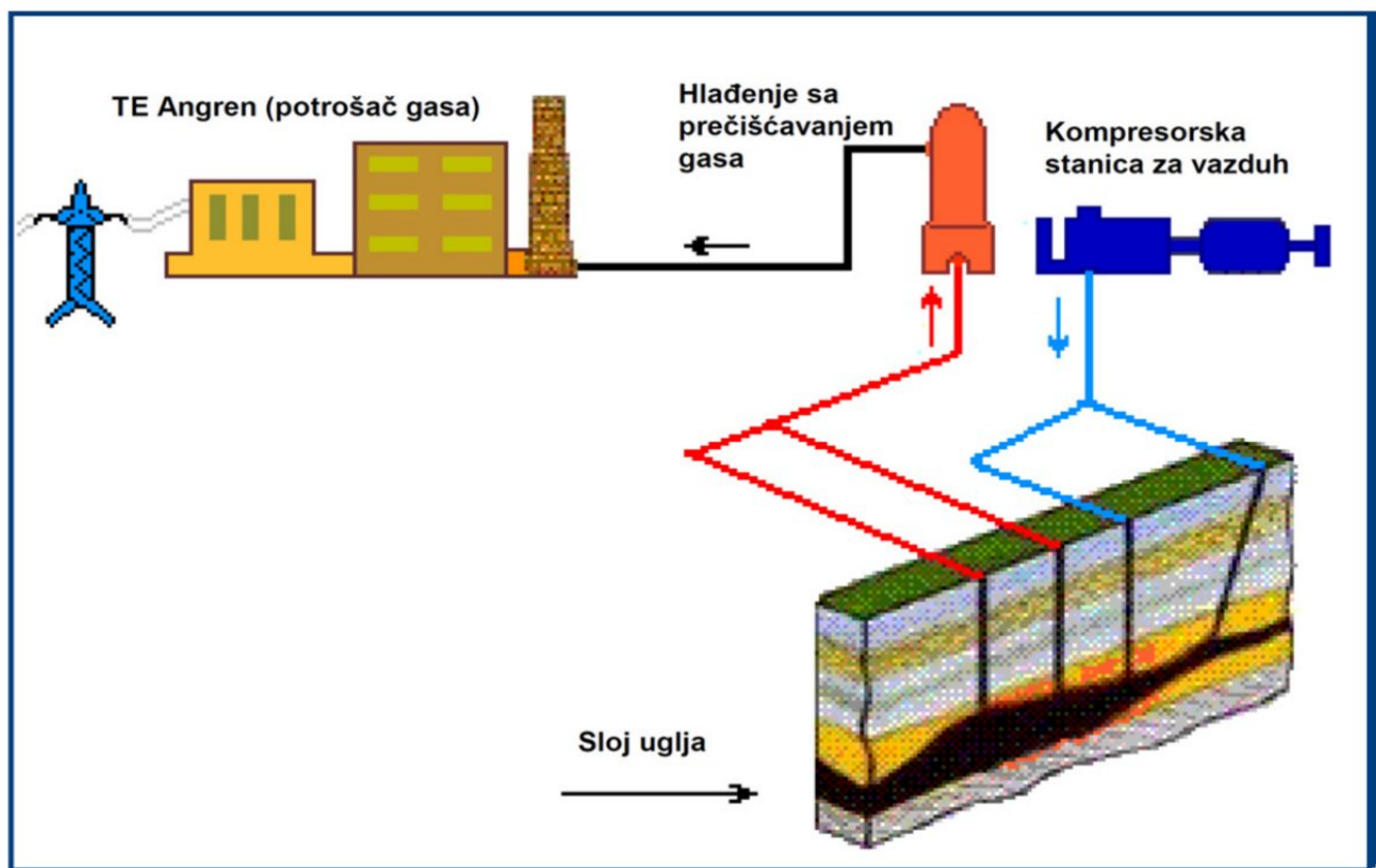
Ugljeni sloj se potpaljuje ubacivanjem užarenog koksa kroz bušotinu i uduvavanjem vazduha pod nižim pritiskom do 2,2 bar. Umesto potpaljivanja užarenim koksom, ugljeni sloj se može zapaliti zapaljenjem tkanine u nafti, pa ubacivanjem kroz injekcionu bušotinu pod pritiskom gasifikujućeg agensa. Umesto vazduha dolaze u obzir i neki drugi agensi (kiseonik,...).

Posle zapaljenja gasgeneratora uduvavanje vazduha se prenosi na vezu bušotina u paru. Na taj način, trag-žarište sagorevanja se premešta od jedne bušotine ka drugoj, spajajući sve bušotine i tako obrazujući kanal gasifikacije. (videti sliku 1).

Nagli pad pritiska i povećanje potrošnje vazduha ukazuje na završetak spajanja bušotina.

Za početak procesa PGU dno bušotine se podesi na oko 0,5 m od podine ugljenog sloja. Za formiranje kanala između bušotina primenjuje se dirigovano bušenje sa kojim se kroz sloj izbuši (približno) horizontalna bušotina, koja povezuje vertikalne bušotine. [12, 13]

Za otvaranje ugljenog sloja koriste se vertikalne, kose i usmerene bušotine i kanali u sloju uglja. Kanali služe za obezbeđenje reakcione zone u sloju, za uduvavanje gasifikujućeg agensa u njega, te konačno za dobijanje gasa.



Slika 1. Šema kompleksa PGU



International Conference Energy and Ecology Industry October, 11-13, 2018, Belgrade, Serbia

Izrada bušotina vrši se specijalnim bušilicama. Za oblaganje bušotina upotrebljavaju se nekad i čelične obložne cevi tanjih zidova. Tamponiranje bušotine cementnim rastvorom vrši se pomoću specijalnih agregata za cementiranje, koji taj cementni rastvor ubrizgavaju pod pritiskom i do 40 bar.

Ako su u ugljenom ležištu npr. četiri ugljena sloja, tamponiranje bi se izvodilo delimično, zbog potrebe vađenja obložnih kolona, zato što bi se za gasifikaciju sva četiri sloja koristile iste bušotine. Za tamponiranje bušotine bi se koristila glinovito-cementna mešavina. [14, 15]

Za slučaj blagog zaleganja ugljenih slojeva pripremile bi se vertikalne bušotine za vazduh, a i za odvoz gasa, a za povezivanje bušotina u ugljenom sloju koso-usmerene bušotine. Za bušenje vertikalnih bušotina koristile bi se bušilice koje buše do 400 m dubine, početnog prečnika 300 mm i krajnjeg prečnika 190 mm.

Bušotine se, nakon bušenja, zacveljenja i završetka bušotina kroz ugljeni sloj, moraju dovesti u međusobnu vezu, kako bi se kroz ugljeni sloj omogućila prinudna cirkulacija komprimovanog vazduha pod pritiskom oko 2,2 bar (u toku gasifikacije), što je neophodan uslov za proces PGU u uslovima nepotpunog sagorevanja.

3.2. *Neke osobenosti PGU*

Pri gasifikaciji čvrstog goriva na normalnom pritisku dobijamo gas, odnosno gasnu smešu sa CO, CO₂, H₂, a na povišenim pritiscima (konkretno, kod aktuelnih sistema PGU) i CH₄.

Ako bi se kao gasifikacioni agens, umesto vazduha primenila parno-kiseonička smeša, optimalni-važeći odnos trebao bi biti oko 4-8 kg pare/ m_N^3 O₂. A, ako bi se primenjivao sam kiseonik, toplotna moć gasa iz takve PGU bi bila 2-2,5 puta veća nego ona kod gasifikacije vazduhom. [16-20]

U toku PGU pretežno je reč o egzotermnim reakcijama (pri $t > 600^\circ\text{C}$), dobijena gasna smeša može sadržati 8-20% CO₂, 5-20% CO, 10-20% H₂ i 2-5% CH₄. Ako se u gasnoj smeši nađe previše CO₂ i eventualno vodene pare (H₂O), gas PGU se može uvesti u zonu redukcije u izvesnim skruberima, gde se odvija znatan deo egzotermnih reakcija.

Eventualno iskršli fenol se izdvaja u sekundarnim hladnjacima i kondenzatorima u sklopu skrubera. Naime, otpadne vode prečistačkog ciklusa,

pred ispuštanjem u kanalizaciju, podvrgavaju se čišćenju u stanici-segmentu za otklanjanje fenola.

Pri sagorevanju uglja na visokim temperaturama, reakcijom azota iz vazduha sa kiseonikom, nastaju azotni oksidi (NO_x). Azotni oksidi takođe nastaju donekle i sagorevanjem azotnih elemenata iz goriva (uglavnom pri $t > 1700^\circ\text{C}$). Sveukupni azotni oksidi hvataju se-izdvajaju u odgovarajućim elementima sistema skrubera. Napomena: azotnih oksida će biti znatno manje, ako se kao gasifikacioni agens koristi kiseonik. U svakom slučaju u izduvnim gasovima kroz dimnjake TE, biće znatno manje tih štetnih materija, ako je sagorevao gas PGU, nego pri sagorevanju uglja u ložištima kotlova.

Kod azotnih materija iz goriva u procesu gasifikacije nastaju često i izvesne količine amonijaka NH₃, koji se odstranjuje (pa koristi u razne stvrhe) kroz sistem skrubera u procesu PGU. Gasovito gorivo nakon toga ne sadrži azotna jedinjenja, pa oksidi azota mogu nastati samo oksidacijom azota iz vazduha (ako je gasifikacioni agens vazduh) i oni zavise od adijabatske stehiometrijske temperature sagorevanja, koju možemo sniziti dovođenjem hladnih (inertnih) materija do reakcione zone, odnosno čela plamena. (Inače, CO₂ koji se već nalazi u energogasu, je prilično pogodan za sniženje NO_x). [21]

Što se tiče moguće pojave SO₂, on se vrlo retko pojavljivao u dosadašnjim sistemima PGU i to u vrlo malim količinama. Inače, ako bi ga bilo znatnije, gasna smeša bi se provela kroz SO₂-reaktor, gde se pomoću katalizatora vrši 96%-tna konverzija SO₂ na SO₃.



Oslobodena toplota povećava temperaturu gasu za oko 19^oC [22], a procesni gas po izlazu iz reaktora se hladi, pri čemu SO₃ reaguje sa vodenom parom:



U narednom delu sistema kondenzuje se 92-97%-tna H₂SO₄, pri čemu nema nikakvih propratnih produkata.

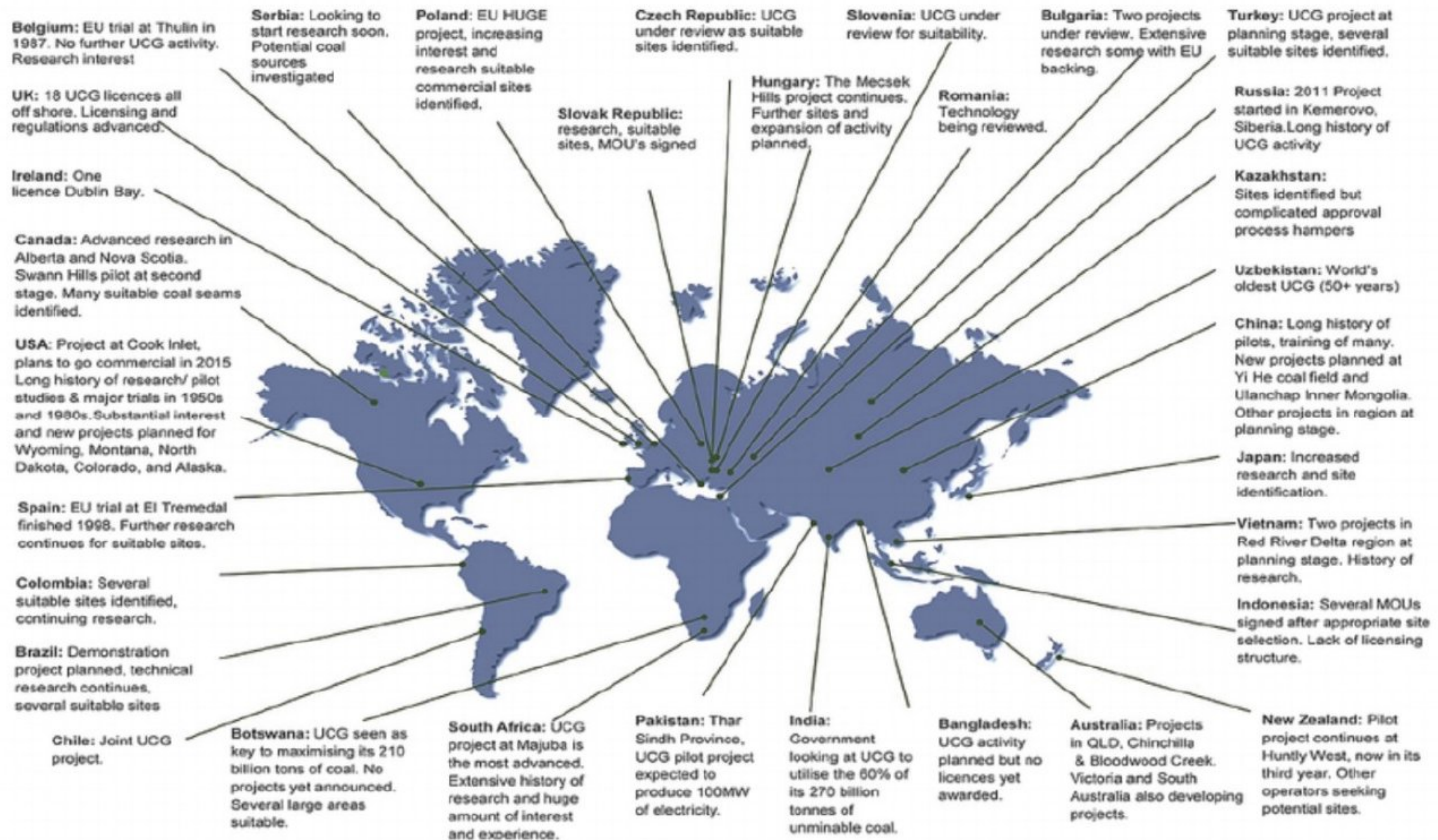
Oslobodena toplota pri hlađenju procesnog dela se koristi za proizvodnju suve pare određenog pritiska. Iz gasnog otpada se odsumporavanjem pomoću katalitičke oksidacije sumporvodonika H₂S dobija H₂SO₄ sa koncentracijom do 95% (mimo one gore 92-97%-tne H₂SO₄).

Tako očišćen gas je pogodno gorivo za TE, ali i za sisteme centralnog grejanja, rafinerije, industriju papira, razne ciglane, kao i za transformaciju ovog gasovitog u tečno gorivo, itd.

4. Prilike i potrebe za primenu PGU u Srbiji

S obzirom na znatne vanbilansne rezerve i otkopne ostatke bilansnih rezervi uglja kod nas, duže

mazuta i sl. Sa aspekta energetske strategije Zemlje, konverzijom goriva i racionalizacijom u potrošnji energije, na najbržem smo i najsigurnijem putu da se reše bar neki tekući energetske problemi u zemlji. (videti mapu na slici 2)



Slika 2. Mapa aktivnosti u Svetu na PGU (UGC)

vremena se aktuelizuje pitanje kakvo ćemo imati “energetsko sutra“. Pri ovakvom intenzitetu trošenja rezervi, a posebno pri dosta slaboj iskoristivosti ugljenih slojeva, mogućnost korišćenja takvih rezervi pomoću PGU nameće se kao izvesna neminovnost. [25-27]

Osnovno energetske bogatstvo Srbije je ugalj: lignit sa povoljnim karakteristikama za površinsku eksploataciju, te mrki i kameni ugalj na većim dubinama, čija je eksploatacija jedino moguća kao jamska. Vanbilansnost znatnih rezervi je utvrđivana uglavnom zbog tehnokonomske neopravdanosti eksploatacije postojećim konvencionalnim tehnologijama. [28-29]

Sa našeg privrednog i strateškog stanovišta, obzirom da su ti energetske potencijali zaista znatni, veoma je važno da se te rezerve valorizuju, čime bismo znatno poboljšali energetske situaciju u zemlji i smanjili zavisnost od uvoza. Upravo, tehnologija konverzije uglja u gasovita goriva pomoću PGU je tehnološko dostignuće koje otvara put, ne samo jeftinijoj proizvodnji električne i toplotne energije, već i supstituciji dela uvoznog prirodnog gasa, lož-ulja,

5. Rezerve uglja interesantne za PGU i tehnokonomske procene primene

Kao što je već naglašeno za PGU se predviđaju uglavnom vanbilansne rezerve i otkopni ostaci bilansnih rezervi. Podzemna gasifikacija uglja nije predvidiva za sve moguće slučajeve, nego samo za ona ležišta koja po rangiranju zauzmu optimalnu poziciju po kriterijumima za PGU, a nisu pogodna za klasičnu tehnologiju eksploatacije. [30-32]

U današnje vreme Srbija raspolaže sa preko 900 miliona tona vanbilansnih rezervi (bez Kosmeta i Vojvodine), a za njihovo korišćenje nema alternativne metode; pa zašto ne ići na PGU nekih ležišta koja ispunjavaju pomenute kriterijume? Od svih rudnika koje tretira “Pregled geoloških rezervi uglja sa stanjem na početku 2015. godine“, može se uočiti desetak rudnika sa niyom pogodnosti za PGU, koje bi se detaljnom tehnokonomskom analizom mogle dokazati i utvrditi.

Posebno je uočljiv ugljenokop Ćirikovac, koji je do pre nekoliko godina radio kao površinski kop, a po



International Conference Energy and Ecology Industry October, 11-13, 2018, Belgrade, Serbia

prestanku te eksploatacije zaključeno je da bi jamska bila nerentabilna. Šta činiti; bilo bi nedomaćinski ostaviti tih preostalih oko 120 miliona tona neiskorišćeno! Metoda primene PGU je idealna za ovakve uslove! Za ovu priliku sačinjena je preliminarna analiza mogućih efekata primene PGU, na osnovu koje je dobijeno:

- masa uglja za moguću primenu PGU: 95 mil. t (\approx 80% od rezervi),
- očekivana ukupna količina dobijenog gasa: $Q_g = 117 \text{ mld. } m_N^3 \text{ gasa}$,
- ukupni mogući prihod od PGU (po ceni gasa 10 puta nižoj od cene prirodnog gasa) \approx 3 mld. €,
- to bi značilo da bi u toku 45 godina, godišnji ukupni prihod iznosio \approx 60 mld. €.

Za ovaj, kao i neke druge interesantne rudnike, trebalo bi sačiniti sveobuhvatnu i ozbiljnu identifikaciju i kategorizaciju ležišta uglja. U toj analizi bi bili tretirani i otkopni ostaci bilansnih rezervi, što ovde za slučaj Ćirikovca nije ni tretirano, jer su one rezerve od 120 mil.t upravo vanbilansne.

6. Zaključna sagledavanja

Uz sve prethodno tretirano, podsećamo da bi se PGU mogla odlično uklopiti u koncept **diverzifikacije** izvora energije, kao i ideju o "**Čistoj energiji**"- što su sve tendencije kroz stavove resornih institucija Evropske Unije. Nije nepoznato da su te institucije u poslednjih šest godina finansirale:

- zajednički Projekat dobijanja vodonika H_2 iz gasa PGU (Poljska, V. Britanija, Nemačka, Češka, Belgija, Holandija, Ukrajina) u trajanju od 4 godine (2010-2014.),
- dvogodišnju Studiju mogućnosti PGU u rudniku Dobrudža (Bugarska, sa nekoliko partnera iz EU), (2012-2013. godine).

Dakle, danas je ovo iz naslova rada aktuelno pre svega zbog nekoliko ekoloških benefita sagorevanja gasa u TE (umesto uglja), a posebno što se gas iz gasogeneratora jednostavnije oslobađa nepoželjnih komponenata (CO_2 , NO_x ,...) u skruberima gasogeneratorskog kompleksa. Konačno, ovakve aktivnosti su neophodne zbog zdravije okoline i sigurnije ekološke perspektive na Zemlji.

Ako imamo u vidu da se bliži vreme istinske zabrane loženja uglja u kotlarnicama elektrana, onda sve ovo dođe kao prava prilika makar u tom prelaznom periodu. Vreme je, da se konkretnije razradi problem niske racionalnosti u proizvodnji uglja, a ne samo

problemom racionalnog iskorišćenja energetskog oblika nastalog iz uglja (npr. električne energije kao sekundarne energije).

7. Literatura

- [1] Slavinskaja L.: (2011) "Gazifikacija uglja-mirovne tendencii", Njeftegasovaja Vertikal #18/2011, Moskva,
- [2] Krejnin E. V.: (1982) "Podzemnaja gazifikacija ugoljnih plastov", Nedra, Moskva,
- [3] U. S. Department of Energy: (2011) "Conference with OPIC in panel discussion to round out world gas week", Washington,
- [4] Kondirev B. I.: (2005) "Opit PGU v Kitajskoj Narodnoj Respublike" GIAB "Gornaja knjiga" #10, Moskva,
- [5] ENN coal gasification mining <http://www.enn.rcn/en/business/ucg-mining> (Kina u Mongoliji),
- [6] Petrović D.: (1988) "Izučavanje PGU kod vanbilansnih rezervi uglja na području SB ugljenog basena", Disertacija, Tuzla,
- [7] Krejnin E. V.: (2004) "Netradicionalnije termičeskie tehnologii dobiči trudnoizvlakaemih topliv", Ugalj, ugljovodonične sire- Monografija, CRC Gazprom, Moskva,
- [8] Walker L. K.: (2001) An IGCC project at Chinchila, Australia, based on UGC gasification technologies confernece, San Francisco,
- [9] Linc-Energy-Limited (ASX:LNC), (2009) Tehnology update on Chinchila UCG operations, ABN Newswire (Asia business news ltd),
- [10] Blinderman M. S.: (october 2002) "The Chinchila IGCC project to date: UGC and environment", gasification technologies conference, San Francisco,
- [11] Krejnin E. V.: (2011) "Analiz i perspektivi savremenih proektov PGU v mire", "Ugalj", Moskva,
- [12] Lazarenko S.N.: (2007.) "Novij etap razvitia PGU v Rosii v Mire", žurnal GIAB "Gornaja knjiga", Moskva,
- [13] Ruban A.D.: (2007.) "PGU-novii etap tehnologičeskovo i investicionovo razvitia", GIAB "Gornaja knjiga", Moskva,
- [14] Morozov J.T.: (1987.) "Metodika i tehnika napravljenoovo burenia skvažin", "Nedra", Moskva,
- [15] Gončarov E.V.: (1990.) "Vazmožnosti primenenia Podzemnoj gazifikacii uglja izvlačenja zapasov iz zaščitnih plastov", "Ugalj Ukraini", Kiev,
- [16] Gajko G.I. i dr.: (2012.) "Utilizacia toplotnie energije pri Podzemnoj termohemijskoj prerabotki ugoljnih plastov" Alčevsk (Ukraina),



International Conference Energy and Ecology Industry
October, 11-13, 2018, Belgrade, Serbia

- [17] Janko S.V.: (2010.) "Perspektivi osvoenia gluboko zalegajušćih ugojnih mestroždenii", "Ugalj Ukraini" #10, Kiev,
- [18] Kolokolov O.V.: (2002.) "Ugalj kak osnova ekologičeski čistoj toplivno-energetičeskoj sistemi", International Mining Forum "School of Underground Mining", Krakov,
- [19] Palarski J.: (1996.) "Gas and Heat transport in the Underground Coal Gasification", Symposium Saarbricken,
- [20] Eskom Studies 2100 MW combined-cycle plant at Majuba Liezel Hill // Engineering news: <http://www.engineeringnews.co.za> (Južna Afrika),
- [21] (2009.) Environmental sciping report for the proposed 40MW open cycle gas turbine power plant in the Amersfort are, Mpumalanda/ A project of Eskom holdings limited
<http://www.eskom.co.za>,
- [22] Krejnin E.V.: (1993.) "Zagrjaznejutsja li podzemnie void pri gazifikaciji ugojnih plastov", "Ugalj" #4, Moskva,
- [23] Petrović D. et. al.: (2010.) "Possibilities of coal conversion into fuel from the aspect of greater valorization of available energy resources in Serbia by implementing UCG", RMZ #1,
- [24] Petrović D. et. al.: (2008) "Introdyction of UCG in Some parts of Aleksinac Coal Basin (in Serbia)", Energy Union Belgrade, Zlatibor,
- [25] Kričak L.: (1998) "Istraživanje novih tehnologija i metoda eksploatacije opreme i upravljačkog sistema u cilju racionalnog korišćenja energetskih mineralnih sirovina", Domaći razvojni projekat, Beograd,
- [26] Kričak L.: (2001) "Određivanje parametara pilot postrojenja za podzemnu gasifikaciju uglja u Kostolačkom ugljenom basenu",
- [27] Kričak L.: (2014) "Višenamenski autonomni system za daljinsko praćenje parametara stanja u rudnicima i okruženju"- Projekat tehnološkog razvoja MNTR, rukovodilac Projekta, Beograd,
- [28] Petrović D. et. al.: (2018) "Contribution to creating a Mathematical model of Underground Coal Gasification proces", "Thermal Science", Belgrade,
- [29] (April 1997.) "Strategija razvoja energetike Jugoslavije do 2020. god., sa vizijom do 2050.god.", "Energija", Beograd,
- [30] Gajko G.I.: (2012.) "Teoretičeskaja ocenka skorosti vigoranija ugojnovu plasta pri Podzemnoj gazifikaciji", Konferencija "Škola podzemnoj razabotki", Dnjepropetrovski,
- [31] Gajko G.I.: (2011.) "Vlijanije zaščitnovu sloja zolj na nadežnost trubnovu kolektora podzemnovu gazgeneratora", Alčevsk (Ukraina),
- [32] Zaev V.V.: (2012.) "Laboratornie isledovanii zoni gorenija ugojnovu plasta pri Podzemnoj gazifikaciji", forum "Probljemi nedropoljzovanija", Sankt Peterburg.