



ZRGM

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

ПОДЕКС – ПОВЕКС '25

Охрид

03 – 05. 10. 2025 год.

ИНТЕГРИРАНА ТЕХНОЛОГИЈА ЗА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН СО IN SITU РЕТОРТИРАЊЕ НА НАФТЕНИ ШКРИЛЦИ

Радмила Каранакова Стефановска¹, Зоран Панов¹, Ристо Поповски¹, Благица Донева¹

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

Апстракт: Во овој труд се работи за хибридна технологија која ја комбинира подземната гасификација на јаглен (in situ добивање синтезен гас со минимално ископување) и in situ ретортирање на нафтени шкрилци (термичка обработка на шкрилците за извлекување на течни и гасовити јаглеводороди). Таква интеграција има потенцијал за: зголемена енергетска ефикасност, подобро искористување на сложените геолошки формации каде јагленот и шкрилците се јавуваат заедно со цел намалување на површинските еколошки нарушувања.

Клучни зборови: јаглен, нафтени шкрилци, технологија, ретортирање, подземна гасификација на јаглен.

INTEGRATED TECHNOLOGY FOR UNDERGROUND COAL GASIFICATION WITH IN SITU OIL SHALE RETORTING

Radmila Karanakovska¹, Zoran Panov¹, Risto Popovski¹, Blagica Doneva¹

¹Goce Delcev University, Faculty for Natural and Technical Science, Stip, North Macedonia

Abstract: In this paper discusses a hybrid technology that combines underground coal gasification (in situ synthesis gas production with minimal excavation) and in situ oil shale retorting (thermal treatment of shale to extract liquid and gaseous of hydrocarbons). Such integration has the potential for: increased energy efficiency, better utilization of complex geological formations where coal and shale occur together, and reduced surface environmental disturbance.

Key Words: coal, coal shale, technology, retorting, underground coal gasification.

1. ВОВЕД

Рударската инфраструктура претставува столб на модерните индустрии за екстракција на енергија, обезбедувајќи ја суштинската основа за пристап и обработка на подземните енергетски ресурси. Геолошките резерви и квалитетот на фосилните горива (особено јагленот, нафтата и природниот гас) претставуваат најзначаен дел од енергетскиот потенцијал на секоја земја. Од геолошка гледна точка, фосилните горива се необновливи енергетски извори од извонредно стратешко значење. Во денешните услови на технолошки и индустриски развој, потрошувачката на фосилни горива постојано се зголемува особено како што потенциравме на јаглен, нафта и природниот гас. Се проценува дека во наредните 100 години, природните енергетски извори ќе бидат извонредно скапи, бидејќи и најголемите оптимисти признаваат дека е тешко да се очекуваат нови спектакуларни откритија на наоѓалишта на нафта, природен гас и јаглен. Во тој контекст, треба да се разгледа и истражи можноста за валоризација на горенаведените фосилни горива, пр. ефикасен начин на валоризација на вонбилансните резерви на јаглен, како и билансните во поедини случаи е **подземната гасификација на јаглени**.

Во структурата на досегашната потрошувачка на фосилни горива, со право или не, се занемарени нафтните шкрилци, нафтните песоци и битуминозните карпи. Од гледна точка на енергетскиот потенцијал на нафтните шкрилци најзначајната органска компонента е керогенот кој со одредена технологија, може да се добие синтетичка нафта, суровини за петрохемиската индустрија, градежен материјал и ретки елементи. Со понатамошно рафинирање на синтетичката нафта се добиваат горива за транспорт, млазно и дизел гориво и примарен бензин.

По својот состав нафтните шкрилци претставуваат специфична енергетска суровина, која под одредени услови може да стане адекватен алтернативен извор за добивање течни горива и други суровини или замена за некои нивни деривати. Нивниот органски состав е во основа многу измешан со неорганската фаза, која главно ја сочинуваат глини, песок, варовник, кварцни творби или нивни мешавини.

Посебна заинтересираност е покажано за ретката геолошка појава, да јаглениот слој се наоѓа директно под слојот на нафтени шкрилци, што дава можност за заедничко користење на подземната гасификација на јаглен и модифицираниот *in situ* ретортирање на нафтените шкрилци. Успешниот процес на подземната гасификација ќе биде подобрена бидејќи топлинските губитоци низ јаловинската кровина би иницирале создавање на додатни гасни и течни продукти. Интеграцијата на овие технологии претставува револуционерен пристап кон енергетската инфраструктура кој ја комбинира гасификацијата на јаглен со преработката на нафтените шкрилци во еден координатен систем.

2. КОМБИНИРАНА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН СО *IN SITU* РЕТОРТИРАЊЕ НА НАФТЕНИ ШКРИЛЦИ

Постоењето на нафтни шкрилци, директно налегнати на јагленот, овозможува зголемување на ефикасноста на процесот на подземна гасификација на јаглен. Имено, загубата на топлина од процесот на подземна гасификација на јагленот на кровината ќе произведе дополнителни јаглеводородни гасови и течности. Поголемиот дел од овие течности со кршење ќе произведе дополнителен дел од јаглеводородни гасови. Таквото комбинирано производство на јаглеводородни гасови од нафтените шкрилци ја зголемува термичката моќност на гасот добиен од подземната гасификација на јаглен, а овозможува и добивање на одредена количина на нафта, како нуспроизвод во овој процес.

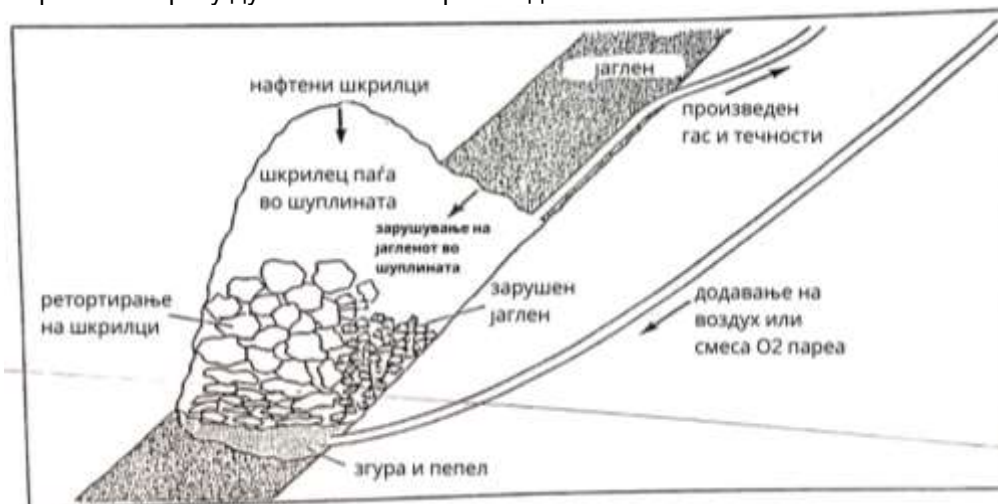
Оваа технологија бара минирање на само 10 – 20% од нафтените шкрилци, за да се постигнат поволни резултати на гранулација. Натрупаните нафтени шкрилци потоа се ретортираат.

На слика 1 е прикажана технологијата на подземна гасификација на стрмно залегнат јаглениот слој. Самата техника на гасификација на јагленот на лице место е изработка на две вертикално издупчени дупчотини, една дупчотина за вбризгување, а другата за производство.

За време на процесот на ПГЈ, низ дупчотината за вбризгување се инјектираат агенси како што се воздух, кислород збогатен со воздух или кислород со пареа, директно се дува во основата на гасифицираниот јаглениот слој.

Така јагленот се суши, па се распаѓа и зарушува во гасификационата шуплина, каде што формира наполнета – стратификувана средина за гасификација.

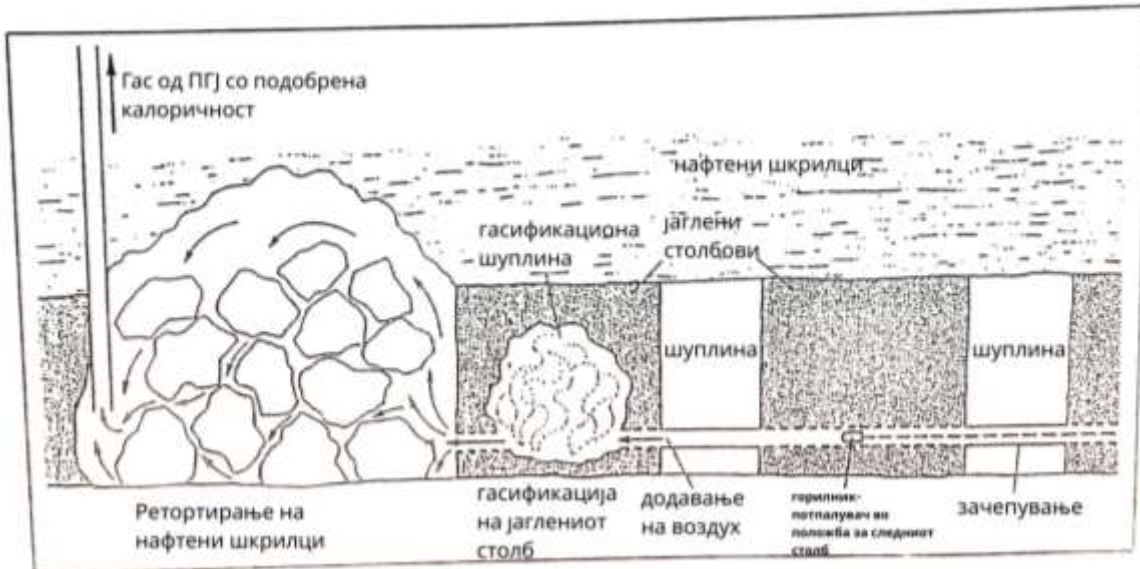
Јагленот се трансформира во продукционен гас, течност и јагленисана маса. Кислородот од гасифицираниот агенс потпомага во согорувањето на дел од јагленисаната маса и произведува топлина за ендотермичката реакција. Гасовите и течностите произведени со согорување, т.е. со гасификацијата, деволатизација и сушењето, излегуваат од гасификационите шуплини (реакциски зони) кон површината преку дупчотината за производство.



Слика 1. Подземна гасификација на јаглен на стрмно залегнати слоеви

Како јагленот согорува, така се формира и се зголемува шуплината. Кровинскиот материјал се исипува и паѓа во шуплината поради термичките и механичките напрегања, предизвикани од високите температури во самиот процес, како и поради недостигање на потпорниот материјал, јаглен. Кровинскиот материјал во шуплината се загрева на температура поголема од 1200 °C, при што значителна топлина се одзема од процесот, што во одредена смисла се намалува ефикасноста на гасификацијата. Меѓутоа, загревањето на кровинскиот дел произведува дополнителни органски течности и гасови. Големите дел на така добиените течности со високите температури ќе доведат до создавање на додатни гасови што ќе ја ублажи спомнатата ефикасност на гасификацијата. Како

резултат на тоа се добива гас со поголема топлотна моќ отколку кај подземната гасификација на јаглен без присуство на шкрилци. Контролата на места за инјектирање на средствата за гасификација е прикажана на слика 2.



Слика 2. Концепт на контролните места за инјектирање на средствата за гасификација

Методата прикажана на претходната слика е успешно испробана на две пробни локации во САД и може да биде прилагодена за гасификација на заштитните столбови на јаглен. Зарушувањето на јаглените слоеви со експлозив е прикажан на слика 3.

Нафтните шкрилци се зарушуваат врз издробениот јаглен, формирајќи така слој од искршени нафтени шкрилци кои го покриваат јагленот. Воздухот се инјектира низ вертикалната или хоризонталната дупчотина, а настанатите гасови се собираат кон дупчотината за производство.

Жешките гасови од процесот на подземна гасификација на јаглен поминуваат низ натрупаниот куп на јаглен и нафтени шкрилци, создавајќи збогатен енергетски гас. Ваквиот пристап на експлоатација на јаглен со шкрилци во кровинскиот масив посебно е актуелен од аспект на екологијата. Посебно кога е во прашање ризик од појава на неконтролирани рударски пожари, кои може да предизвикаат штетни концентрации на јаглероден моноксид и сулфур водород на површината, и може да се акумулираат во околните структури.

Отстранувањето на тој заостанат јаглен значајно би ја намалил можноста за неконтролирани рударски пожари, а со самото тоа би се намалила и опасноста по здравјето на луѓето



Слика 3. Дробење на јагленовите слоеви

Ретортирањето на нафтните шкрилци претставува ефикасна метода за намалување на емитувањето на сулфур диоксид од горивниот гас, бидејќи сулфур диоксидот стапува во реакција со минералните материјали од нафтните шкрилци. Гасовите, настанати на тој начин го подобруваат процесот на подземна гасификација на јаглен, може да се додадат во веќе гасифицираната комора, во која се наоѓаат нафтните шкрилци, и со тоа да се отстрани SO_2 при контактот на гасот со нафтните шкрилци. Слегнувањето на теренот и евентуалното загадување на подземните води во вакви случаи не се очекува.

4. ЗАКЛУЧОК

Интегрираната технологија за подземна гасификација на јаглен со ретортирање на нафтени шкрилци претставува трансформативен пристап кон енергетската инфраструктура што се справува со повеќекратни предизвици со кои се соочува модерното производство на енергија. Овие системи ги комбинираат докажаните технологии на гасификација на јаглен и преработка на нафтени шкрилци во кохезивни операции што го максимизираат искористувањето на ресурсите, а воедно го минимизираат влијанието врз животната средина.

Техничката изводливост на интеграцијата е демонстрирана преку децении одделни операции на Подземната гасификација на јаглен и ретортирање на нафтени шкрилци низ целиот свет.

Над 50 ПГЈ тестови се спроведени низ целиот свет, при што комерцијалните операции ја докажуваат одржливоста на технологијата, додека ретортирањето на нафтени шкрилци е успешно имплементирано во земји како Естонија, Бразил и Кина.

Како инфраструктура, тие обезбедуваат:

- сигурно, контролирано производство на енергија од домашни ресурси,
- намалена зависност од увоз на енергија,
- подобрена енергетска безбедност преку диверзифицирано користење на суровини,
- економски развој во региони со соодветни геолошки ресурси,
- подобра заштита на животната средина

Иднината на интегрираната технологија за подземна гасификација на јаглен и ретортирање на нафтени шкрилци лежи во континуираниот технолошки напредок, управувањето со животната средина и економската оптимизација.

Со соодветен развој и имплементација, овие системи можат да обезбедат значаен придонес кон глобалната енергетска безбедност, а воедно да ги поддржат целите за одржлив развој.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Burton, E., Friedmann, J., & Upadhye, R. (2006). Best Practices in Underground Coal Gasification. Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL-TR-225331. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1580018>
- [2] National Energy Technology Laboratory (2024). Underground Coal Gasification. U.S. Department of Energy. <https://netl.doe.gov/research/Coal/energy>
- [3] Blinderman, M. S. (2003). Underground coal gasification: The technology and its potential. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy, 156(3), 117-126.
- [4] Wang, F. T., et al. (1982). Underground coal gasification: Site characterization and environmental monitoring. Lawrence Livermore National Laboratory.
- [5] Stephens, D. R., et al. (1985). Underground coal gasification: Status and technology development. Lawrence Livermore National Laboratory.
- [6] <https://www.britannica.com/science/oil-shale/Recovery-of-oil-from-oil-shale>
- [7] ScienceDirect Topics (2024). Oil Shale Retorting - an overview.
- [8] <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/oil-shale-retorting>
- [9] Science Direct Topics (2024). Oil Shale Processing - an overview. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/oil-shale-processing>
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Shale_oil_extraction
- [11] MDPI Energies (2023). Investigation of Underground Coal Gasification in Laboratory Conditions: A Review of Recent Research. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/17/6250>
- [12] MDPI Applied Sciences (2023). Advancements and Environmental Implications in Oil Shale Exploration and Processing. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/13/7657>
- [13] Vision IAS (2024). Underground Coal Gasification (UCG) - Current Affairs. <https://visionias.in/current-affairs/monthly-magazine/2024-07>
- [14] World Coal Magazine (2024). India's Ministry of Coal initiates underground coal gasification project. <https://www.worldcoal.com/coal/27062024/indias-ministry-of-coal-initiates>
- [15] <https://www.fortunebusinessinsights.com/coal-gasification-market-109966>
- [16] Maximize Market Research (2024). Underground Coal Gasification Market - Global Industry Analysis and forecast 2025-2032. <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/underground-coal-gasification-market/70055/>
- [17] Data Bridge Market Research (2024). Underground Coal Gasification Market Size & Growth Drivers By 2031. <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-underground-coal-gasification-market>
- [18] Verified Market Research (2024). Coal Gasification Market Size, Share, Scope, Trends & Forecast. <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/coal-gasification-market/>