



Podziemne zgazowanie węgla – stan rozwoju i perspektywy zastosowania technologii w Polsce

Underground coal gasification – status of development and prospects of application technology in Poland

mgr inż. Daria GAŚIOR

Autorka jest pracownikiem Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, tel. 077/456 32 01 wew. 335 e-mail: d.gasior@icimb.pl



W KILKU SŁOWACH

Regularny wzrost cen ropy naftowej i gazu ziemnego, wyczerpywanie się łatwo dostępnych zasobów powierzchniowych węgla kopalnych, jak i zaostreżenia polityki UE odnośnie emisji dwutlenku węgla do atmosfery skłaniają do poszukiwania tańszych, a zarazem ekologicznych rozwiązań dotyczących produkcji energii elektrycznej. Z uwagi na pokaźne zasoby węgla kamiennego w Polsce koniecznym staje się opracowanie niekonwencjonalnych technologii eksploatacji pokładów węgla, które pozwolą na sięgnięcie po zasoby niedostępne przy użyciu dotychczasowo stosowanych metod, głębinowej oraz odkrywkowej lub których wydobywanie byłoby dotychczas nieopłacalne ekonomicznie bądź niebezpieczne. Podziemne zgazowanie węgla umożliwia wzrost efektywności wykorzystania złóż węglowych przy jednoczesnym zmniejszeniu emisji CO₂ w porównaniu do tradycyjnie stosowanych technologii. W pracy opisano obecny stan rozwoju technologii PZW oraz przedstawiono wybrane wyniki badań instalacji doświadczalnej i pilotowej PZW w Polsce.



SUMMARY

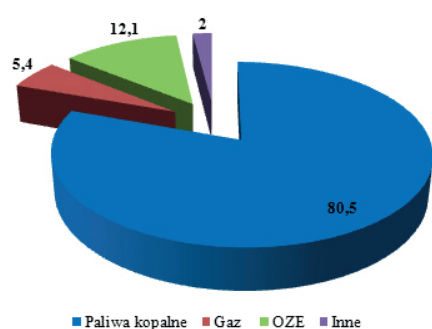
A regular increase in the prices of crude oil and natural gas, the depletion of easily available resources of surface coal fossil and tightening EU policy on carbon dioxide emissions into the atmosphere tend to search for cheap, and also ecological solutions for the electricity production. Due to the rich coal resources in Poland, it becomes necessary to develop unconventional technology of coal exploitation, which can allow to access to the resources unavailable with the actually applied methods or the extraction was previously economically unprofitable or dangerous. Underground coal gasification enables the increase of coal deposits exploitation efficiency as well as CO₂ emission reduce compared to the traditional using technologies. The paper describes the current state of technology UCG and presents selected tests results of UCG experimental and pilot installation in Poland.



Wprowadzenie

Światowe zasoby węgla jako paliwa kopalnego, obliczane na okres około 200 lat w znacznym stopniu przewyższają zasoby pozostałych paliw kopalnych. Z uwagi na ten fakt w ostatnich latach odnotowuje się pokaźny wzrost zainteresowania węglem, zwłaszcza kamiennym jako paliwem będącym w stanie zapewnić bezpieczeństwo energetyczne wielu krajów, w tym również Polski, której złoża węgla kamiennego stanowią istotną część zasobów paliw kopalnych Europy [1]. Biorąc pod uwagę prognozy gospodarczo-ekonomiczne przewiduje się dalszy wzrost wykorzystania tego paliwa w przyszłości, głównie ze względu na rosnące zapotrzebowanie na energię w krajach rozwijających się, takich jak Chiny i Indie. Zakłada się, że do 2035 roku Indie, Chiny oraz Azja Południowo-Wschodnia odpowiadać będą za 90% wzrost wydobycia węgla [2]. Produkcja energii pierwotnej w Polsce opiera się przede wszystkim na paliwach kopalnych [3]. Około 62% produkcji energii bazuje na węglu kamiennym [4]. Mając jednak na uwadze szkodliwą emisję dwutlenku węgla do atmosfery, jak i związane z nią zaostżenia przepisów narzucanych przez UE należy skłaniać się do poszukiwania tanich, a zarazem ekologicznych metod wydobycia i przetwarzania węgla na energię.

Produkcja energii w Polsce w roku 2013



Rysunek 1. Źródła pozyskiwania energii elektrycznej w Polsce w 2013 roku [3].

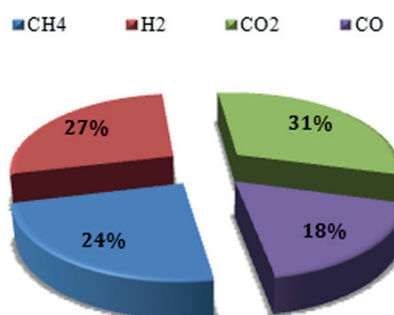
Proces zgazowania paliw stałych ma na celu przemianę węgla pierwiastkowego, zawartego w stałym surowcu na produkt gazowy, którego głównym składnikiem jest metan, wodór oraz tlenek węgla. Można go realizować po uprzednim wydobyciu węgla w reaktorach na-

ziemnych (tzw. gazogeneratorach), co zapewnia pełną kontrolę procesu. Proces zgazowania paliw stałych jest z powodzeniem wykorzystywany. Obecnie działają 144 zakłady korzystające z tej technologii, między innymi w celu wytworzenia gazu do syntez produktów chemicznych lub płynnych paliw silnikowych [5]. Istnieje też możliwość przeprowadzenia podziemnego zgazowania pokładów węgla bezpośrednio w złożu, jest to tzw. proces „in situ”.

Idea podziemnego zgazowania węgla

Podziemne zgazowanie węgla polega na prowadzeniu bezpośrednio w złożu węglowym pirolitycznej reakcji węgla z wodą i tlenem i przemianę w gaz syntetyczny, tzw. syngaz, będący mieszaniną tlenku węgla, dwutlenku węgla, wodoru oraz metanu. Udziały tych składników w pozyskanym gazie są zmienne w zależności od warunków prowadzenia procesu oraz zastosowanego czynnika zgazowującego. Otrzymany gaz charakteryzuje się wartością opałową na poziomie 4,6-5,4 MJ/m³ (przy zastosowaniu powietrza) oraz 10-11 MJ/m³ (przy zastosowaniu tlenu). Przykładowy skład gazu syntezowego otrzymanego metodą podziemnego zgazowania węgla przedstawiono na rysunku 2 [6].

Skład gazu syntezowego



Rysunek 2. Przykładowy skład gazu syntezowego otrzymanego metoda UCG [6].

Typowe czynniki zgazowujące wykorzystywane w procesie to tlen, para wodna, bądź mieszaniny tych gazów. Wybór czynnika zgazowującego jest uzależniony od zamierzonego zastosowania otrzymanego gazu syntezowego [7]. Zgazowanie odbywa się w zespołach wyrobisk ograniczonych otworami zasilającymi i otworami produkcyjnymi. Cykl działalności instalacji PZW opiera się na trzech etapach [8]:

4. Literatura

- [1] Borkiewicz M.: Czyste technologie węglowe szansa przed Polską, *Ekologia*, 2008, 1-2, 151-152.
- [2] International Energy Agency (IEA). World Energy outlook 2013. Paris:OECD/IEA;2013, http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013_Executive_Summary_Polish.pdf
- [3] http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/1/17/Energy_production%2C_2003_and_2013_%28million_tonnes_of_oil_equivalent%29_YB15.png
- [4] Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2012 i 2013, Główny Urząd Statystyczny, 2014.
- [5] Strugała, A., Porada, S., Substancja organiczna węgla kamiennego i jej przemiany w procesie pirolizy, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 1999, 1, 9-63.
- [6] Stańczyk K., Kapusta K.: Podziemne zgazowanie węgla, *Karbo*, 2007, 2, 98-102.
- [7] Wang Z, Huang W, Zhang P, Xin L. A contrast study on different gasifying agents of underground coal gasification at Huating coal mine, *Journal of Coal Science Engineering (China)*, 2011, 17, 181-186.
- [8] Pilotowa instalacja podziemnego zgazowania węgla, http://www.zgazowaniewegla.agh.edu.pl/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=33&Itemid=54&lang=pl
- [9] Nowak J., Kudelko J.: Zagospodarowanie złóż węgla brunatnego w aspekcie zastosowania technologii wytwarzania innych nośników energii, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2008, 24, 259-271.
- [10] <https://7dni.wordpress.com/2007/12/04/zgazowaniewegla>.
- [11] Hankus A., Białecka B.: Bilans zasobów do procesu podziemnego zgazowania węgla w Polsce, *Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko*, 2005, 4.
- [12] Wiatowski M., Kapusta K., Świądrowski J., Cybulski K., Ludwik-Pardała M., Grabowski J., Stańczyk K., Technological aspects of underground coal gasification in the Experimental „Barbara” Mine, *Fuel*, 2015, 159, 454-462.
- [13] Mocek P., Pieszczek M., Świądrowski J., Kapusta K., Wiatowski M., Stańczyk K., Pilot-scale underground coal gasification (UCG) experiment in an operating Mine „Wieczorek” in Poland, *Energy*, 2016, 111, 313-321.

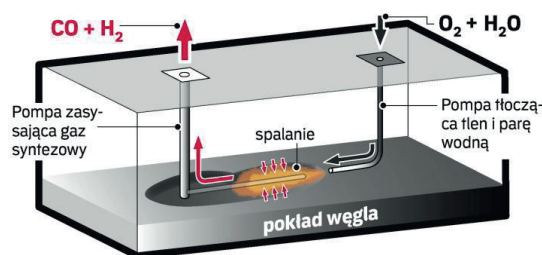




1. Budowa georeaktora w pokładzie węglowym poprzez wykonanie otworów doprowadzających czynniki zgazowujące i odbierających produkt gazowy;
2. Eksploatacja georeaktora zapoczątkowana przez zapalenie węgla w sieci kanałów i kontynuowana poprzez kontrolowane podawanie czynników zgazowujących i odbiór otrzymanego gazu;
3. Wygaszenie georeaktora wskutek odcięcia dostawy czynnika zgazowującego oraz dostarczenie inertnego gazu (azotu).

Schemat poglądu procesu podziemnego zgazowania węgla przedstawiono na rysunku 3.

Otrzymany syngaz po uprzednim oczyszczeniu może być stosowany jako paliwo lub surowiec chemiczny do syntezy amoniaku, metanu, metanolu, a także oleju napędowego i ropy [9].



Rysunek 3. Schemat procesu podziemnego zgazowania węgla [10].

Złoże węgla kamiennego poddawane podziemnemu zgazowaniu muszą spełniać określone kryteria, które zostały zawarte w tabeli 1.

Instalacje badawcze PZW w Polsce

Wiele polskich kopalni zlokalizowanych na obszarze Górnego Śląska posiada liczne zasoby węgla kamiennego, których wydobycia zaniechano z przyczyn technicznych, gospodarczych lub ze względów bezpieczeństwa. W takich przypadkach zastosowanie technologii podziemnego zgazowania węgla umożliwiłoby dalszą ekstrakcję pokładów węgla.

Główny Instytut Górniczo-energetyczny od 2007 roku uczestniczy w badaniach procesu PZW, koordynując realizację dwóch projektów badawczych HUGE i HUGE 2 (ang. Hydrogen Oriented Underground Coal Gasification for Europe), współfinansowanych przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali. W ramach projektów zostały przeprowadzone wielodobowe próby zgazowania węgla w kopalni doświadczalnej „Barbara” w Mikoł-

Kryterium kwalifikacji	Charakterystyka
Typ węgla	od płomienno- do antracytu
Właściwości fizykochemiczne	duża zawartość części lotnych, słaba zdolność spiekania lub jej brak
Głębokość zalegania	wzrost kosztów wytworzonego gazu wraz ze wzrostem głębokości
Grubość pokładu	powyżej 1 m
Kąt nachylenia pokładu	dowolny
Rodzaj i szczelność górotworu	zwięzłość i szczelność górotworu, grubość i litologia górotworu – nakład warstw słabo przepuszczalnych (gliny, ropy, łupki)
Warunki hydrogeologiczne	brak szczelin, uskoku, warstw wodonośnych, zbiorników wodnych powodujących dopływ wód
Tektonika złoża	jednorodność złoża (brak szczelin, uskoku)
Wielkość zasobów	kryterium opłacalności
Obecność metanu w złożu	zagrożenie gazowe
Warunki infrastruktury	brak zabudowy

Tabela 1. Lista kryteriów jakie powinny spełniać złoża węgla poddawane podziemnemu zgazowaniu [11].

wie. Ostatnią próbę przeprowadzono pomiędzy 01.08 – 07.08.2013 roku. Proces zgazowania składał się z dwóch etapów i trwał wówczas 142 godzin, podczas których udało się zgazować ponad 5364 kg węgla, zużywając średnio 37,8 kg/h [12].

Pierwszy etap procesu trwał 101 godzin i rozpoczął się zapaleniem węgla i stabilizacją pracy podziemnego georeaktora. Następnie, w ciągu kolejnych 41 godzin rejestrowano zawartości poszczególnych składników otrzymywanego gazu. Z uwagi na podwyższone zawartości gazów tworzących z powietrzem mieszanki wybuchowe eksperyment został przerwany, poprzez zaprzestanie dozowania czynnika zgazowującego (głównie tlenu). W celu wentylacji i ochłodzenia georeaktora doprowadzono inertny azot i kontrolowano pomiar ilości spalin oraz temperatury w georeaktorze. Po 30 dniach warunki panujące w georeaktorze powróciły do wartości początkowych zarejestrowanych przed próbą zgazowania.

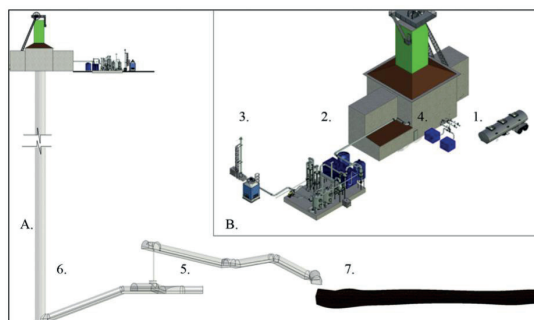
Średnia wartość opałowa otrzymanego w eksperymencie gazu wynosiła 8,91 MJ/Nm³. Za-

wartości poszczególnych składników w otrzymanym gazie zostały zestawione w tabeli 2.

Etap	Średnie zawartości poszczególnych składników gazu [% v/v]							
	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	H ₂ S	CO ₂	N ₂	O ₂
I 0-101 h	42,17	37,74	2,50	0,07	0,27	15,53	1,34	0,38
II 101-142 h	21,87	17,41	2,34	0,14	0,05	14,39	41,27	2,53

Tabela 2. Skład gazu otrzymanego w procesie podziemnego zgazowania węgla w kopalni doświadczalnej „Barbara” [% v/v], [12].

Wyniki przeprowadzonych badań, jak też doświadczenia zdobyte w czasie tego eksperymentu posłużyły do opracowania koncepcji i projektu oraz budowy instalacji pilotowej zlokalizowanej w KWK „Wieczorek” w Katowicach. Schemat instalacji PZW zawierający układ całościowy instalacji oraz obiekty znajdujące się na powierzchni przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Schemat instalacji podziemnego zgazowania węgla w kopalni „Wieczorek”: A - pogląd całej instalacji; B - obiekty powierzchniowe; 1 – dostawa czynników zgazowujących, 2 – instalacja oczyszczania gazu, 3 – płomień pochodni, 4 – szyb kopalniany, 5 – podziemny chodnik badawczy, 6 – podziemne nitki rurociągów, 7 – złożo węglowe [13].

Proces zgazowania przebiegał w pokładzie węgla nr 501 na głębokości 464 m. Georeaktor został wykonany przez odwierty trzech podziemnych otworów w łupkach gliny i pokładach węgla, z których jeden stanowił kanał o średnicy 200 mm doprowadzający czynnik zgazowujący. Otwór o średnicy 300 mm miał za zadanie doprowadzenie otrzymanego

w procesie gazu na powierzchnię. Czynnik zobojętniający w postaci inertnego azotu został doprowadzony do georeaktora poprzez odwiert o średnicy 100 mm [13].

W celu zapalenia georeaktora posłużono się ładunkiem pirotechnicznym, który umieszczono w pobliżu otworu doprowadzającego czynniki zgazowujące oraz otworu odprowadzającego gazowy produkt reakcji. Przez kanał doprowadzający zadozowano mieszaninę powietrze/tlen w ilości 710 m³/h powietrza oraz 45 m³/h tlenu.

Inicjację procesu uznano za zakończoną kiedy zawartość tlenu w otrzymanym gazie wyniosła mniej niż 1%, a jego wartość opałowa przekroczyła wartość 3 MJ/m³. Warunki te zostały spełnione po pięciu godzinach od momentu rozpoczęcia eksperymentu.

Poszczególne etapy procesu podziemnego zgazowania węgla przeprowadzone w KWK „Wieczorek” zostały zestawione w tabeli 3.

Tabela 3. Etapy podziemnego zgazowania węgla przeprowadzanego w kopalni KWK „Wieczorek” [13].

Etap	Czynnik zgazowujący	Przedział czasowy procesu gazyfikacji [h]	Czas [h]
I	Powietrze + tlen	0 – 193	193
II	Powietrze	193 – 888	695
III	Powietrze + dwutlenek węgla	888 – 1008	120
IV	Powietrze	1008 – 1181	173
V	Powietrze + azot	1181 – 1343	162
VI	Azot	Gaszenie i chłodzenie	
Sumaryczny czas trwania procesu [h]			1343

Faza pierwsza obejmowała inicjację procesu poprzez zapalenie pokładu węgla przy użyciu wzbogaconego w tlen powietrza. W tym etapie procesu badano optymalne warunki oczyszczania powstałego produktu gazowego oraz określano bezpieczny zakres stosowanych ciśnień roboczych. W etapach II-IV badano warunki prowadzenia procesu, kondensacji wody oraz produkcji smoły. W fazie III procesu badano wpływ dodatku dwutlenku węgla do czynnika zgazowującego na warunki procesu. Zawartość CO₂ w czynniku zgazowującym utrzymywano w zakresie od 6-16,5% objętościowych. Etap IV procesu wiązał się z koniecznością ponownego ogrzania georeaktora wychłodzonego wskutek uprzednio zastosowanego CO₂. Na tym etapie doprowadzany czynnik zgazowujący w postaci powietrza był doprowadzany w ilości 530 m³/h. V etap procesu wiązał się ze zwiększeniem ilości dozowanego azotu, którego dostarczenie do georeaktora inicjowało proces chłodzenia i prowadziło do zakończenia eksperymentu. Zmiany przepływów poszczególnych gazów w trakcie prowadzonego eksperymentu zostały zilustrowane na rysunku 5.

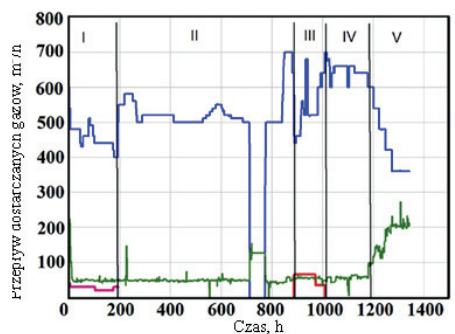




- INDUSTRIAL GAS FURNACES AND BURNERS,
- POURING AND BOTTOM POURING LADLE PREHEATING UNITS
- INCINERATORS AND THERMAL OXIDIZERS.

APGAZ Co. Ltd.,
INDUSTRIAL GAS TECHNOLOGIES
62-002 Suchy Las, ul. Sprzeczna 27 Poland
apgaz@apgaz.pl, +48 61 8720056

www.apgaz.pl



Rysunek 5. Przepływy poszczególnych gazów w czasie prowadzonego eksperymentu [13].

W wyniku eksperymentu trwającego około 90 dób otrzymano 230,5 ton węgla kamiennego i otrzymano produkt gazowy o wartości opałowej w zakresie od 3,2-4,7 MJ/m³.

Podsumowanie

Podziemne zgazowanie węgla jest metodą pozyskiwania energii z węgla bezpośrednio w miejscu jego zalegania poprzez doprowadzenie czynnika zgazowującego do złoża i odbiór otrzymanego gazu na powierzchni. PZW jest wymagającą technologią z uwagi na możliwość wystąpienia skażeń środowiska wskutek emisji do środowiska wydzielonych gazów oraz substancji organicznych. Jest to proces, którego zastosowanie jest bardzo złożone i trudne w realizacji w porównaniu do metod zgazowania w reaktorach powierzchniowych. Polska, jak również inne kraje europejskie są w posiadaniu złóż węgla kamiennego, których eksploatację zakończono z przyczyn technicznych bądź ekonomicznych. Chcąc wykorzystać te zasoby należy kontynuować badania nad nowoczesnymi technologiami ich pozyskiwania, takimi jak technologia podziemnego zgazowania węgla. Opanowanie technologii wytwarzania gazu w procesie podziemnego zgazowania węgla jest konieczne i wymaga dalszych prac badawczych.

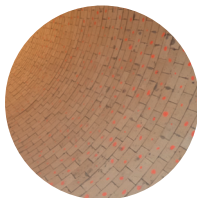
PIECOBUD



Przedsiębiorstwo PIECOBUD z siedzibą w Płocku od 25 lat świadczy szeroki wachlarz usług zarówno w zakresie inwestycji jak i remontów branży budownictwa ogniotrwałego oraz izolacji termicznych pieców i kotłów przemysłowych w każdej gałęzi przemysłu na terenie całego kraju oraz poza jego granicami.

PIECOBUD oferuje:

- ☞ Projektowanie,
- ☞ Dobór oraz dostawę niezbędnych materiałów
- ☞ Wykonawstwo,
- ☞ Nadzór nad realizacją projektu,
- ☞ Wyrzewanie,
- ☞ Prace serwisowe.



PIECOBUD to:

- ☞ Solidne partnerstwo,
- ☞ Dyspozycyjność,
- ☞ Dbłość o bezpieczeństwo,
- ☞ Jakość,
- ☞ Najwyższej klasy specjaliści.



Zapraszamy do współpracy!

PIECOBUD
09-411 Płock, ul. Zglenickiego 52 c

www.piecobud.com
e-mail: info@piecobud.com
tel. 24 366 04 40

