GÓRNICTWO I GEOLOGIA 2010
Tom 5 Zeszyt 1

Jan PALARSKI
Politechnika Śląska, Gliwice

POZYSKIWANIE METODAMI NIEKONWENCJONALNYMI ENERGII Z POZABILANSOWYCH POKŁADÓW WĘGLA Z UWZGLĘDNIENIEM OGRANICZENIA EMISJI CO_2

Streszczenie. W krajach Unii Europejskiej występują znaczne zasoby węgla kamiennego i brunatnego, których eksploatacja metodami tradycyjnymi jest nieopłacalna, a często wręcz niemożliwa. Biorąc pod uwagę istniejące zagrożenia dostaw surowców energetycznych, należy rozważyć możliwość lepszego wykorzystania własnych zasobów, w tym pozostawionych w zamkniętych kopalniach i występujących w złożach, które przy obecnym stanie technologii górniczej nie przewidziano do wydobycia. Tradycyjne technologie górnicze eksploatacji złóż węgla brunatnego i kamiennego oraz produkcji energii coraz częściej są przedmiotem krytyki z racji jawnej sprzeczności z wymaganiami polityki zrównoważonego rozwoju, a w szczególności w zakresie gospodarki złożem, ekologii i efektywności ekonomicznej. W związku z tym pojawiają się nowe wyzwania dla opracowania technologii pozyskiwania energii pośrednio lub bezpośrednio ze złóż węgla metodami jego termicznego lub biologicznego procesowania. Poniżej zostanie omówiona technologia podziemnego zgazowania węgla z uwzględnieniem zagadnień związanych z prowadzeniem procesu i oddziaływaniem na środowisko naturalne. Ponadto, zostaną zaprezentowane możliwości zastosowania tej metody do zgazowywania pozabilansowych pokładów węgla brunatnego i kamiennego występujących w Polsce.

UNCONVENTIONAL METHOD OF ENERGY EXTRACTION FROM UNMINEABLE COAL SEAMS WITH CO_2 STORAGE

Summary. Underground coal gasification is the thermal process of coal conversion into combustible syngas which can be used either as fuel for electricity generation or as a chemical feedstock. This technology allows the use of coal reserves that are currently uneconomical to mine with traditional methods.

UCG eliminates the need for coal mining, processing and construction of gasification reactors.

The major criteria that determines the success of a UCG project is site selection.

1. Wprowadzenie

Produkcja węgla na świecie ciągle rośnie. W roku 2008 wydobyto 5.845 milionów ton węgla kamiennego i ponad 950 milionów ton węgla brunatnego. Z węgla świat generuje około 42% energii elektrycznej. Węgiel jest więc podstawowym surowcem naturalnym, niestety nieodnawialnym, który umożliwia zaspokajanie podstawowych potrzeb człowieka, w tym głównie energetycznych.

Relatywnie niskie koszty wydobycia węgla, zwłaszcza w przypadku eksploatacji odkrywkowej, jego powszechna dostępność oraz bezpieczeństwo transportu i składowania, czynią z niego dominujący surowiec w produkcji energii elektrycznej i cieplnej, a w przyszłości może stać się także surowcem do masowej produkcji gazu syntezowego. Ponadto, jest wykorzystywany w przemyśle hutniczym, chemicznym i cementowniach oraz w gospodarstwach domowych.

Zasoby węgla występują w wielu regionach świata i są eksploatowane na wszystkich kontynentach, w ponad 70 krajach. Szacuje się, że przy obecnym poziomie produkcji węgla i stosowaniu tradycyjnych metod wydobycia zasoby operatywne starczą na około 122 lata. Niestety, w wielu krajach o bogatej tradycji górniczej, takich jak kraje Unii Europejskiej, wydobycie tego surowca nie jest obecnie możliwe lub może być realizowane w ograniczonym zakresie, gdyż zalega on w trudnych warunkach geologicznych i w rejonach objętych szczególną ochroną z racji istniejącej infrastruktury powierzchniowej, topografii terenu lub występującej flory i fauny. Ponadto, znaczna część zasobów węgla:

- występuje w pokładach o małej miąższości,
- posiada niską wartość opałową, duże zapopielenie i wysoką zawartość siarki i innych zanieczyszczeń,
- znalazła się w obszarach zamkniętych zakładów wydobywczych, gdzie wcześniej zlikwidowano infrastrukturę kopalń.

Dodatkowo w takich krajach, jak Słowacja, Węgry i Czechy eksploatowano w przeszłości grube pokłady węgla w taki sposób, że wybierano jedną warstwę pokładu, a resztę pozostawiano. Nawet obecnie przy eksploatacji węgla niskokalorycznego (sub-bituminous coal and lignite) pozostawia się ponad 10 m warstwy węgla w kopalniach słowackich i czeskich. Średnio w zamkniętej kopalni węgla na terenie ww. krajów pozostawiono od 25% do 70% udostępnionych zasobów węgla. Niestety, obecny stan konwencjonalnej technologii

górniczej nie pozwala w sposób bezpieczny dla górników i środowiska naturalnego oraz ekonomicznie opłacalny wydobyć tych zasobów.

Niestety, tradycyjne metody wydobycia i spalanie węgla stoją w sprzeczności z zasadami polityki zrównoważonego rozwoju, bowiem trudno w tym przypadku mówić o prowadzeniu w pełni racjonalnych działań w zakresie gospodarki zasobami naturalnymi i ochrony naturalnego środowiska. Dotychczas stosowane technologie górnicze pozwalają wydobyć zaledwie od kilku do kilkunastu procent zasobów bilansowych, a pozostawiony w górotworze węgiel w obszarze dawnej działalności górniczej będzie w większości przypadków niemożliwy do pozyskania w późniejszym okresie, jak to ma miejsce obecnie we wspomnianych wcześniej krajach. Procesom wydobywczym i przetwórczym węgla w energię lub inny surowiec dla różnych gałęzi przemysłu towarzyszy degradacja terenów górniczych, produkcja odpadów i zanieczyszczonych wód oraz emisja szkodliwych gazów do atmosfery, w tym CO_2. Ze wszystkich źródeł energii, niestety, węgiel ma największy udział w globalnej emisji CO_2 do atmosfery (41%) i według prognoz emisja ta będzie nadal wzrastać. Oczywiście współczesne górnictwo i energetyka kładą ogromny nacisk na ograniczenie tych uciążliwych zjawisk i angażują znaczne środki finansowe w procesy rekultywacyjne, odzysk odpadów i zmniejszenie emisji. Jednak współczesna, tradycyjna technika stopniowo modernizowana nie jest w stanie w pełni sprostać ciągle nowym wymaganiom, zwłaszcza ekologicznym i bezpieczeństwa pracy. Dlatego powstaje nowe wyzwanie zmuszające do dokonania w najbliższych latach rewolucyjnych zmian technologicznych, w miejsce praktykowanych obecnie starych praktyk górniczych, obejmujących swym zasięgiem całokształt procesów związanych z pozyskaniem i przetwarzaniem węgla.

Postęp prac badawczych i wyniki uzyskiwane na instalacjach pilotażowych i przemysłowych wskazują, że taką technologią może być podziemne procesowanie węgla, w wyniku którego powstaje gaz syntezowy. Procesowanie to może mieć charakter termiczny i nosi nazwę podziemnego zgazowania węgla lub odbywać się z wykorzystaniem specjalnych szczepów bakterii, zwane jest wówczas biogazyfikacją węgla *in situ.*

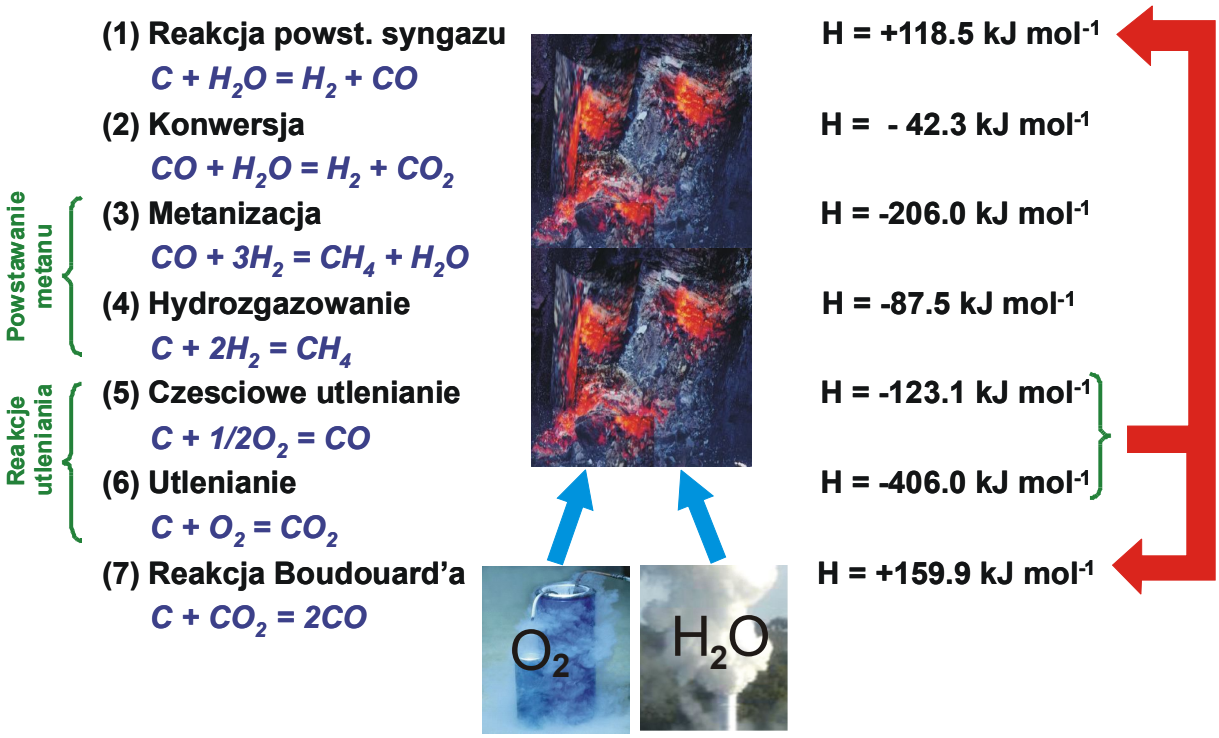
Prace badawcze na świecie nad niekonwencjonalnymi technologiami pozyskiwania węgla, a w szczególności jego zamianą bezpośrednio w złożu na gaz wraz z odzyskiem części energii cieplnej są bardzo zaawansowane. W publikacji wykorzystano część materiałów zaprezentowanych w referacie [2].

2. Podziemne zgazowanie węgla

2.1. Charakterystyka procesów chemicznych i termicznych

W literaturze zagranicznej i krajowej można spotkać wiele publikacji i referatów, w większości o charakterze popularyzatorskim, o podstawowych zasadach i możliwościach procesu podziemnego zgazowania węgla, jego historii, wynikach eksperymentów itd. Aby uniknąć kolejnych powtórzeń, w dalszej części artykułu główny nacisk zostanie położony na parametry procesu, propozycje nowych rozwiązań technologicznych oraz możliwości zastosowania tej metody w polskich złożach węgla brunatnego i kamiennego.

Podziemne zgazowanie węgla jako metoda bezpośredniej produkcji gazu pod ziemią znana jest już od drugiej połowy XIX w. Gaz, uzyskiwany w pierwszych eksperymentach na świecie, miał wartość opałową rzędu 3.5 – do nawet 11 MJ/m^3. Obecnie wartość ta przy zgazowaniu powietrzem z dodatkiem pary wodnej wynosi około 6 – 8 MJ/m^3, a w przypadku dozowania tlenu dochodzi do 14.5 MJ/m^3. Reakcje chemiczne towarzyszące procesowi zgazowania węgla obrazuje schemat przedstawiony na rys. 1.



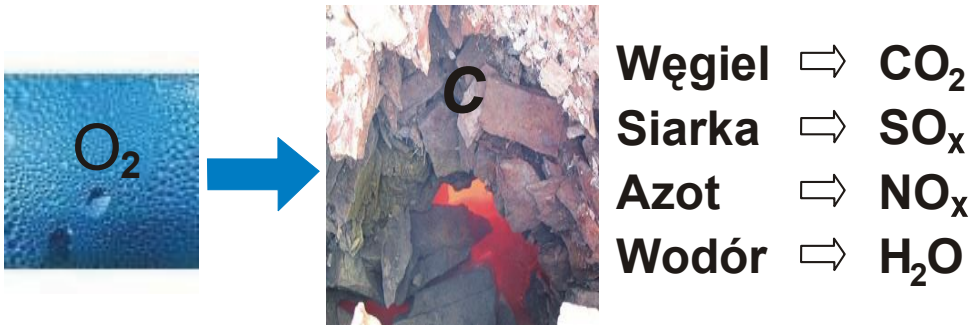
Rys. 1. Idea termicznego procesowania węgla i zachodzące reakcje chemiczne
Fig. 1. Fundamental reactions for coal gasification

Należy wyraźnie odróżnić proces spalania od zgazowania, które często w publikacjach są mylone, a niektóre eksperymenty i doświadczenia wcale nie prowadzą do wykazania, że

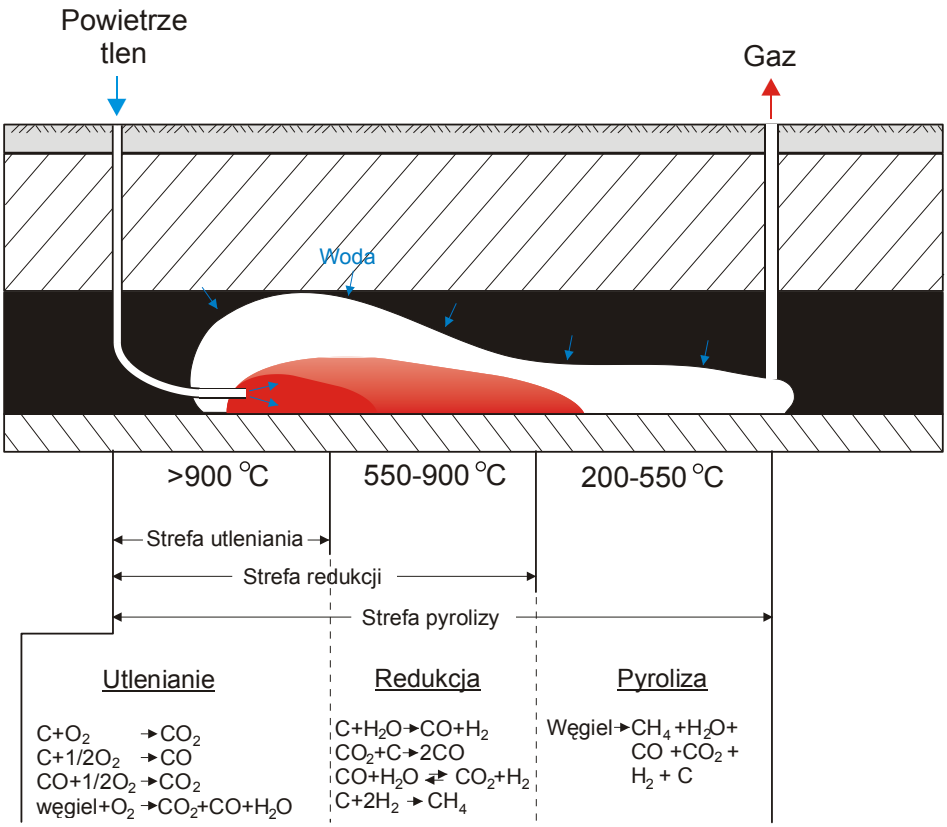
z węgla można produkować gaz syntezowy, tylko dowodzą znaną od wieków prawdę, że węgiel po prostu się pali.

Najogólniej metoda termiczna podziemnego procesowania węgla w złożu polega na poddaniu go działaniu wysokiej temperatury. W wyniku zachodzących procesów chemicznych zostaje zredukowana objętość węgla znajdującego się w pokładzie, co prowadzi do powstawania odkształceń górotworu – deformacji warstw nadległych i powierzchni terenu. Węgiel w trakcie oddziaływania na niego wysoką temperaturą ulega spalaniu, pirolizie lub zgazowaniu [1], a skały otaczające na skutek ich podgrzewania mogą pękać, topić się, a tym samym przemieszczać w kierunku powstającej wolnej przestrzeni po przereagowanym węglu, rys. 3.

Przez spalanie rozumie się szybko przebiegające reakcje utleniania, którym towarzyszy między innymi wyzwalanie się dużych ilości ciepła i gazów, głównie CO_2. W podziemnych kopalniach proces ten jest znany jako niepożądane zjawisko pożarów węgla bezpośrednio w pokładzie lub w zrobach. Procesowi temu towarzyszy ponadto powstawanie gazów, których skład i ilość zależą między innymi od ilości i jakości palącego się węgla, warunków panujących w ognisku pożarowym (ilość tlenu, pary wodnej, temperatura, …) i stadium rozwoju pożaru. Podstawowe przemiany chemiczne zachodzące w trakcie spalania węgla zostały zaprezentowane na rys 2, a podczas podziemnego zgazowania w powiązaniu z temperaturą procesu na rys. 3.



Rys. 2. Uproszczony opis procesu spalania węgla
Fig. 2. Coal combustion process



Rys. 3. Przemiany chemiczne w powiązaniu z temperaturą zachodzące podczas zgazowania podziemnego węgla
Fig. 3. Zones in underground generator – chemical reactions

Z węgla pod wpływem temperatury uwalniają się pewne substancje gazowe, wówczas proces ten nazwany jest - odgazowaniem. W trakcie tego procesu powstają części lotne oraz pozostałości masy węglowej – koks, popiół, żużel i substancje smoliste. Części lotne zawierają dwutlenek węgla, metan, azot, tlenek węgla, wodór, inne gazy i ciężkie węglowodory. W temperaturze otoczenia węglowodory skraplają się tworząc substancję smolistą.

Natomiast przez pirolizę węgla rozumie się proces termicznej degradacji cząsteczek. Zachodzi on często równolegle podczas podgrzewania substancji węglowej, gdy następuje odgazowanie, a w dalszej kolejności rozkład wytworzonych gazów na węglowodory prostsze. Właściwa piroliza odbywa się bez dostępu tlenu, przed spalaniem części lotnych i pozostałości koksowej.

Przez podziemne zgazowanie (gazyfikację) węgla - precyzyjniejsza nazwa: podziemne termiczne procesowanie węgla - rozumie się proces termicznego przekształcania węgla w gaz działając między innymi tlenem, powietrzem oraz tlenem i parą wodną na surowiec mineralny znajdujący się w górotworze. Proces ten z racji, że zachodzi pod ziemią, jest trudny do kontroli i łatwo może przekształcić się w pożar pokładu węgla lub produkcję niskiej jakości

gazu, z powodu spalania większości produktów odgazowania i pirolizy, tzw. gaz kominowy. Generalnie, w trakcie termicznego procesowania węgla pod ziemią w tzw. georeaktorze produkowany jest gaz o zmiennym składzie i wartości opałowej w zależności od użytego czynnika zgazowującego, temperatury procesu i rodzaju węgla, tablica 1.

Tablica 1

Skład chemiczny gazu syntezowego z procesu podziemnej gazyfikacji węgla z użyciem tlenu*

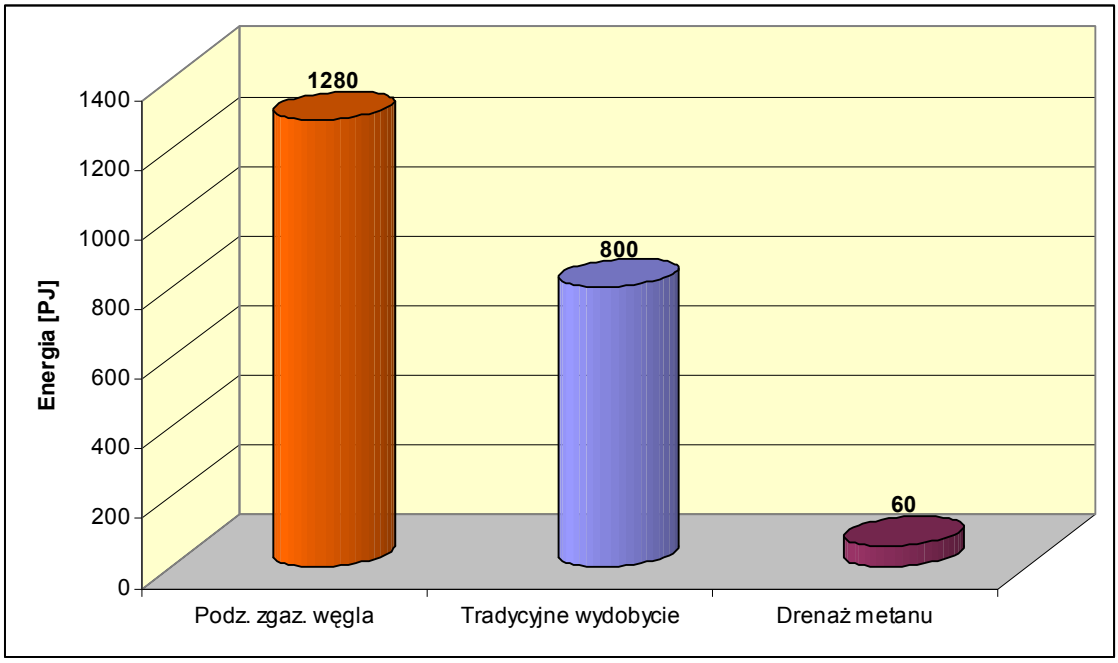
Skład chemiczny gazu (%)						**Kaloryczność gazu**	**Ilość gazu z 1kg węgla**
Rodzaj węgla	**H_2**	**CO**	**CH_4**	**CO_2**	**N_2**	MJ/m^3	m^3/kg
Węgiel brunatny	33-45	20-35	1-10	20-35	1-3	8.5–11.5	1.2–2.3
Węgiel kamienny	35-45	25-35	2-8	25-30	1-3	9.5-14.8	1.9–2.5
Węgiel kam. zgazowany w generatorze pow.	25-30	30-60	0-5	5-15	0.5-4	>14	>2.5

Inne produkty zgazowania: H_2O: 2 – 30%, H_2S: 0.2 – 1%, COS: 0 - 0.1%, Ar: 02 – 1%, NH_3 + HCN: 0 – 0.3%, popiół, żużel i inne produkty stałe.

*Dane zaczerpnięte z wyników dotychczasowych eksperymentów polowych

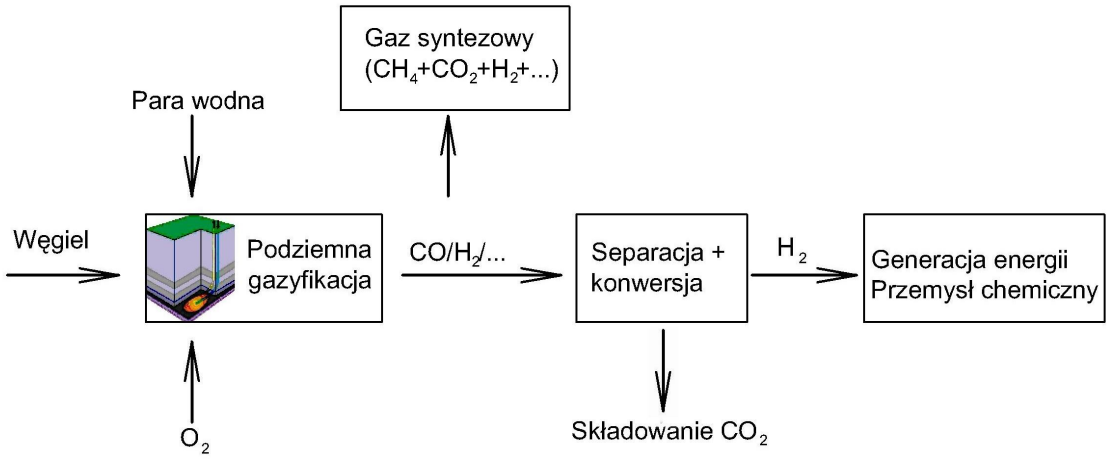
Jak więc widać, proces zgazowania w georeaktorze przebiega według podobnych reakcji jak w powierzchniowym generatorze zgazowania. Dodatkowo, pod ziemią mogą zachodzić niekontrolowane reakcje chemiczne z niektórymi substancjami znajdującymi się w węglu kamiennym i brunatnym oraz skałach otaczających. Ponadto, do generatora podziemnego mogą być wprowadzane stałe lub gazowe związki chemiczne w celu podwyższenia wartości opałowej i/lub uzyskania odpowiedniego składu chemicznego produkowanego gazu.

Dotychczasowe analizy ekonomiczne wykazują znacznie niższe nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne niż w przypadku tradycyjnych technologii wydobycia i zgazowania w generatorze powierzchniowym. Ponadto, stopień wykorzystania energii zawartej w węglu jest także wyższy niż przy konwencjonalnym wydobyciu i spaleniu w elektrowni, rys. 4.



Rys. 4. Energia możliwa do odzyskania z obszaru o zasobach węgla 120 mil. t i zawartości metanu $5m^3/t$ (Dane liczbowe: www.carbonenergy.com.au)
Fig. 4. Energy extraction by methods for coal reserves 120 million tones with methane content $5m^3/t$ (www.carbonenergy.com.au)

Proces gazyfikacji podziemnej nie musi się kończyć na produkcji gazu syntezowego. Gaz ten może być poddany dalszemu procesowaniu w naziemnym reaktorze, w którym gaz „syntezowy-resztkowy", jaki pozostał po oddzieleniu lub nie wodoru, jest wzbogacany parą wodną w reakcji katalitycznej na płynnym metalu w celu dalszej konwersji na wodór i CO_2, rys. 5.



Rys. 5. Idea konwersji gazu syntezowego na powierzchni
Fig. 5. Syngas conversion process

Ogólnie mówiąc, efektywność podziemnego zgazowania zależy od parametrów geologicznych i zastosowanej technologii prowadzenia procesu. W fazie wyboru lokalizacji

georeaktora, projektowania i prowadzenia procesu oraz likwidacji miejsca podziemnego zgazowania należy mieć na uwadze następujące czynniki:

- parametry geologiczne zalegania złoża, a w szczególności grubość, nachylenie i głębokość pokładu węgla, rodzaj skał otaczających oraz przepuszczalność gazową i wodną skał i węgla,
- tektonikę górotworu i układ warstw, w tym występowanie innych wyżej leżących pokładów węgla w bezpośrednim sąsiedztwie przewidzianego do zgazowywania pokładu,
- lokalizację warstw wodonośnych i izolacyjnych oraz wilgotność skał i węgla,
- parametry geomechaniczne skał nadkładu i węgla, z punktu widzenia odkształceń termicznych i mechanicznych oraz techniki wiertniczej,
- parametry chemiczne i fizyczne węgla,
- sposób udostępnienia złoża do procesowania, rozmieszczenie otworów wiertniczych i ich rodzaj – pionowe, nachylone i kierunkowe,
- istniejące i projektowane zagospodarowanie powierzchni terenu, prawne ograniczenia wynikające z przepisów bezpieczeństwa, ochrony zabytków i przyrody oraz prawa geologicznego i górniczego,
- rodzaj iniekcji (o stałym i zmiennym ciśnieniu, z jednym czynnikiem zgazowującym lub kilkoma wtłaczanymi na przemian, np.: tlen i para wodna), stosowane ciśnienie, ilość i skład wtłaczanego medium,
- wymagania jakościowe i ilościowe dla produkowanego gazu,
- efektywność termiczną, chemiczną i ilość przereagowanego węgla,
- oddziaływanie na środowisko, a w szczególności niekontrolowana migracja gazu, zanieczyszczenie wód podziemnych, deformacje powierzchni terenu i racjonalna gospodarka złożem,
- możliwość iniekcji (składowania) gazów cieplarnianych i wtłaczania odpadów.

Istotnymi parametrami jakościowymi węgla znajdującego się w pokładzie z punktu widzenia rozpatrywanego procesu są:

- stopień uwęglenia,
- zawartość i jakość popiołu,
- ilość części lotnych,
- zawartość wilgoci wewnętrznej,
- wytrzymałość, porowatość, przepuszczalność oraz pęcznienie,
- zawartość siarki.

Wymienione powyżej czynniki mają istotny wpływ na ilość i jakość produkowanego gazu, stopień wykorzystania węgla w pokładzie i efektywność ekonomiczną zgazowania. Sterowanie procesem jest utrudnione, ponieważ czynniki te wywierają pozytywny wpływ na jedne parametry i równocześnie negatywny na inne, równie ważne.

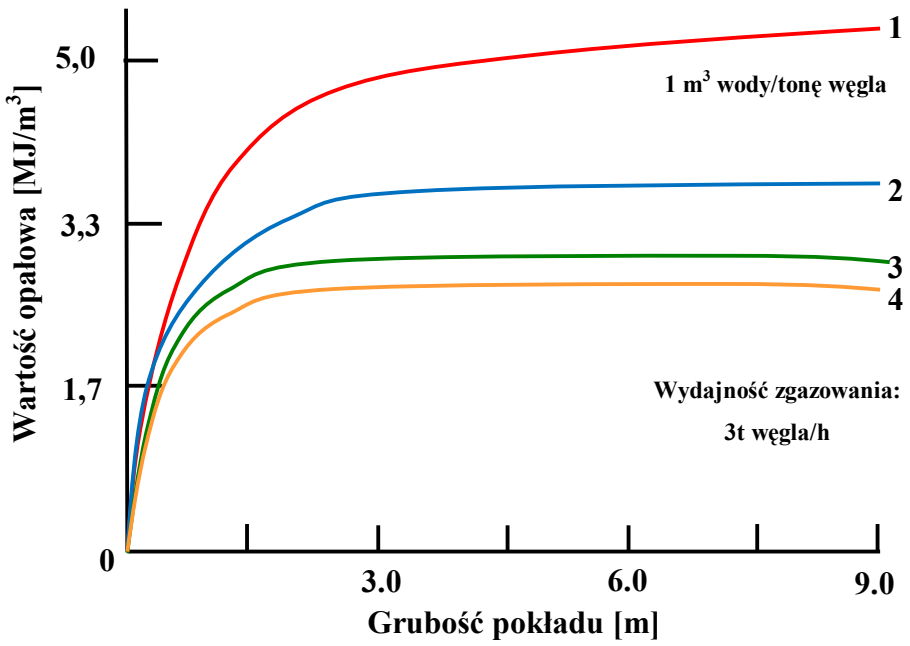
2.2. Wybrane parametry złoża

Większa głębokość zalegania pokładu węgla oznacza wyższe koszty jego udostępnienia, mniejsze zagrożenie kontaktu z wodami podziemnymi i małe deformacje powierzchni terenu oraz możliwość prowadzenia procesu przy wyższym ciśnieniu, co przekłada się na produkcję gazu o lepszej jakości i podwyższonym ciśnieniu. Gaz ten może być tłoczony bezpośrednio do turbin bez dodatkowego sprężania.

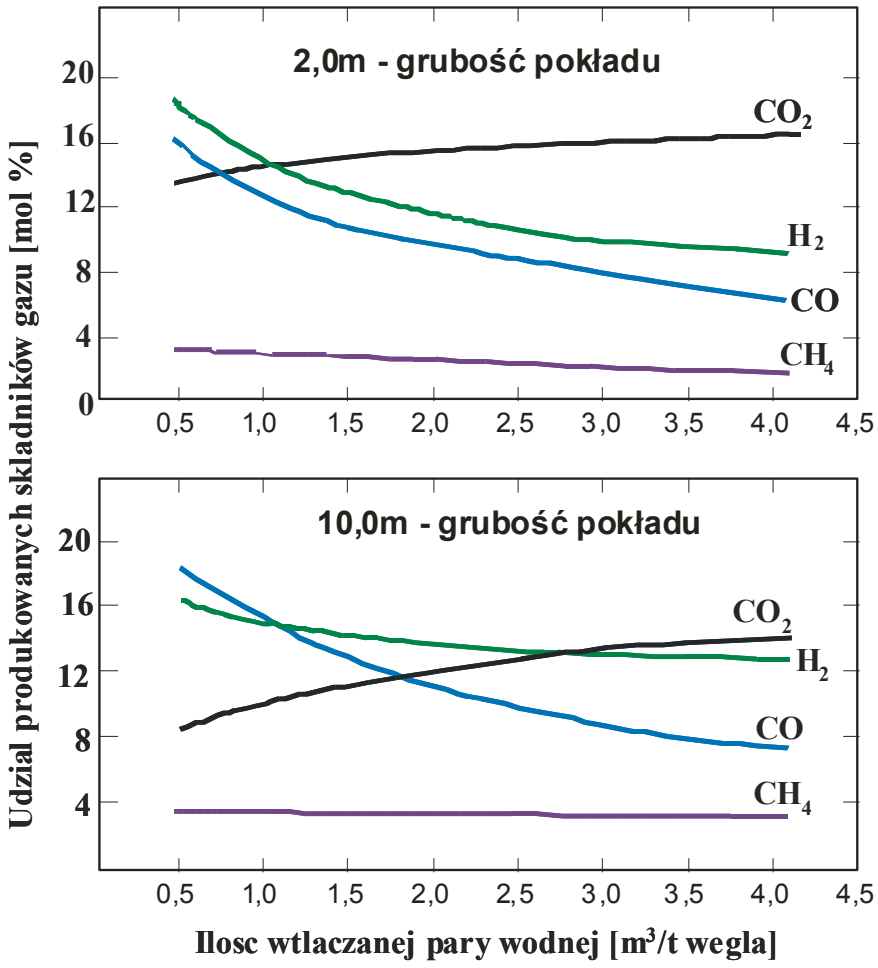
Prowadzenie zgazowania węgla jest łatwiejsze w nachylonym pokładzie niż poziomym. Strefa reakcji przemieszcza się w tym wypadku od dołu w górę i nie jest tłumiona przez powstający popiół, żużel czy substancje smoliste. Dodatkowo, węgiel w górnej części georeaktora ulega spękaniom na skutek działania wysokiej temperatury i ciśnienia górotworu, stąd zwiększa się migracja czynnika zgazowującego i powierzchnia reakcji.

Miąższość pokładu ma istotny wpływ na przebieg procesu. Ciepło w cienkim pokładzie jest bardzo szybko oddawane do skał otaczających, co uniemożliwia uzyskanie wysokich temperatur w georeaktorze i szybkie zanikanie procesu na skutek zawalania się silnie nagrzanych spękanych warstw stropowych. Dlatego przyjmuje się, że minimalna grubość pokładu węgla do zgazowania to 1.0 – 1.5 m, w zależności od własności węgla i skał otaczających oraz nachylenia pokładu. Doświadczenia laboratoryjne i polowe pokazują, że spadek grubości pokładu ma podobny wpływ na jakość produkowanego gazu jak wzrost ilości wody w pokładzie, rys. 6 i 7.

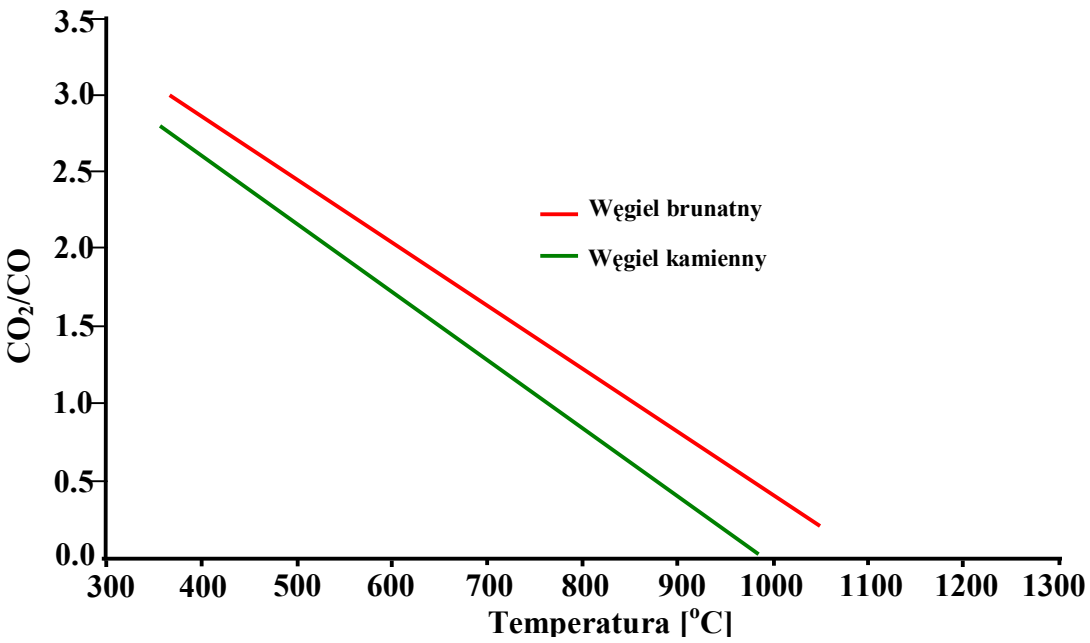
W procesie zgazowania istotne są temperatura i ciśnienie w georeaktorze oraz powierzchnia kontaktu z czynnikiem zgazowującym i powstającymi gazami, w szczególności z CO_2, ponieważ reaguje on z rozżarzonym węglem (reakcja Boduarda), a powstający CO podwyższa wartość opałową produkowanego gazu, rys. 8.



Rys. 6. Wpływ grubości pokładu i ilości wody na wartość opałową gazu syntezowego
Fig. 6. Coal seam thickness and water content vs caloric value of syngas



Rys. 7. Wpływ udziału wody w procesie zgazowania pokładów węgla o różnej grubości na skład produkowanego gazu
Fig. 7. Water intrusion and coal seam thickness vs syngas content



Rys. 8. Orientacyjny przebieg zmian stosunku CO_2/CO w zależności od temperatury i rodzaju węgla
Fig. 8. Ratio CO_2/CO vs temperature and coal quality (lignite and hard coal)

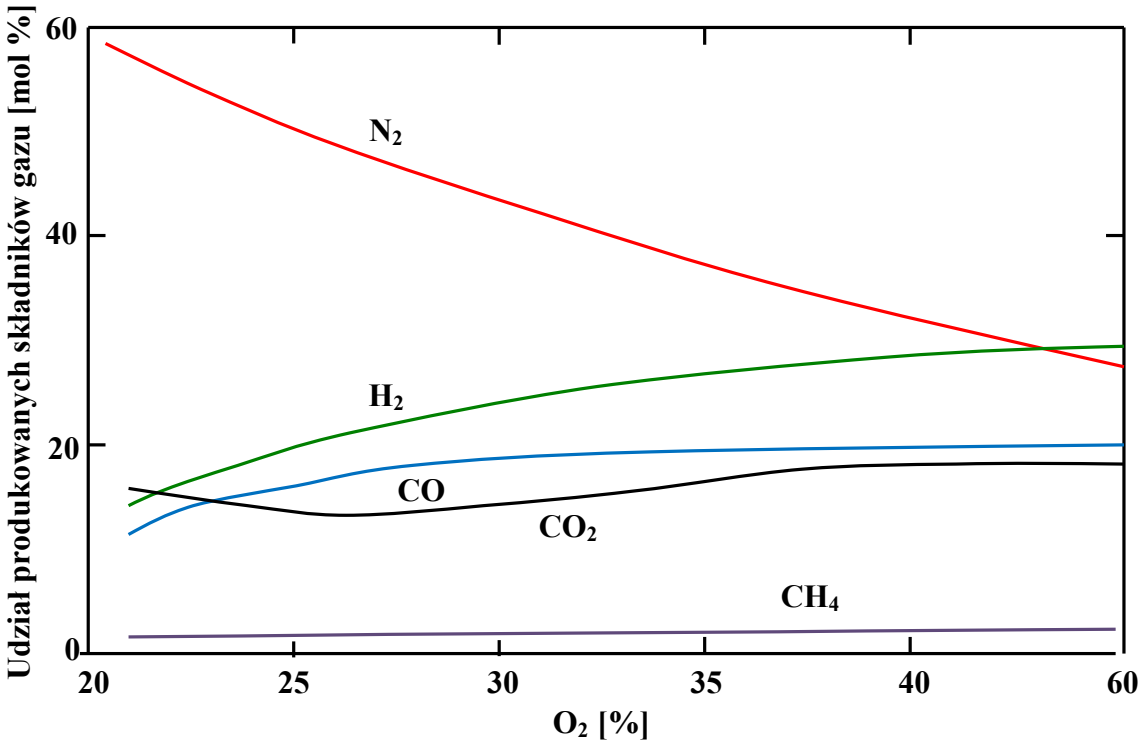
Powierzchnia reakcji zależy wtedy od metody prowadzenia procesu i ilości powstających spękań, przepuszczalności węgla i zawartości popiołu. W wielu przypadkach dla węgli zwięzłych niezbędne staje się szczelinowanie węgla lub wręcz rozkruszenie specjalnymi środkami wybuchowymi. Pomocny w procesach szczelinowania może być też sam metan, zaadsorbowany w węglu (lokalne eksplozje). Szczelinowanie i rozkruszanie węgla stanowi jeden z kluczowych czynników gwarantujących wysoką sprawność procesu. Istnieje wiele wypróbowanych metod szczelinowania, chronionych patentami. Należy jednak pamiętać, że obszar zgazowania, a więc sumaryczna powierzchnia reakcji nie może być też zbyt duża, gdyż wtedy łatwo traci się kontrolę nad procesem i może dojść do obniżenia temperatury gazów. Również zwiększona przepuszczalność węgla i skał może doprowadzić do ucieczek produktu zgazowania, a nawet pojawienia się wody dopływającej z górotworu do strefy zgazowania. Optymalne wymiary georeaktora można utrzymać stosując sukcesywne podsadzanie powstającej pustki, w wyniku przereagowania węgla. Do podsadzania należy wtedy używać materiałów odpadowych, zawierających katalizatory, umożliwiające wytwarzanie gazu syntezowego o podwyższonej jakości. Woda będąca nośnikiem materiału podsadzkowego jest wtedy źródłem pary do procesu. Prowadzenie podsadzania w tej technologii jest całkowicie odmienne od znanych technik wypełniania pustek górniczych przez otwory wiertnicze. Rozwiązanie równoczesnego podsadzania i zgazowania jest możliwe tylko przy specjalnej metodzie termicznego procesowania węgla, opisanej w dalszej części referatu.

2.3. Czynnik zgazowujący

W procesie podziemnego zgazowania węgla, jako głównych czynników zgazowujących, używa się powietrza, tlenu, mieszaniny tlenu i pary wodnej oraz rzadziej innych dodatków. Użycie tlenu zamiast powietrza pozwala:

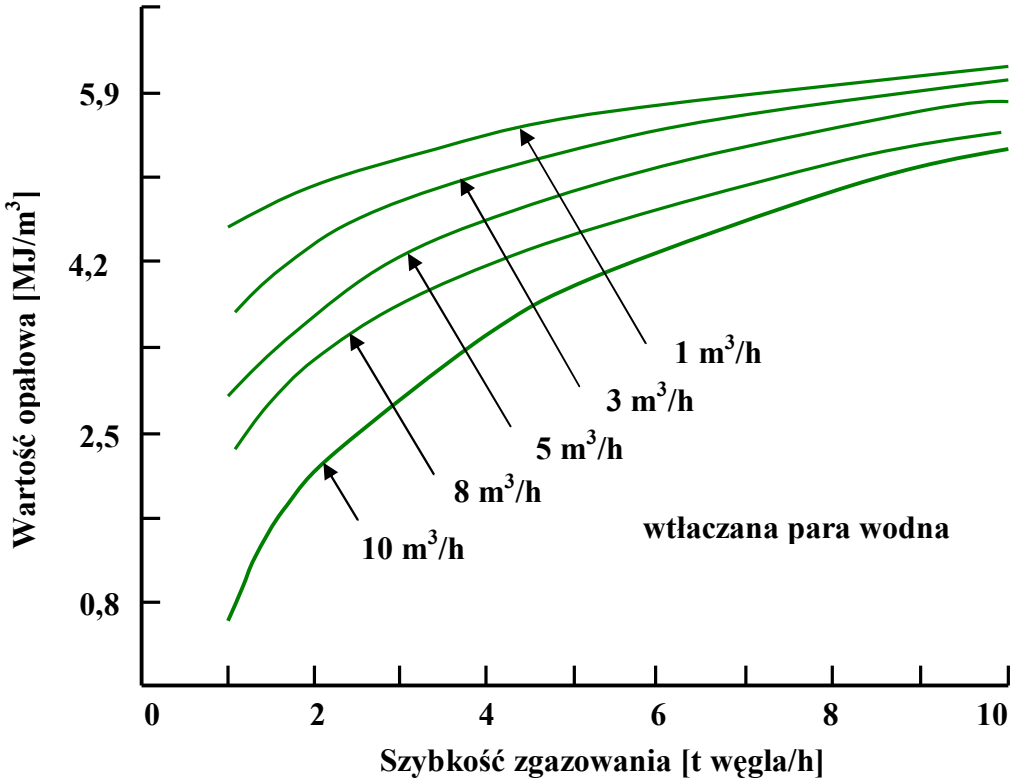
- uzyskać gaz o znacznie wyższej wartości opałowej, średnio 2- do 4-krotnie wyższej, dochodzącej nawet do 14 (najczęściej 11 - 12) MJ/m^3 ,
- poprawić w znacznym stopniu stabilność procesu,
- na nietłoczenie znacznych ilości czynnika.

W przypadku tłocznia tlenu należy wybudować stację jego produkcji w rejonie pola zgazowania. Rysunek 9 obrazuje wpływ ilości wtłaczanego tlenu na skład produktu zgazowania.



Rys. 9. Orientacyjne krzywe koncentracji komponentów gazowych w produkowanym gazie w zależności od ilości wtłaczanego tlenu
Fig. 9. Syngas composition vs oxygen content

Szybkość procesu zgazowania zależy od wielu czynników, między innymi od jakości węgla, temperatury oraz rodzaju i ciśnienia medium zgazowującego. Generalnie, ze wzrostem ilości przereagowanego węgla w jednostce czasu i spadkiem objętości wtłaczanej pary wodnej rośnie wartość opałowa gazu, rys. 10.



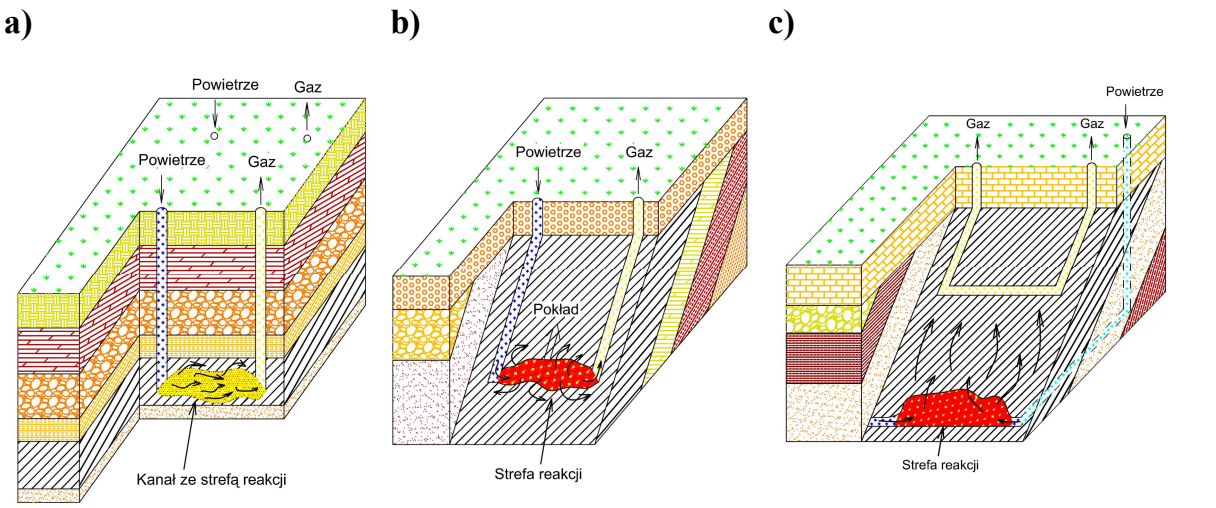
Rys. 10. Wartość opałowa produktu zgazowania w zależności od szybkości reakcji i ilości pary wodnej

Fig. 10. Caloric value of syngas vs gasification intensity and volume of steam injection

3. Metoda termicznego procesowania węgla in situ

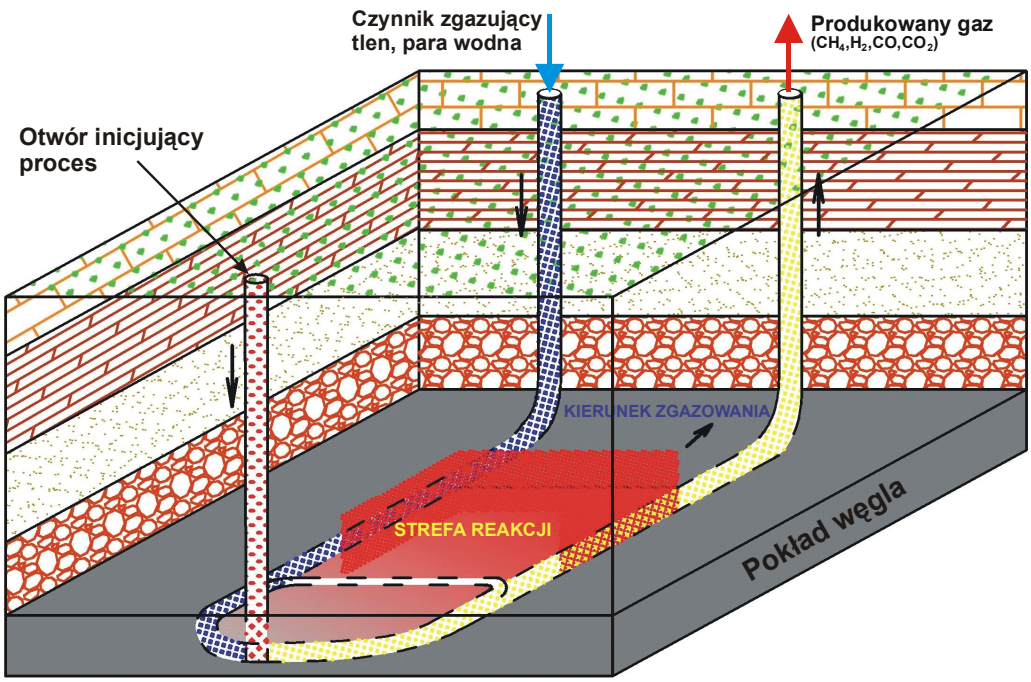
Termiczne procesowanie węgla *in situ* wymaga udostępnienia partii złoża przeznaczonej do zgazowania za pomocą otworów wiertniczych lub wyrobisk górniczych. To ostatnie rozwiązanie może być realizowane w przypadku prowadzenia zgazowania złoża w likwidowanej kopalni, stosującej tradycyjną eksploatację głębinową. Najczęściej w dotychczasowych eksperymentach, w skali przemysłowej, stosowano udostępnienie partii złoża za pomocą otworów pionowych połączonych w pokładzie wypalonym kanałem przepływowym, rys.10a. Jednym otworem wtłaczany jest czynnik zgazowujący, natomiast drugim otworem odbiera produkty zgazowania. Niestety, to rozwiązanie jest metodą, która nie gwarantuje ani kontroli procesu, ani też ciągłej produkcji gazu syntezowego o w miarę stałej jakości. Jest to metoda, która generalnie pokazuje, że węgiel pod ziemią można „zapalić" i przez pewien czas proces ten podtrzymywać uzyskując produkt gazowy. W miarę rozwijania się podziemnego ogniska pożarowego jakość uzyskiwanego gazu spada, a ognisko z czasem wygasa na skutek przemieszczenia się strefy ognia pod strop, bowiem tam wytwarza

się strefa spękań, a na spąg opada popiół, żużel, skały stropowe i substancje smoliste, izolując w ten sposób dopływ czynnika zgazowującego do przyspągowej warstwy pokładu. Projektanci takich rozwiązań zapominają, że większość węgli wykazuje własności pęczniejące, co częściowo blokuje ich przepuszczalność, dodatkowo ograniczaną jeszcze w wyniku zaklejania szczelin substancjami smolistymi niesionymi przez produkowany gaz. Technologia ta daje nieco lepsze rezultaty w przypadku udostępniania pokładów nachylonych, gdyż wtedy przereagowane resztki z węgla i opadające skały stropowe gromadzą się na dnie strefy reakcji, rys. 11b i c. Sytuację można nieco poprawić wykonując wcześniej szczelinowanie pokładu, które ma niestety w tych rozwiązaniach ograniczony zasięg.



Rys. 11. Tradycyjne metody zgazowania: a) metoda kanałowa, b) metoda opływowa w pokładzie nachylonym, c) metoda filtracyjna
Fig. 11. Underground coal gasification methods: a) channel method, b) channel method in steep seam, c) filtration method

Dopiero ostatnie eksperymenty z zastosowaniem otworów kierowanych umożliwiły lepszą kontrolę procesu, chociaż nadal zasada działania georeaktora nie różni się od idei kanałowej, rys. 12. W tym przypadku uzyskuje się gaz o nieco wyższej i w miarę stałej wartości opałowej.

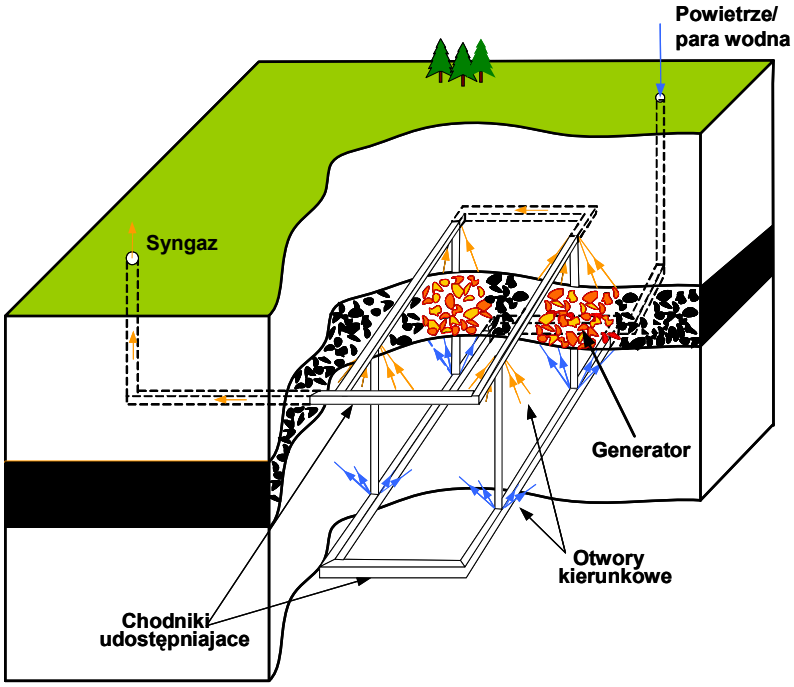


Rys. 12. Metoda podziemnego zgazowania węgla z wykorzystaniem otworów kierowanych
Fig. 12. UCG method with directional wells and ignition well

Warte rozpowszechnienia są dwie inne metody, które gwarantują między innymi:

- stałą kontrolę i produkcję jednorodnego gazu syntezowego, dzięki wytworzeniu ciągu tunelowego dla mieszania się gazów wydzielanych z poszczególnych stref zgazowania,
- wysoki stopień wykorzystania złoża,
- bardzo dobrą jakość produkowanego gazu,
- odbieranie ciepła z georeaktora,
- prawie całkowite wyeliminowanie zagrożeń dla środowiska.

Pierwsza metoda dotyczy zastosowania termicznego procesowania partii złoża węgla zalegającego w grubych pokładach, udostępnianych ze skał otaczających od strony spągu i stropu [1]. Złoże może być udostępnione za pomocą wyrobisk górniczych i otworów wiertniczych (rys.13) lub w podobny sposób przez wykonanie wyłącznie kierowanych otworów wiertniczych.

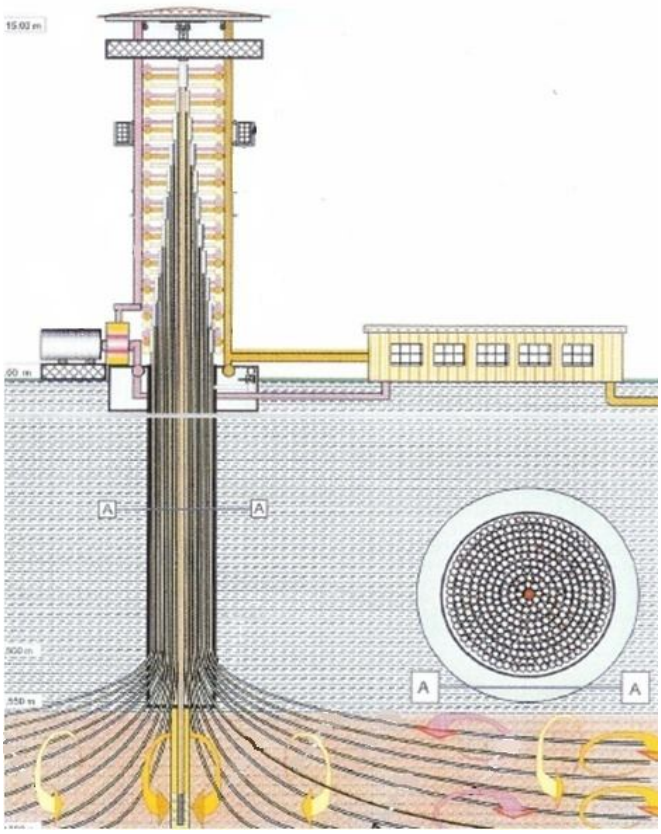


Rys. 13. Metoda podziemnego zgazowania węgla zalegającego w grubych pokładach
Fig. 13. UCG in thick coal seams

Pierwsze rozwiązanie, z wyrobiskami, zalecane jest do zastosowania w likwidowanych kopalniach, w których pozostawiono resztki grubych pokładów. Proces zgazowania prowadzi się wówczas od spągu do stropu w udostępnionym bloku pokładu, podobnie jak w generatorze powierzchniowym. Czynnik zgazowujący dopływa przez otwory spągowe, a produkty reakcji odprowadzane są przez otwory wykonane w skałach stropowych. Poza wymienionymi zaletami opisanego rozwiązania metoda ta charakteryzuje się tym, że rury doprowadzające czynnik zgazowujący i odprowadzające gaz syntezowy nie znajdują się bezpośrednio w strefie najwyższych (krytycznych) temperatur. W związku z tym nie ma potrzeby stosowania rur wykonanych ze specjalnych materiałów odpornych na wysokie temperatury. Po zgazowaniu węgla powstałą pustkę można podsadzić materiałami odpadowymi, a nawet składować w niej, w przypadku korzystnych warunkach geologicznych, CO_2. Dodatkowo, w trakcie procesu zgazowania można wtłaczać CO_2, co pozwoli na jego utylizowanie przez nasycanie pokładu węgla i wchodzenie w reakcje z tlenem (reakcja Boudouarda). Ponadto, iniekcja CO_2 przyczyni się do wypierania metanu z pokładu oraz do ograniczenia ucieczek tlenu i innych gazów do otaczającego górotworu. Metoda ta z wykorzystaniem wierceń kierowanych może między innymi znaleźć zastosowanie w termicznym procesowaniu grubych pokładów węgla brunatnego.

Druga metoda, znana pod nazwą Super Daisy Shaft, wymaga udostępnienia złoża za pomocą otworu wielkośrednicowego, z którego w złożu wykonuje się promieniście otwory

kierunkowe. Otwory te służą zarówno do iniekcji czynnika zgazowującego, odbioru produkowanego gazu syntezowego, jak i odprowadzania nadmiaru ciepła. Metoda ta, poza produkcją gazu, pozwala na odzysk z procesu części energii cieplnej. Otwory kierowane wymagają stosowania specjalnych rur, odpornych na wysokie temperatury, i umożliwiających zarazem wprowadzanie w jednej kolumnie czynnika zgazowującego, odprowadzanie gazu i wody. Zgazowanie, strefa ognia, przemieszcza się po okręgu i w miarę tworzenia wolnych pustek następuje podsadzanie materiałem odpadowym, specjalnie dobranym i spełniającym równocześnie rolę katalizatora. Wtłaczane dodatkowo do georeaktora CO_2 odgrywa podobną rolę jak w poprzedniej technologii. Metoda ta jest najnowocześniejszym rozwiązaniem w tej dziedzinie i gwarantuje teoretycznie dostęp do dowolnego miejsca w pokładzie i pełną kontrolę termicznego procesowania węgla, rys. 14.



Rys. 14. Metoda podziemnego zgazowania węgla – Super Daisy Shaft (wg B. Żakiewicza)
Fig. 14. UCG method – Super Daisy Shaft

4. Wnioski

1. Tradycyjne technologie górnicze stosowane w górnictwie węglowym umożliwiają wydobycie jedynie od kilku do kilkunastu procent zasobów bilansowych.

2. Dotychczas praktykowane w eksperymentach polowych technologie termicznego procesowania węgla są metodami produkującymi tylko tzw. gaz kominowy, a nie gaz syntezowy.
3. Osiągnięcia w technice wiertniczej w zakresie szeroko rozumianych wierceń kierowanych pozwalają na realizację nowych, w pełni kontrolowanych technologii podziemnego termicznego procesowania węgla, w wyniku którego otrzymuje się wysokiej jakości gaz syntezowy i odzyskuje nadwyżkę ciepła z procesu, np.: metoda Super Daisy Shaft.
4. W Polsce istnieją realne szanse i możliwości wprowadzenia na skalę przemysłową podziemnego zgazowania węgla kamiennego i brunatnego.

BIBLIOGRAFIA

1. Palarski J.: Gas und Energietransport bei vertikal ablaufender Untertagevergasung von Kohle. Gluckauf- Forschungshefte 44. 1983. H.4.
2. Palarski J. i in.: Koncepcja eksploatacji złóż węgla brunatnego z zastosowaniem technologii zgazowania termicznego. Materiały z XVIII Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2009.
3. www.carbonenergy.com.au

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Józef Dubiński

Abstract

In European Union countries, there are significant unminable resources of hard coal and lignite. Therefore, there are new challenges for the development of the clean coal technologies, which allow to produce energy directly or indirectly from coal deposits. The UCG technology- underground coal gasification - is being seen as one of the most progressive clean coal processes to access deep and unminable coal reserves in Europe. This paper describes the UCG technology and then presents the detailed process and provides information on the potential impacts of UCG on ground water quality and the environment.