

Piotr CZAJA*, Jerzy KLICH**, Antoni TAJDUŚ*

Metoda pozyskiwania pierwotnych nośników energii ze złóż węgla kamiennego na drodze odmetanowania i zgazowania *in situ*

STRESZCZENIE. Bez względu na to, co wymyślą Urzędnicy Unii Europejskiej, świat rozwijał się będzie wedle scenariuszy zapisanych w mechanizmach Jego powstania i potwierdzonych historią jego przemian trwająca już bez udziału Człowieka miliardy lat. Paliwa kopalne są naturalnym rezerwuarem energii potrzebnej ludzkości. Fałszywe twierdzenia o szkodliwości dla rodzaju ludzkiego i dla ziemskiej planety, korzystania z paliw kopalnych sprawiają, że niektóre grupy ludności lokalnej, nie mając wszechstronnej wiedzy, są skłonne do protestów, a nawet do generowania konfliktów społecznych (Badera 2010), będących wyrazem niechęci do wydobywania jakichkolwiek kopalni. Na fali zwalczania tradycyjnych nośników energii podjęto próby zastąpienia ich energią z tzw. źródeł odnawialnych (OZE) ciągle udoskonalanych, ale też ciągle zbyt mało efektywnych. Poszukuje się też bardziej efektywnego wykorzystania paliw kopalnych przez wprowadzenie niekonwencjonalnych technologii pozyskiwania energii z klasycznych surowców energetycznych. Przy wysokich cenach nośników węglowodorowych (ropy i gazu) zgazowanie węgla tak naziemne jak też podziemne wydaje się być technologią innowacyjną zbieżną ze współczesnymi oczekiwaniami zarówno producentów energii, ale przede wszystkim obrońców środowiska. Znane dotychczas i ciągle badane technologie podziemnego zgazowania sprowadzają się do dwóch zasadniczych metod:

- bezszybowej – wiertniczej,
- szybowej z wykorzystaniem podziemnej infrastruktury istniejącej kopalni.

W niniejszej pracy zostanie zaprezentowana metoda mieszana szybowo-wiertnicza, za pomocą której proponować się będzie wydobywanie pierwotnych nośników energii (metanu i gazu syntezowego) ze złóż zalegających na dużej głębokości i z tego powodu zaliczonych do zasobów pozabilansowych.

* Prof. dr hab. inż., ** Dr hab. inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Metoda szybowa-wiertnicza nie może być traktowana jako alternatywa dla klasycznego wydobycia węgla, ale jako jego uzupełnienie i tańsze sięgnięcie po zasoby praktycznie leżące poza możliwościami technicznymi wydobycia metodą klasyczną, głównie ze względu na bardzo duże zagrożenia naturalne oraz wysokie koszty ich zwalczania.

SŁOWA KLUCZOWE: węgiel kamienny, odmetanowanie pokładu, podziemne zgazowanie węgla

Wprowadzenie

Podziemne zgazowanie węgla opanowane od strony chemicznej polega na częściowym wypaleniu złoża po to, aby pozyskane ciepło wykorzystać do przeprowadzenia wielorakich procesów chemicznych, jak częściowe utlenienie węgla pierwiastkowego do postaci tlenku węgla CO lub uwodornienie związków węgla doprowadzając do postaci węglowodorów jak metan, czy uzyskanie czystego wodoru. Mieszanina tych gazów wraz z obecnymi tlenkami azotu i dwutlenkiem węgla nosi nazwę syngazu i jest produktem zgazowania. Jakość wyprodukowanego gazu syntezowego zależy przede wszystkim od parametrów jakościowych zgazowywanego węgla oraz od sposobu zgazowania i wielu innych parametrów zastosowanej technologii.

W programie strategicznym ogłoszonym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju realizowany jest projekt strategiczny zatytułowany „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”, w ramach którego prowadzone są między innymi badania nad procesem podziemnego zgazowania węgla (PZW).

Dotychczasowe próby przeprowadzone na świecie wskazują raczej na umiarkowane możliwości zastosowania tej metody do produkcji surowców energetycznych na skalę masową. W obszarze tego zagadnienia naukowego ciągle trwają intensywne prace badawcze. Liderem w skali światowej jest niewątpliwie firma Linc Energy z Australii (Czaja i in. 2013), która na chwilę obecną prowadzi następujące prace:

- 1) w USA – projekty:
 - ✧ Wyoming (Powder River Basin),
 - ✧ Alaska (Cook Inlet/Interior).
- 2) w RPA i Botswanie (Exxaro)
- 3) w Chinach (GCL),
- 4) w Wietnamie – National Coal and Mineral Industries Group (VINACOMIN), gdzie podjęto próbę podziemnego zgazowania w basenie “Red River Delta” we współpracy z Japan’s Marubeni Corporation,
- 5) w Wielkiej Brytanii (UK Coal),
- 6) oraz w Polsce: projekt „Polanka–Wielkie Drogi” (PWD); obecnie prowadzi się wiercenia badawcze mające na celu dokładne rozpoznanie warunków i parametrów technicznych złoża analizowanych pod kątem możliwości zastosowania technologii Linc Energy.

Technologia Linc Energy testowana między innymi w Centrum Badawczym Chinchilla w Australii sprawdza się w tamtych warunkach – doskonałych dla tej technologii (Czaja i in. 2013). W Polsce nie uda się znaleźć takich warunków geologicznych i środowiskowych. Natomiast w polskim górnictwie węgla kamiennego, przy średniej głębokości eksploatacji przekraczającej już 700 m i powiększającej się rocznie o kilka metrów, potęgają się zagrożenia i rosną koszty jednostkowe tony wydobytego węgla.

Eksploatacja na głębokości przekraczającej 1000 m metodami klasycznymi będzie bardzo trudna i kosztowna, dlatego zespół badawczy AGH proponuje technologię hybrydową i kompleksową pozyskania pierwotnych nośników energii ze złóż węgla zalegających na dużej głębokości. Kompleksowość proponowanej metody polega na tym, że obecnie czynne kopalnie mogą wydłużyć czas swego funkcjonowania przez podjęcie prac nad wdrożeniem technologii odmetanowania i zgazowania węgla w pokładach zalegających na dużej głębokości.

W tym kontekście potrzebna jest odpowiedź na kilka pytań:

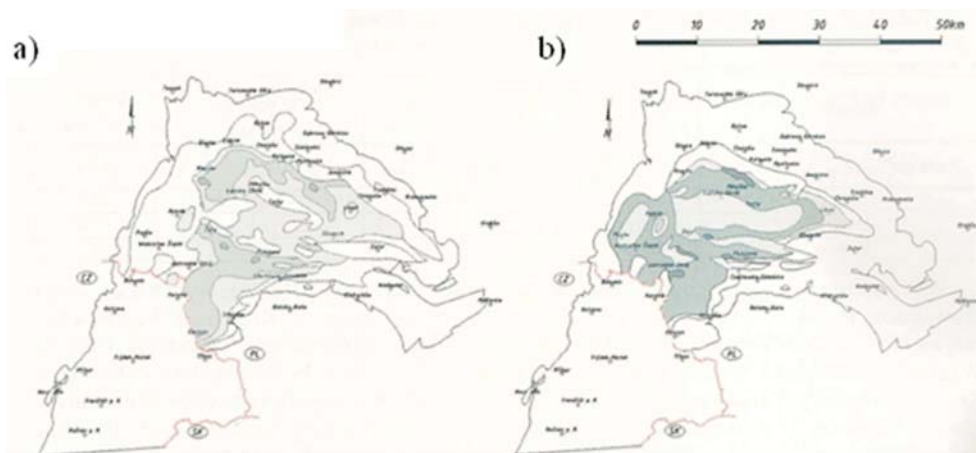
1. Czy w naszych zagłębiach węglowych posiadamy bazę zasobową na głębokości większej od 1000 m?
2. Jakie warunki geologiczne panują na tych głębokościach?
3. Jak kształtują się zagrożenia naturalne na dużych głębokościach?
4. Czy jest możliwa taka organizacja pracy zakładu górniczego, aby w sposób efektywny pod względem ekonomicznym i optymalnym technicznie wyeksploatować pokłady niedostępne dla klasycznej technologii górniczej?

1. Zasoby węgla kamiennego na głębokościach większych od 1000 m

Górnośląskie Zagłębie Węglowe znane jest każdemu Polakowi jako region niezwykle zasobny w węgiel i przemysł górniczy. W zagłębiu górnośląskim zlokalizowane są za wyjątkiem jednej wszystkie obecnie czynne kopalnie węgla kamiennego. Na całkowitej powierzchni Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wynoszącej w granicach Polski około 5600 km², złoża eksploatowane obecnie zajmują około 1106 km², co stanowi około 20% tej powierzchni (Szuflicki i in. 2013).

Około 23% powierzchni Zagłębia Górnośląskiego – to jest około 1291 km² – to obszary perspektywiczne, gdzie oszacowano zasoby występujące w strefie głębokości od 1000 do około 1300 m (Szuflicki i in. 2013). Według rocznego raportu PIG również znaczna część obszaru dotychczas nie eksploatowana zawiera złoża zalegające na głębokości większej od 1000 m.

Według (Proberz i in. 2012) w GZW zasoby prognostyczne w interwale głębokości 1000–1250 m wynoszą około 8060,6 mln t (w tym 4276,5 mln t węgla energetycznych oraz 3784,1 mln t węgla koksowych). Natomiast w interwale głębokości 1250–1300 m



Rys. 1. Występowanie zasobów węgla kamiennego na obszarze GZW na głębokości większej od 1000 m (Probierz i in. 2012)
 a) w przedziale głębokości 1000–1250 m, b) w przedziale głębokości 1250–1500 m

Fig. 1. Occurrence of hard coal resources in the Upper Silesian Coal Basin at depths greater than 1000 m
 a) at depths 1000–1250 m, b) at depths 1250–1500 m

udokumentowano 17 472,4 mln t węgla (w tym odpowiednio 14 880,3 mln t węgla energetycznych oraz 2592,1 mln t węgla koksowych). Obszary występowania złóż węgla kamiennego na głębokościach poniżej 1000 m (Probierz i in. 2012) prezentuje rysunek 1.

W odniesieniu do technologii podziemnego zgazowania węgla zalegających na dużej głębokości konieczne są szczegółowe badania indywidualne dotyczące poszczególnych złóż. W ramach realizowanego projektu rozpoznanie bazy zasobowej poczynione będzie w stosunku do kilku wybranych kopalń. Z literatury wynika, że w miarę dobrze rozpoznana jest baza zasobowa Jastrzębskiej Spółki Węglowej zaprezentowana między innymi w pracach (Marcisz 2010; Probierz, Marcisz 2010). JSW S.A. jest zainteresowana żywotnie pracami nad nową technologią pozyskiwania surowców energetycznych i chemicznych ze złóż zalegających na dużej głębokości.

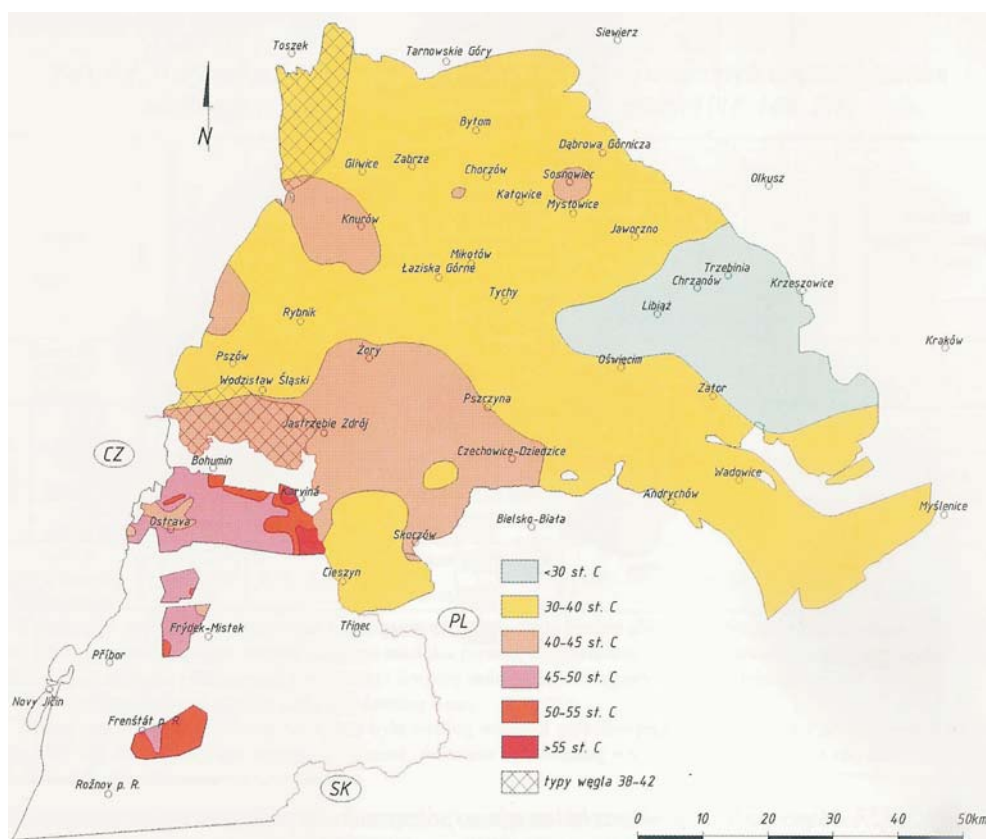
2. Zagrożenia naturalne w pokładach węgla zalegających na głębokościach większych od 1000 m

Powszechnie wiadomo, że ze wzrostem głębokości eksploatacji podziemnej niewspółmiernie szybko intensyfikują się zagrożenia naturalne. W polskich kopalniach występują wszystkie zagrożenia naturalne, czyli zagrożenie klimatyczne, metanowe, tąpniętami, pożarowe, pyłowe oraz wodne i przeważnie są to najwyższe kategorie, klasy czy stopnie.

W większości przypadków zagrożenia te występują jednocześnie – mówimy wtedy o zagrożeniach skojarzonych.

2.1. Zagrożenie klimatyczne

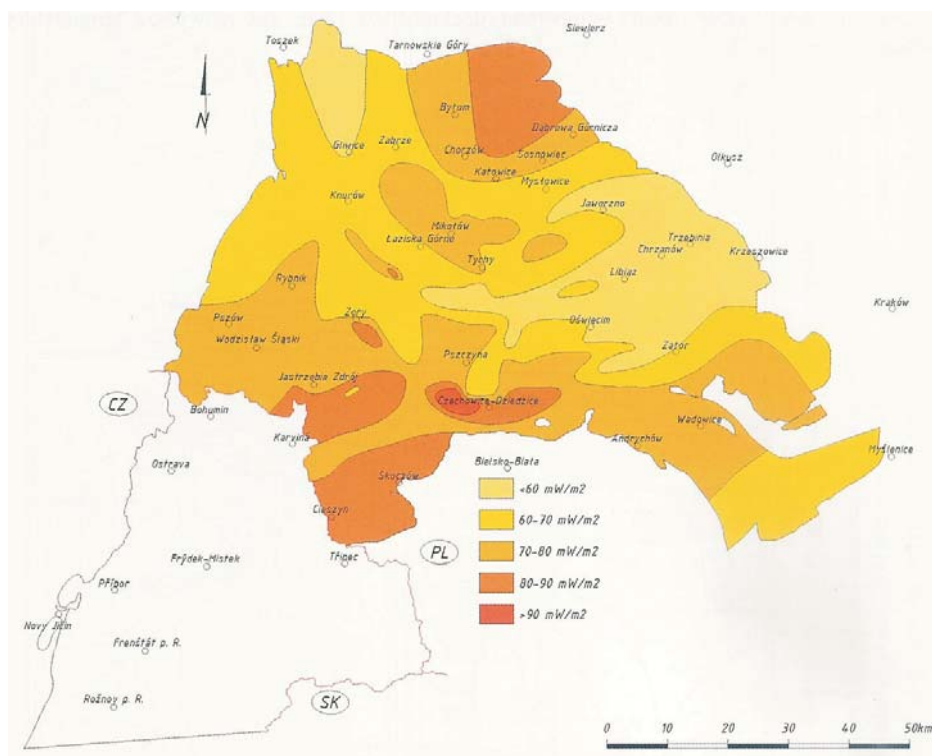
Obecnie średnia głębokość eksploatacji przekracza 700 m i wzrasta rocznie o 8–10 m. Skutkuje to bardzo wyraźnym wzrostem temperatury skał *in situ*. Problem energii geotermalnej masywu skalnego opisano szeroko między innymi w pracach (Lewandowska 2001; Probiez, Lewandowska 2004). W rejonach prowadzenia robót przygotowawczych i eksploatacyjnych występują ściany i chodniki przyścianowe, gdzie temperatura pierwotna skał wynosi około 44°C. Temperatura ta jest następstwem naturalnego rozkładu temperatur *in situ* na obszarze GZW (Probiez i in. 2012), którą przykładowo prezentuje rysunek 2.



Rys. 2. Mapa regionalnego pola temperatur na obszarze GZW w części polskiej na głębokości 750 m, w części czeskiej na głębokości 1100 m

Źródło: Probiez i in. 2012

Fig.2. Map of the regional temperature field in the area of the Upper Silesian Coal Basin in the Polish part at a depth of 750 m; in the Czech part at a depth of 1100 m



Rys. 3. Mapa gęstości strumienia ciepła emitowanego przez ociosy skalne do powietrza wentylacyjnego na obszarze GZW
 Źródło: Proberz i in. 2012

Fig. 3. Map of density of heat flow from rocks emitted via the ventilation air in the Upper Silesian Coal Basin

Równie wymownym jest rozkład gęstości strumienia ciepła emitowanego do powietrza wentylacyjnego. Mapę gęstości strumienia tego ciepła dla GZW według (Proberz i in. 2012) prezentuje rysunek 3.

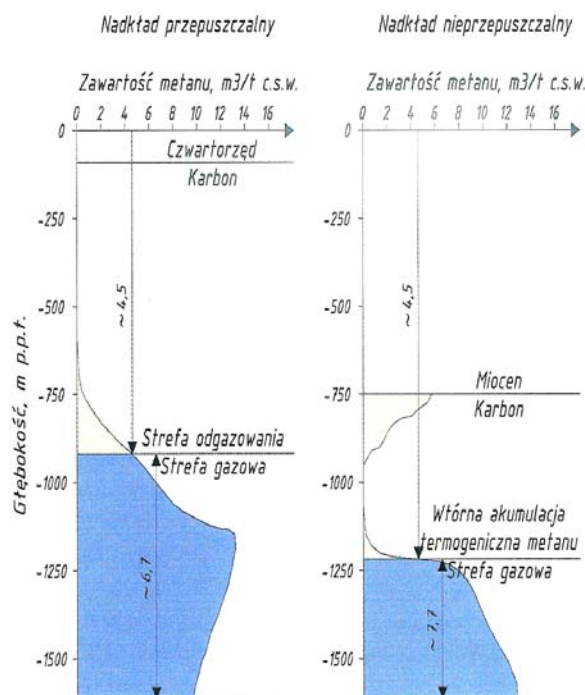
W takiej sytuacji temperatura powietrza wentylacyjnego bardzo szybko przekracza dopuszczalny poziom 28°C i nierzadko osiąga wartości powyżej 35°C . Obowiązuje wtedy skrócony czas pracy do sześciu godzin liczony wraz ze zjazdem pod ziemię i wyjazdem na powierzchnię, co w znaczący sposób podnosi koszty eksploatacji. Jednocześnie warto zaznaczyć, że ze wzrostem głębokości zalegania wyraźnie poprawia się jakość węgla. Rezygnacja z jego eksploatacji przy poniesionych już nakładach na infrastrukturę kopalnianą wydaje się być całkowicie nieuzasadniona.

2.2. Zagrożenie metanowe

W sprawie metanu w kopalniach mamy do czynienia ze swoistym paradoksem. Z jednej strony metan jest doskonałym paliwem, ale występujący i uwalniany się z masywu

węglowego w czasie eksploatacji jest wielkim zagrożeniem dla prowadzenia robót górniczych. W zależności od warunków geologicznych i w czasie geologicznym (300 mln lat) metan mógł się uwolnić i przez nieszczelny górotwór przedostać do atmosfery, tworząc tzw. strefę odgazowaną, która sięga nawet 1000 m. Ze wzrostem głębokości zalegania, w formacjach przykrytych utworami szczelnymi metanowość formacji węglonośnych bardzo szybko wzrasta. Wyraża się to między innymi liczbą polskich kopalń eksploatujących węgiel w warunkach zagrożenia metanowego. Obecnie na 31 kopalń węgla kamiennego tylko cztery zaliczono do kopalń niemetanowych. W roku 2012 w polskich kopalniach wydzielilo się 851,48 mln m³ metanu, przy czym średnio w ciągu minuty wydzielalo się 1623,88 m³ CH₄. Nieustannie trwają prace naukowo-badawcze nad gospodarczym wykorzystaniem metanu z pokładów węgla (Krzystolik, Skiba 2009; Nawrat 2013), zarówno do gazu wysoko skoncentrowanego – pozyskanego w procesie odmetanowania złóż jak również metanu nisko stężonego, pochodzącego z powietrza wentylacyjnego (Nawrat 2013).

Metanonośność – czyli całkowita ilość metanu przypadająca na tonę czystej substancji węglowej – wzrasta z głębokością i wraz ze wzrostem głębokości eksploatacji w ciągu ostatnich 10 lat wzrosła z 7,3 m³/tonę do wartości 11 m³/tonę. Wzrost metanonośności złóż i metanowości kopalń omówiono szczegółowo między innymi w pracach (Proberz i in. 2012; Szlązak i in. 2008). Wzrost zagrożenia metanowego obrazują wykresy na rysunku 4 (Kotas 1994; Lewandowska 2001).



Rys. 4. Rozkład gazonośności w złóżach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego
Źródło: Kotas 1994

Fig. 4. Distribution of gas-bearing in the deposits of the Upper Silesian Coal Basin

Z powyżej krótkiej analizy wynika, że – co prawda – maksimum metanonośności przypada na głębokości w interwale pomiędzy 950 i 1050 m, w złożach zalegających poniżej 1000 m zagrożenie metanowe będzie znacząco wyższe niż to było do tej pory. Mając na względzie fakt wystąpienia największych katastrof górniczych w górnictwie polskim i światowym w ostatnich latach, będących następstwem zagrożenia metanowego, schodzenie z klasyczną eksploatacją na głębokości większe od 1000 m obarczone będzie bardzo dużym ryzykiem i generować będzie bardzo wysokie koszty.

2.3. Zagrożenie wyrzutami gazów i skał oraz tąpnięciami

Metan sam w sobie jest bardzo dużym zagrożeniem, a dodatkowo występujący pod dużym ciśnieniem, rosnącym wraz z głębokością zalegania złóż węgla, jest bezpośrednią przyczyną ujawnienia się zagrożenia wyrzutami gazów i skał. Wzrost gazonośności (metanonośności) pokładów przy jednoczesnym zmniejszeniu ich zwięzłości i obniżeniu się przepuszczalności gazowej węgla, jak też wzrost ciśnienia górotworu i występowanie licznych zaburzeń geologicznych przyczynia się do wzrostu tego zagrożenia.

Przy gwałtownie spadającym wydobyciu węgla z 192 ml ton w roku 1980 do 75,5 w roku 2011 sumaryczna liczba wstrząsów podziemnych zarejestrowanych w polskich kopalniach sięga prawie 40 tysięcy, z czego 301 przypadków to groźne tąpnięcia, w następstwie których życie straciło 176 górników (Proberz i in. 2012).

2.4. Podsumowanie

Jak widać z krótkiej analizy obecnej sytuacji i danych historycznych te cztery zagrożenia naturalne, czyli: zagrożenie klimatyczne, gazowe, wyrzutami gazów i skał oraz tąpnięcia mają tendencję wzrostową. Cały postępowy świat górniczy poszukuje takich metod eksploatacji aby ryzyko utraty zdrowia lub życia przez górników było jak najmniejsze. Powszechne są obecnie prace nad bezzałogowymi systemami wydobycia, który z powodzeniem realizują Niemcy w kopalni RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, stosując strugowe ściany bezzałogowe sterowane z powierzchni. Celowym zatem jest rozważenie innej niż konwencjonalna metoda eksploatacji dla złóż węgla kamiennego zalegających na dużych głębokościach, to jest poniżej umownej rzędnej wynoszącej –1000 m.

3. Zintegrowana szybowo-wiertnicza metoda pozyskiwania pierwotnych nośników energii ze złóż węgla kamiennego zalegających na dużej głębokości

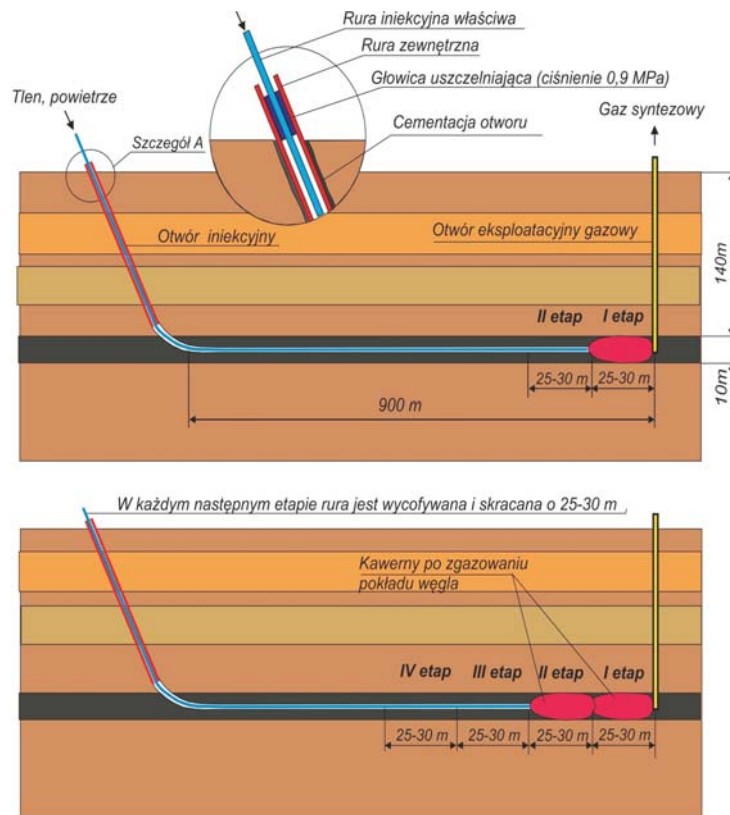
Ważnym celem projektu strategicznego, ogłoszonego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju realizowanego w AGH, GIG, IChPW i Politechnice Śląskiej zatytułowanego „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”, w ramach którego prowadzone są między innymi badania nad procesem podziemnego zgazowania węgla (PZW), jest próba opracowania technologii konkurencyjnej do klasycznych metod eksploatacji lub opracowanie technologii uzupełniających pozyskiwanie surowców energetycznych przez zgazowanie pokładów węgla.

Dotychczasowe rezultaty z PZW wskazują, że metoda ta rozwijana od 100 lat nie jest w stanie zastąpić metod tradycyjnego wydobywania paliwa i jego utylizacji w profesjonalnych instalacjach energetycznych. W pracy (Kapusta 2013) podano, że 95% węgla pierwiastkowego zgromadzonego w skorupie ziemskiej i akwenach wodnych nie jest dostępna klasycznymi technologiami górnictwami. W rozdziale 2 wykazano, że duże zasoby węgla zalegającego na głębokościach większych od 1000 m nie będą łatwe do wydobycia metodami klasycznymi, głównie ze względu na intensyfikację zagrożeń naturalnych i niekonkurencyjne ceny tak pozyskanego surowca energetycznego.

Dotychczasowe wynalazki w zakresie podziemnego zgazowania węgla *in situ* prezentowały następujące sposoby:

1. Sposób bezszybowy, w którym z powierzchni terenu należy wywiercić do pokładu węgla otwory pionowe bądź pochyle, później zakrzywione – kierunkowe (lateralne) w pokładzie i podawać media zgazowujące poprzez umieszczone w nich rurociągi iniekcyjne. W systemie tym produkty zgazowania wyprowadzane są innymi otworami wychodzącymi z końca otworów iniekcyjnych na powierzchnię terenu. Na rysunku 5 zaprezentowano najbardziej zaawansowaną wersję tego typu georeaktora stosowaną przez australijską firmę Linc Energy (Czaja i in. 2013).
2. Sposób szybowy polegający na tym, że z wyrobisk istniejącego zakładu górnictwa dowierca się otwory do pokładu i podając media zgazowujące prowadzi proces. Gaz syntezowy – produkt zgazowania – wyprowadza się rurociągami za pośrednictwem szybów na powierzchnię. Z analizy literatury i metod opatentowanych wynika, że nie pokazano dotąd żadnej systemowej struktury wyrobisk podziemnych, które stanowiłyby model kopani podziemnej wydobywającej węgiel poprzez zgazowanie. Podobnie nie ma dotychczas żadnego algorytmu prowadzenia prac przygotowawczych i eksploatacyjnych.

Dla złóż węgla zalegających na głębokości większej od 1000 m, wiercenie do pokładów – indywidualnych dla każdego georeaktora – otworów pionowych będzie bardzo kosztowne i sprawi, że proces nie będzie konkurencyjny dla klasycznego wydobycia węgla metodą górnictwami.



Rys. 5. Bezszybowa metoda podziemnego zgazowania węgla w georeaktorze V generacji Linc Energy – Chinchilla, Australia
Źródło: Czaja i in. 2013

Fig. 5. Shaftless method of underground coal gasification in a Linc Energy V generation georeactor – Chinchilla, Australia

Proponowana przez autorów technologia zakłada:

1. Eksploatację górnictwem w pokładach zalegających na głębokości (umownie) np. do 1000 m metodami klasycznymi.
 2. Ze względu na intensyfikację zagrożeń naturalnych na głębokości większej od 1000 m:
 - ✧ wzrost ciśnienia górotworu i z tym związane trudności w prowadzeniu ruchu,
 - ✧ wyraźny wzrost z głębokością metanonośności złóż potęgujący zagrożenie gazowe,
 - ✧ szybki wzrost wraz z głębokością zagrożenia klimatycznego (temperatura *in situ* przekroczyć może 50°C), co zmusi do stosowania wysoko energochłonnych i bardzo drogich w eksploatacji systemów klimatyzacyjnych,
 - ✧ wzrost zagrożenia tapaniami,
- proponuje się budowę podziemnego systemu wyrobisk i wywiercenie otworów technologicznych umożliwiających:
- a) w pierwszej fazie – maksymalne technicznie możliwe szcerpanie metanu wydzielającego się ze złoża,

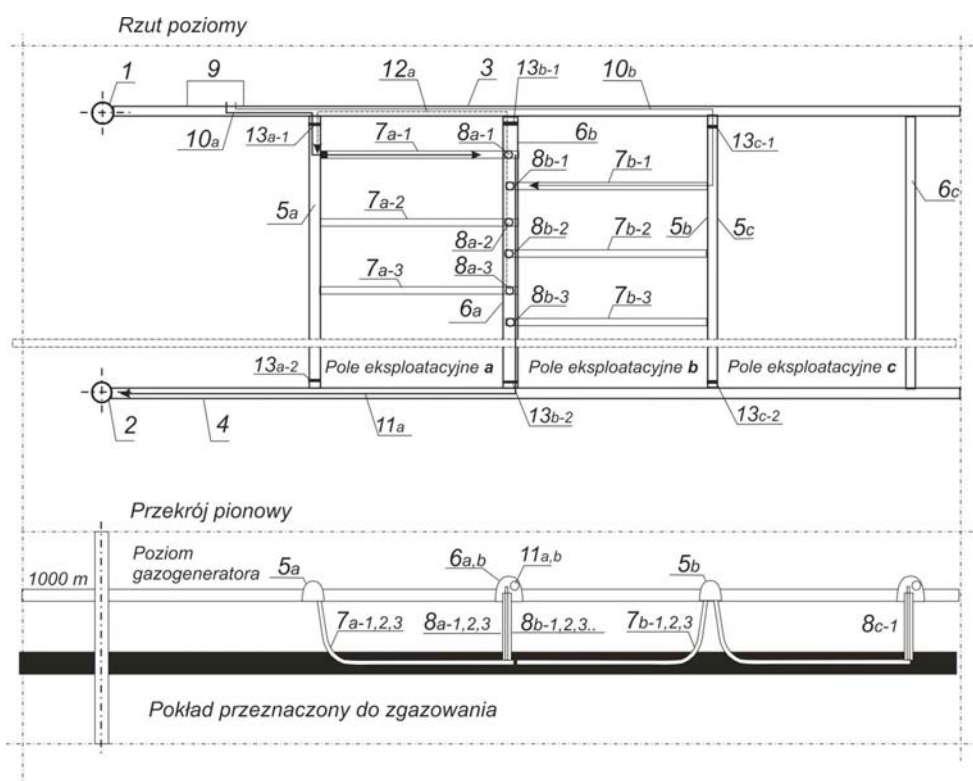
- b) w fazie drugiej zgazowanie substancji węglowej pokładów zalegających poniżej umownego poziomu 1000 m, na którym zostanie zbudowany system wyrobisk podziemnej kopalni gazu,
- c) w fazie trzeciej wypełnienie kawern poreakcyjnych drobnoziarnistymi odpadami mineralnymi podawanymi na mokro.

Warunkiem podstawowym projektu jest taki układ wyrobisk oraz taka ich konstrukcja, aby w czasie procesu zgazowania możliwe było okresowe przebywanie ludzi w rejonie georeaktora.

Schemat takiej podziemnej struktury wyrobisk niekonwencjonalnej kopalni metanu i gazu syntezowego prezentuje rysunek 6.

Podziemna kopalnia gazu (metanu i gazu syntezowego) wymaga:

1. Minimum dwóch szybów (1 i 2) dla zachowania obiegu powietrza wentylacyjnego oraz doprowadzenie czynników zgazowujących i wyprowadzenie uzyskanego gazu.
2. Dwóch przekopów lub przecznicy: doprowadzających media zgazowujące 3 i odprowadzających produkty zgazowania 4.



Rys. 6. Zintegrowana szybowo-wiertnicza metoda pozyskania pierwotnych nośników energii ze złóż węgla kamiennego. Koncepcja AGH

Fig. 6. Integrated shaft-drilling method of extracting primary energy carriers from hard coal beds. Idea of AGH-UST

3. W zależności od wielkości parceli złoża możliwej do zgazowania:

- a) kilku przecznic lub przekopów 5a,b,c, z których wiercone będą otwory iniekcyjne lekko odchylone od pionu, a następnie przechodzące w otwory w pokładzie 7a-1,2,3, 7b-1, 2, 3, 7c-1,2,3 itd.;
- b) kilku przecznic lub przekopów 6a,b,c z których wiercone będą otwory pionowe (studnie eksploatacyjne), 8a-1,2,3, 8b-1, 2, 3, itd. na zbiecie z otworami 7a-1,2,3 itd. do odbierania najpierw metanu – do całkowitego jego szczypania ze złoża, a następnie odbierania i chłodzenia gazu syntezowego, które rurociągiem 11a będą wyprowadzać gazy szybem 2 na powierzchnię. Studnie odbierająco chłodzące mogą być również wykorzystane do produkcji pary wodnej o wysokiej temperaturze (300–400°C), którą rurociągiem 12a można podać do otworów i rurociągów iniekcyjnych 7a-1,2,3, 7b-1,2,3 itd. jako czynnik zgazowujący.

Proces tak zorganizowanej eksploatacji złoża węgla kamiennego należy prowadzić według następujących zasad ogólnych:

1. W zależności od budowy geologicznej, jakości węgla i grubości pokładu należy określić geometrię gazogeneratora.
2. Wyrobiska georeaktora 3,4,5,6 winny mieć obudowę górniczą odpowiednio wytrzymałą i gazoszczelną.
3. Wszystkie wyrobiska georeaktora 5a,b,c, 6a,b,c. winny być wyposażone w hermetyczne tamy z drzwiami pozwalające na odcięcie od wyrobisk 3 i 4.
4. Wszystkie otwory iniekcyjne 7a-1,2,3 itd. i eksploatacyjne 8a-1,2,3 itd. winny być hermetycznie uszczelnione względem obudowy wyrobiska, z którego są wyprowadzone.
5. Cały system kopalni podziemnej powinien dodatkowo być wyposażony w media pozwalające na w miarę szybkie powstrzymanie procesu zgazowania np. azot czy mieszaniny wodno-pyłowe.

Przebieg procesu eksploatacji pierwotnych nośników energii powinien przebiegać następująco:

- 1) W pierwszej fazie po wywierceniu wszystkich otworów w parceli eksploatacyjnej a, w geometrii zależnej od grubości złoża należy je odmetanować za pośrednictwem otworów eksploatacyjnych 8a-1,2,3 itd., przykładając do otworów określoną depresję generowaną w podziemnej stacji odmetanowania ulokowanej w wyrobisku eksploatacyjnym 4.
- 2) Po ustaniu wypływu metanu należy przejść do fazy zgazowania, przy czym proces rozpocząć od otworu iniekcyjnego 7a-1 i studni eksploatacyjnej 8a-1. Można równocześnie prowadzić zgazowanie na kolejnej linii to jest otworami 7a-3 i studni 8a-3.
- 3) Media zgazowujące podawać poprzez specjalny rurociąg samotracący się, wprowadzony do otworu iniekcyjnego 7a-1,2,3 itd., tak, aby jego koniec znajdował się u wylotu studni eksploatacyjnej 8a-1,2,3.
- 4) Po zgazowaniu całej objętości węgla w obrębie otworu 7a-1 i 8a-1 należy odczekać do wystudzenia georeaktora, a następnie poprzez otwór 7a-1 wyeksploatowaną kawernę wypełnić na mokro odpadami elektrownianymi (popiołami z elektrowni).
- 5) Po wypełnieniu dwóch sąsiednich kawern 7a-1 i 7a-3 można przystąpić do zgazowania brył w obrębie otworów 7a-2, 7a-4 itd.

6) Po wyeksploatowaniu pierwszego od góry pokładu można przystąpić do udostępnienia z tej samej struktury wyrobisk – pokładu leżącego głębiej.

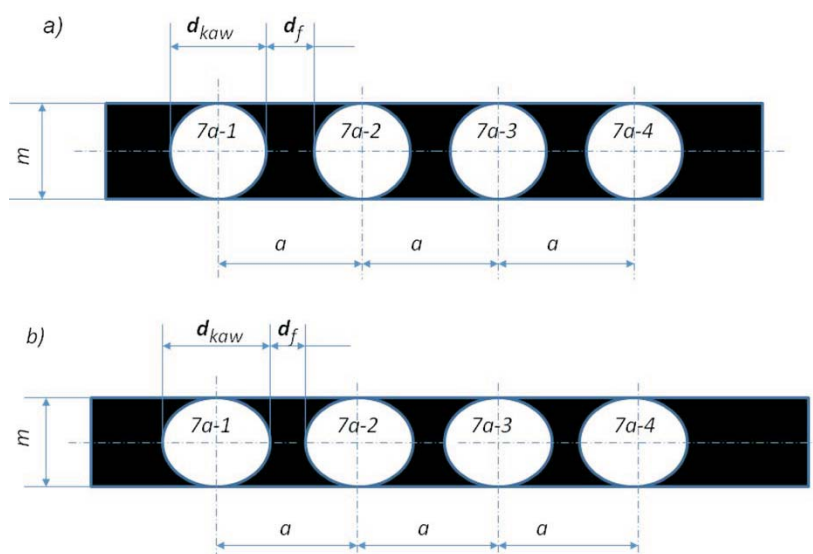
Dotychczasowe próby z podziemnym zgazowaniem węgla nie dostarczyły wyczerpującej informacji o kształcie kawerny poreakcyjnej. Zakładając, że powinna ona mieć kształt walca (por. rys. 7a) o średnicy d_{kaw} równej grubości pokładu m , – odległość pomiędzy kolejną parą otworów iniekcyjno eksploatacyjnych powinna wynieść minimum a , które dane jest zależnością:

$$a = d_{kaw} + d_f$$

gdzie: a – odległość pomiędzy otworami zgazowującymi [m],
 d_{kaw} – średnica (lub szerokość) kawerny poreakcyjnej [m],
 d_f – szerokość filara międzycawernowego [m].

W zgazowaniu bezszybowym wiercenie głębokich otworów do złoża wpływa bardzo znacząco i niekorzystnie na koszty całego procesu. Z tego powodu grubość zgazowywanego pokładu była odpowiednio duża, najlepiej większa od 5 m.

Jeżeli natomiast otwory iniekcyjne wiercone będą z wyrobisk podziemnych i ich długość do osiągnięcia pokładu będzie wynosić od kilkudziesięciu (np. 30 m) do co najwyżej 200 m



Rys. 7. Przekrój przez zgazowywane złożo i kawerny poreakcyjne
a) kawerny poreakcyjne o przekroju kołowym, b) kawerny poreakcyjne o przekroju eliptycznym
 m – miąższość pokładu zgazowywanego, d_{kaw} – średnica/szerokość kawerny poreakcyjnej,
 d_f – grubość filara poeksploatacyjnego, a – odległość między otworami iniekcyjnymi

Fig. 7. Cross-section of the gasified seam and post-reaction cavities
a) post-reaction cavities with a circular section, b) post-reaction cavities with an elliptical section
 m – thickness of gasified seam, d_{kaw} – diameter/width of post-reaction cavity,
 d_f – thickness of post-exploitation pillar, a – distance between injection wells

to przy dobrej jakości zgazowywanego węgla grubość pokładów może być znacznie mniejsza, nawet do 3 m. Wtedy otwory iniekcyjne winny być wiercone w odległości około 5 m od siebie. Jest też prawdopodobne, że kawerna poreakcyjna może mieć przekrój eliptyczny (rys. 7b).

Taka geometria gazogeneratora jest ze względów ekonomicznych korzystniejsza. Konieczna jest seria eksperymentów badawczych, które pozwolą wypracować metody sterowania procesem tak, aby za pośrednictwem jednej pary otworów pionowych udostępnić możliwie największą objętość węgla do zgazowania.

Podsumowanie

Przedstawiona koncepcja zgazowania hybrydowego metodą szybowo-wiertniczą wydaje się być w obliczu zintensyfikowanych zagrożeń na dużych głębokościach jedną z alternatyw pozyskiwania pierwotnych nośników energii z węgla tam zalegającego.

Propozycja wymaga dalszych badań dotyczących głównie szczegółowych rozwiązań technicznych w poszczególnych branżach projektowania obiektów podziemnych.

W branży górniczej do rozwiązania pozostaje geometria wyrobisk gazogeneratora oraz ich wielkość i rodzaj obudowy spełniającej wymogi gazoszczelności i odporności na ewentualnie podwyższone temperatury.

W branży mechanicznej zaprojektować należy całą infrastrukturę do przygotowania i podawania mediów zgazowujących oraz instalacje służące odbiorowi gazu, jego schłodzeniu z odzyskiem ciepła na potrzeby produkcji pary jako medium zgazowującego.

W branży elektrycznej konieczne jest opracowanie systemu monitoringu zagrożeń oraz całego systemu sterowania zdalnego procesem zgazowania i odprowadzenia gazu syntezowego lub metanu.

Literatura

- BADERA J., 2010 – Konflikty społeczne na tle środowiskowym związane z udostępnieniem złóż kopalin w Polsce. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 26, z. 1, Kraków, s. 105–125.
- CZAJA i in. 2013 – CZAJA P., KWAŚNIEWSKI K., POLAK K., RÓŻKOWSKI K., 2013 – Podziemne zgazowanie węgla (PZW) – instalacja badawcza Chinchilla w Australii. *Przegląd Górniczy* t. 69, nr 2, s. 131–138.
- KAPUSTA K., 2013 – Analiza powstawania i migracji zanieczyszczeń wód w procesie podziemnego zgazowania węgla. Praca doktorska, GIG Katowice.
- KOTAS A., red., 1994 – Coal-bed methane potential of Upper Silesian Coal Basin, Poland. *Prace PIG CXLII*, Warszawa.
- KRZYSTOLIK P., SKIBA J., 2009 – Gospodarcze wykorzystanie metanu z pokładów węgla w warunkach polskich. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2, Kraków, s. 319–332.

- LEWANDOWSKA M., 2001 – Warunki występowania wód podziemnych na tle ziemskiego strumienia ciepła, w kopalniach północno-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska Gliwice.
- MARCISZ M., 2010 – Ocena bazy zasobowej węgla koksowego w KWK Zofiówka i KWK Pniówek JSW S.A. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 26, z. 2, Kraków, s. 5–23.
- NAWRAT S., 2013 – Pozyskiwanie i utylizacja metanu z kopalń. Wydawnictwa AGH, 2013. 167, (Czaja i in. 2013) s. Wydawnictwa Naukowe AGH, Kraków, s. 165.
- PROBIERZ K., LEWANDOWSKA M., 2004 – Warunki termiczne masywu skalnego w NW części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego a możliwość generowania węglowodorów. *Archives of Mining Science* t. 48, nr 1. Kraków, s. 3–35.
- PROBIERZ K., MARCISZ M., 2010 – Changes of coning properties with the depth of deposition in coal seams of Zofiówka monocline (SW part of Upper Silesian Coal Basin, Poland). *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 26, z. 4, Kraków, s. 71–87.
- PROBIERZ i in. 2012 – PROBIERZ K., MARCISZ M., SOBOLEWSKI A., 2012 – Od torfu do węgla koksowych Zofiówki w obszarze Jastrzębia (południowo zachodnia część Górnośląskiego Zagłębia Węglowego). Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze.
- SZLAŻAK N. i in., 2008 – Ocena stanu zagrożenia metanowego i temperaturowego w rejonie ścian eksploatacyjnych. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- SZUFLICKI i in. 2013 – SZUFLICKI M., MALONA A., TYMIŃSKI M., 2013 – Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII. 2012 r. Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa.

Piotr CZAJA, Jerzy KLICH, Antoni TAJDUŚ

A method of obtaining primary energy carriers from hard coal beds via methane drainage and *in-situ* gasification

Abstract

Regardless of EU policies, the world will continue its natural course of development in spite of the finite participation of man. Fossil fuels are a natural reservoir of energy which humanity needs. False claims about the harmfulness of human use of those fuels encourages people to protest against exploitation of all kinds of mineral resources, including generations of local conflicts (Badera 2010). Modern science has made great progress in replacing fossil fuels with energy from renewable sources. This alternative is continually improving, but still not effective enough. A more effective utilization of fossil fuels remains an objective to be fulfilled through the introduction of non-conventional technologies of obtaining energy from traditional energy-producing raw materials. With the high prices of hydrocarbon carriers (petroleum and gas), both surface and underground coal gasification seem to be innovative technologies meeting the contemporary expectations of energy producers and,

above all, environmentalists. The technologies of underground coal gasification known and still being examined today involve two basic methods:

- shaftless, using boreholes drilled from the surface to the coal seams
- shaft structure method, using the underground infrastructure of an already existing coal mine.

This article presents a mixed shaft-drilling method and proposes the extraction of primary energy carriers (methane and syngas) from beds located at great depths (consequently classified as off-balance sheet resources). The mixed shaft structure and boreholes method cannot be understood as an alternative to classic coal mining, but rather as its supplement and as a cheaper way of gaining access to resources which, from a technical point of view, are practically impossible to extract through the classic mining method, mainly due to very serious natural hazards and the high costs of eliminating those hazards.

KEY WORDS: hard coal, methane drainage of a coal bed, underground coal gasification