

## Próby podziemnego zgazowania węgla w pokładzie 310 Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa

**Streszczenie:** Niewyeksplloatowane zasoby węgla w obszarach górniczych kopalń czynnych oraz likwidowanych, związane z filarami ochronnymi lub resztkami pozostawionych pokładów, których wybranie stosowanymi obecnie systemami eksploatacji jest nieefektywne ekonomicznie, stwarzają przesłankę do opracowania technologii ich eksploatacji opartej na podziemnym zgazowaniu węgla, która umożliwiłaby ich częściowe wykorzystanie do celów energetycznych.

Na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia trendy naukowo-badawcze w kraju i za granicą były ukierunkowane między innymi na tematykę związaną z technologią podziemnego zgazowania węgla. Przykładem są próby podziemnego zgazowania węgla w pokładzie 310 Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa, przeprowadzone w latach 2010 i 2013 w ramach projektów HUGE-1 i HUGE-2, finansowanych przez Europejski Fundusz Badawczy Węgla i Stali. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów podziemnego zgazowania węgla w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” stanowiły punkt wyjścia do opracowania rygorów i zasad bezpieczeństwa warunkujących bezpieczne przeprowadzenie pilotażowej próby podziemnego zgazowania w 2014 roku w czynnej kopalni węgla kamiennego.

W artykule przedstawiono syntetyczną analizę doświadczeń uzyskanych z dwóch prób podziemnego zgazowania przeprowadzonych w złożu węglowym Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa.

**Słowa kluczowe:** podziemne zgazowanie węgla, Kopalnia Doświadczalna „Barbara”, Główny Instytut Górnictwa.

### **Trials of underground gasification of 310 coal deposit of „Barbara” Experimental Mine of the Chief Mining Institute**

**Summary:** Unexcavated coal deposit in active and inactive mining areas, based on protective pillars or remaining deposits, excavation of which with the means of the currently used mining systems is uneconomical, put forward the idea of underground coal gasification, which, at least partly, could be a source of heat.

Over the last decade research and development trends, both in Poland and abroad, focused, among others, on underground coal gasification. Some of the examples here could be the trials at

310 coal deposit of „Barbara” Experimental Mine, conducted in 2010 and 2013 as part of the HUGÉ-1 and HUGÉ-2 experiments financed by the European Coal and Steel Research Institute. The results of the conducted experiments served as starting point for preparation of rules and regulations assuring safe pilot trials of underground coal gasification in an active coal mine in 2014.

The article presents an analytic synthesis of the experiences gained from the two trials of underground gasification of 310 coal deposit of „Barbara” Experimental Mine of the Chief Mining Institute.

**Keywords:** underground copper deposit gasification, „Barbara” Experimental Mine, Chief Mining Institute

## 1. Wprowadzenie

Węgiel kamienny jest wydobywany metodami eksploatacji podziemnej przy zastosowaniu głównie ścianowych systemów eksploatacji. Część wydobytego na powierzchnię węgla zostaje zamieniona na energię elektryczną w elektrowniach bądź na inny rodzaj paliwa. Bardzo atrakcyjne dla przemysłu byłoby uzyskanie z węgla zalegającego pod ziemią palnej mieszaniny gazowej o kaloryczności umożliwiającej jej wykorzystanie w energetyce.

Pierwsze prace badawcze dotyczące możliwości pozyskiwania z węgla gazu o wartości przemysłowej miały miejsce w Europie zachodniej w XIX wieku, natomiast w XX wieku przeprowadzono kilkadziesiąt prób i eksperymentów związanych z podziemnym zgazowaniem węgla.

Główny Instytut Górnictwa przeprowadził podziemne zgazowanie węgla pod ziemią w latach 60. XX wieku (Rauk 1964, 1971) w kopalni „Mars”. Większość prób podziemnego zgazowania węgla jest podejmowana w krajach pozaeuropejskich, tj. w Australii, Kanadzie, Indiach, RPA i Chinach. Dotychczasowe osiągnięcia w zakresie przemysłowej technologii podziemnego zgazowania węgla w tych krajach, w których zastosowano nowatorskie rozwiązania, objęte są tajemnicą przemysłową, a zatem dostęp do informacji jest ograniczony. Informacje jawne w zakresie przemysłowej technologii podziemnego zgazowania węgla wskazują na możliwe do osiągnięcia pozytywne efekty ekonomiczne produkcji gazu procesowego tą metodą.

Nadmienić należy, że opracowanie w pełni bezpiecznych i efektywnych ekonomicznie technologii podziemnego zgazowania węgla jest przedsięwzięciem trudnym i wymaga podjęcia prac ukierunkowanych na opracowanie kryteriów warunkujących możliwość pozyskiwania gazu jako paliwa mogącego mieć zastosowanie w energetyce.

Na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia trendy naukowo-badawcze w kraju i za granicą zostały ukierunkowane na opracowanie technologii podziemnego zgazowania węgla. Eksperymenty podziemnego zgazowania węgla zostały przeprowadzone dwukrotnie w roku 2010 i 2013 w Głównym Instytucie Górnictwa Kopalni Doświadczalnej „Barbara”, ponadto przeprowadzono w 2014 roku pilotażową próbę eksploatacji pokładu 501 metodą podziemnego zgazowania węgla w KHW SA KWK „Wieczorek”.

Realizacja prób podziemnego zgazowania węgla została przeprowadzona w pokładzie 310 Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w ramach projektów HUGE-1 i HUGE-2, finansowanych przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali.

Kopalnia Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górniczego prowadzi prace podziemne z zastosowaniem techniki górniczej, realizuje prace związane z:

- wykonywaniem doświadczalnych wybuchów w chodnikach dołowych oraz sztolniach na powierzchni, zgodnie z programem prac naukowo-badawczych oraz różnymi zleceniami z przemysłu,
- atestacją maszyn i urządzeń górniczych,
- badaniami bezpieczeństwa robót strzałowych w warunkach zagrożeń metanowo-płowych i innych przy wykorzystaniu wyrobisk dołowych,
- szkoleniem pracowników zatrudnionych w przemyśle na bazie istniejącego potencjału badawczego.

Niniejszy artykuł zawiera syntetyczną analizę przeprowadzonych prób podziemnego zgazowania przy uwzględnieniu warunków górniczo-geologicznych, wentylacyjnych oraz infrastruktury na powierzchni pod kątem wyboru najbardziej właściwej lokalizacji georeaktorów podziemnego zgazowania węgla w obszarze Kopalni Doświadczalnej „Barbara”. W granicach występowania pokładu 310 na poziomie 30 m wybór lokalizacji georeaktorów uwzględniał:

- warunki przewietrzania wyrobisk w sąsiedztwie prowadzonego eksperymentu w stanie normalnym oraz w warunkach zatrzymania wentylatora głównego przy szybie wentylacyjnym,
- możliwość regulacji przewietrzania w rejonie eksperymentu dla zapewnienia atmosfery niewybuchowej w wyrobiskach w trakcie prowadzenia prób,
- możliwość szybkiej izolacji wyrobisk wentylacyjnie związanych z rejonem podziemnego zgazowania w przypadku powstania stanu awaryjnego.

Przeprowadzone dwa eksperymenty podziemnego zgazowania węgla w KD „Barbara” pozwoliły na poszerzenie wiedzy i zdobycie doświadczeń przy opracowywaniu projektu technicznego pilotażowej próby podziemnego zgazowania przeprowadzonej w 2014 roku w KHW SA KWK „Wieczorek”.

Zaprojektowanie technologii podziemnego zgazowania węgla w czynnej kopalni węgla kamiennego wymagało opracowania rozwiązań ukierunkowanych na taką lokalizację georeaktora, aby zminimalizować poziom występowania potencjalnych zagrożeń, ponadto uzyskania doświadczeń stanowiących podstawę opracowania w przyszłości instalacji demonstracyjnej. Przeprowadzona pilotażowa próba podziemnego zgazowania węgla w kopalni „Wieczorek” była sprawdzianem możliwości realizacji procesu w czynnej kopalni węgla kamiennego przy spełnieniu warunków gwarantujących bezpieczeństwo załogi zatrudnionej w wyrobiskach podziemnych kopalni. W przypadku kopalni czynnej próba podziemnego zgazowania węgla wymaga objęcia procesu szerokim spektrum wymagań,

kryteriów i rygorów w zakresie lokalizacji georeaktora oraz warunków zapewniających bezpieczne przeprowadzenie eksperymentu. Lokalizacja georeaktora w obszarze górniczym czynnej kopalni wymaga przeprowadzenia syntetycznej analizy wpływu warunków górniczo-geologicznych oraz wentylacyjnych na przebieg procesu.

Na bazie doświadczeń z przebiegu prób podziemnego zgazowania węgla w kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa, przeprowadzonych w 2010 roku [1, 3], opracowano kilka wariantów projektowanego udostępnienia georeaktora w pokładzie 501 w KHW SA KWK „Wieczorek”.

Przeprowadzone analizy i badania podczas wykonywania prób podziemnego zgazowania węgla w pokładzie 310 Kopalni Doświadczalnej „Barbara” były niezbędne dla maksymalnego ograniczenia zagrożeń, które mogły wystąpić w trakcie przebiegu podziemnego zgazowania w 2014 roku w KHW SA KWK „Wieczorek”.

## **2. Próby podziemnego zgazowania węgla w Kopalni Doświadczalnej „Barbara”**

Udostępnione zasoby węgla w kopalniach podziemnych, które nie mogą zostać wydobyte stosowanymi systemami eksploatacji wskazują na celowość opracowania technologii górniczej, umożliwiającej prowadzenie ich eksploatacji przy użyciu metody podziemnego zgazowania węgla. Prace badawcze Głównego Instytutu Górnictwa o tej tematyce po 2000 roku zostały zorientowane na opracowanie pilotażowej, a następnie demonstracyjnej instalacji podziemnego zgazowania węgla.

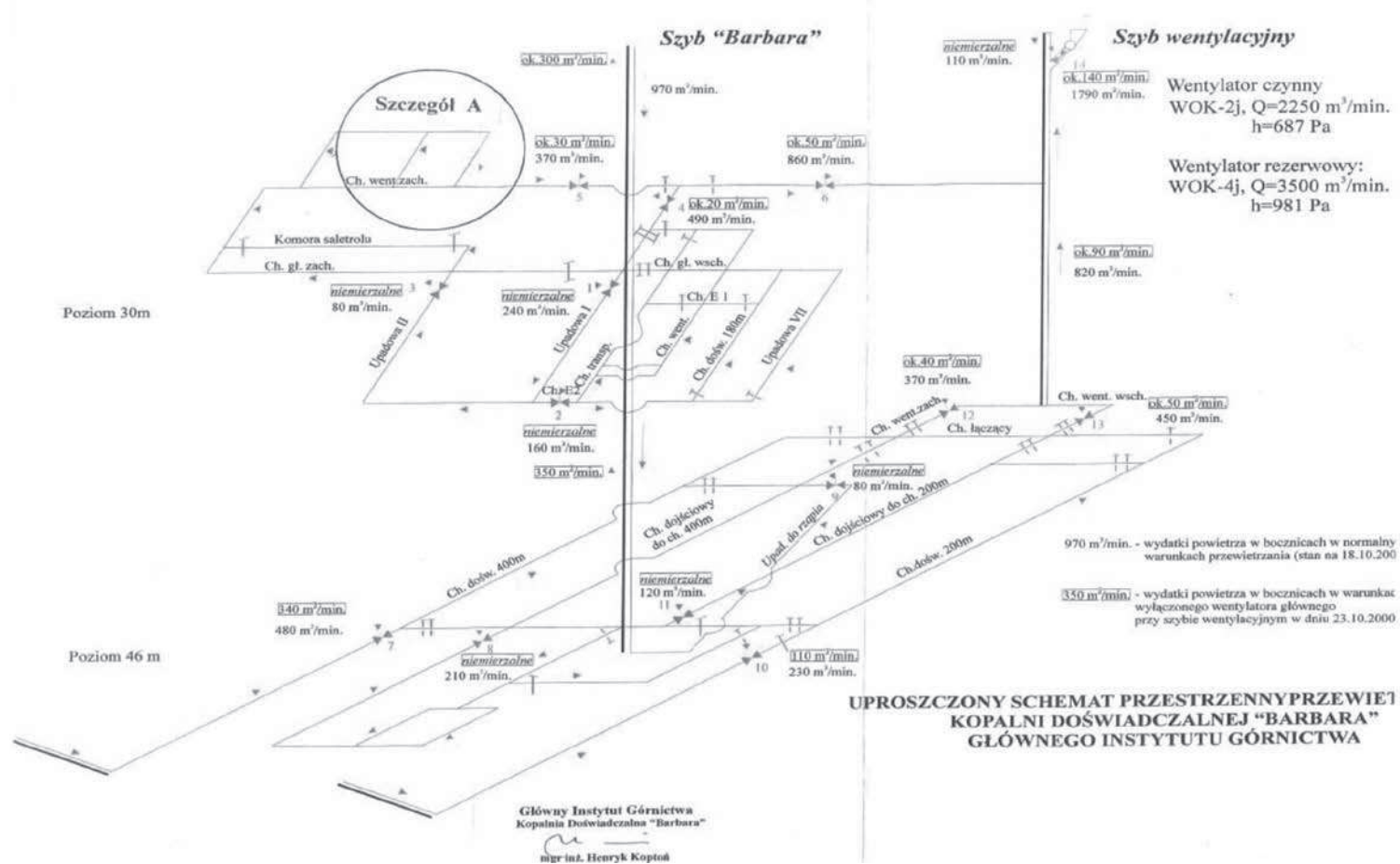
W latach 2010 i 2013 w Głównym Instytucie Górnictwa Kopalni Doświadczalnej „Barbara” przeprowadzono próby podziemnego zgazowania węgla w pokładzie 310 na poziomie 30 m.

Na lokalizację georeaktorów podziemnego zgazowania węgla wybrano parcelę pokładu 310, w którym były wykonane wyrobiska na magazyn materiałów wybuchowych, funkcjonujący w latach 50. Projektowana do zgazowania parcela pokładu 310 była okonturowana czynnymi wentylacyjnie wyrobiskami w obudowie betonowej. Obudowa betonowa na całym obwodzie wyrobisk gwarantowała zapewnienie jego szczelności, w dużym stopniu przesądzając o wyborze tej lokalizacji georeaktora.

Przeprowadzenie w 2010 roku pierwszej próby podziemnego zgazowania węgla w KD „Barbara” w ramach zrealizowanego projektu HUGE-1 wymagało na etapie projektowania przyjęcia takiej lokalizacji, aby były zachowane w przyszłości warunki gwarantujące w perspektywie funkcjonowanie istniejącej podziemnej infrastruktury badawczej w tej kopalni.

Łączna długość wyrobisk podziemnych Kopalni Doświadczalnej „Barbara” wynosi 3500 m, a prowadzenie doświadczalnych wybuchów mieszanin gazów oraz pyłów wybuchowych węglowych i przemysłowych pod ziemią na poziomie 46 m odbywa się przy wycofaniu załogi z obydwu poziomów zgodnie z instrukcjami wykonywania eksperymentalnych wybuchów.

Rys. 1. Lokalizacja georeaktora w sieci wentylacyjnej Kopalni Doświadczalnej „Barbara” GIG



Próby podziemnego zgazowania węgla w pokładzie 310 Kopalni Doświadczalnej „Barbara” ...

Sieć wyrobisk podziemnych na poziomie 46 m, gdzie są zlokalizowane dwa chodniki badawcze, w których prowadzi się doświadczalne wybuchy, jest połączona wyrobiskami pochyłymi z powierzchnią. Uproszczony schemat przestrzenny wentylacyjny wraz z kierunkami i wydatkami powietrza w wyrobiskach podziemnych Kopalni Doświadczalnej „Barbara” przedstawia rysunek 1. Na rysunku tym naniesiono rejon zlokalizowanego georeaktora, oznaczając go jako szczegół A.

Sieć wentylacyjna Kopalni Doświadczalnej „Barbara” jest połączona z powierzchnią dwoma szybami: wdechowym szybem „Barbara” i wydechowym (wentylacyjnym) oraz dwoma pochyłymi wyrobiskami łączącymi sztolnie doświadczalne o długościach 400 m i 200 m, zlokalizowane na poziomie 46 m.

Pionowa odległość lokalizacji georeaktora podziemnego zgazowania pokładu 310 od powierzchni mieści się w przedziale 19–20 m. Na powierzchni, nad parcelą georeaktora, gdzie prowadzono eksperymenty podziemnego zgazowania, znajdują się nieużytki przylegające do parkingu samochodowego usytuowanego przy ulicy Podleskiej, będące własnością Głównego Instytutu Górnictwa.

Bliska odległość pionowa pokładu 310 od powierzchni oraz wyrobisk wentylacyjnie związanych z georeaktorem podziemnego zgazowania stwarzała możliwość szczelnego przepływu gazu procesowego na powierzchnię i powstania zagrożenia dla bezpieczeństwa powszechnego. Teren potencjalnie zagrożony na powierzchni został ogrodzony i oznaczony, co wyeliminowało możliwość poruszania się niepożądanych osób.

Nie bez znaczenia dla przyszłości Kopalni Doświadczalnej „Barbara” było takie usytuowanie miejsca podziemnego zgazowania, które w przypadku stanu awaryjnego i niekontrolowanego rozwoju procesu zgazowania pozwoli na jego likwidację w niewielkiej przestrzeni. Przeprowadzenie eksperymentu nie mogło ponadto spowodować wyizolowania z sieci wentylacyjnej kopalni niezbędnych dla utrzymania wentylacji wyrobisk podziemnych. Wyrobiska okonturowujące parcelę pokładu 310 w miejscu georeaktora są wentylacyjnie obojętne dla przewietrzania w przyszłości wyrobisk na poziomie 30 m. Konieczność podsadzenia lub odizolowania wyrobisk okonturowujących parcelę pokładu 310 w rejonie georeaktora podziemnego zgazowania węgla nie mogła przyczynić się do utraty przewietrzania poziomu 30 m, tym samym sieć wentylacyjna kopalni nie ulegnie zmianie.

Reasumując, przyjęta lokalizacja miejsca podziemnego zgazowania węgla w pokładzie 310 Kopalni Doświadczalnej „Barbara” nie wpłynęła na ograniczenie przewietrzania wyrobisk na poziomie 30 m i nie stanowiła zagrożenia dla infrastruktury na powierzchni.

Przeprowadzenie eksperymentów podziemnego zgazowania węgla w pokładzie 310 na etapie projektowania wymagało opracowania rygorów bezpieczeństwa zgodnie z obowiązującymi przepisami oraz zasadami „sztuki górniczej”. Eksperyment podziemnego zgazowania węgla w świetle górniczych przepisów mieści się w definicji pożaru podziemnego. Kopalnia Doświadczalna „Barbara” prowadzi roboty górnicze zgodnie

z obowiązującymi przepisami, jednakże charakter naukowo-badawczy tej kopalni wymusza odstępnie w części od postanowień zawartych w przepisach bezpieczeństwa przy prowadzeniu eksperymentów i doświadczalnych wybuchów.

Pożar podziemny w świetle definicji przepisów charakteryzuje się wystąpieniem takich zjawisk jak: obecność otwartego ognia, wystąpienie dymów lub przekroczenie dopuszczalnej zawartości tlenu węgla w powietrzu powyżej 26 ppm. Należy nadmienić, że podczas prowadzenia eksperymentu podziemnego zgazowania występują wszystkie zjawiska definiujące pożar podziemny wg obowiązujących przepisów.

Przebiegowi eksperymentów podziemnego zgazowania węgla w warunkach Kopalni Doświadczalnej „Barbara” przypisano nazwę kontrolowanych pożarów podziemnych.

W dalszej części publikacji zostaną przedstawione wyniki dwóch eksperymentów podziemnego zgazowania, które przeprowadzono w ramach realizacji projektu HUGE-1 i HUGE-2.

## **2.1. Pierwsza próba podziemnego zgazowania węgla przeprowadzona w ramach projektu HUGE-1**

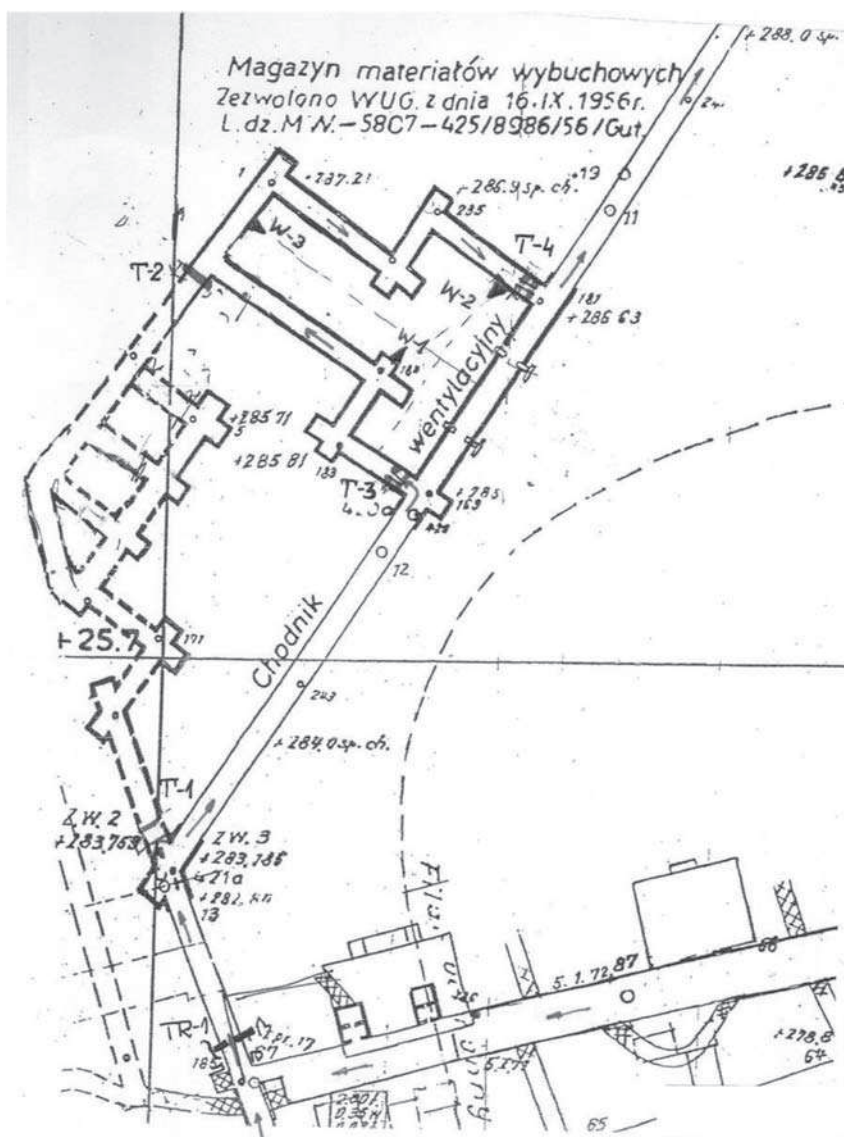
Uwzględniając strukturę podziemną wyrobisk KD „Barbara” oraz ich przewietrzanie w wyniku oddziaływania depresji naturalnej (tj. przy wyłączonym wentylatorze głównym), założono, że pierwszy eksperyment podziemnego zgazowania węgla będzie prowadzony przy wyłączonym wentylatorze. Wydatki oraz kierunki powietrza płynącego w wyrobiskach sieci wentylacyjnej w warunkach załączonego oraz wyłączzonego wentylatora głównego naniesiono na uproszczonym schemacie przestrzennym wentylacyjnym (rys. 1).

Pierwszą próbę podziemnego zgazowania węgla przeprowadzono w parceli pokładu 310 przy wykonaniu następujących zabezpieczeń:

- zabudowanie tam izolacyjnych T-1 i T-2 w wydaniu przeciwwybuchowym w wyrobiskach łączących parcelę pokładu okonturowujących georeaktor z wyrobiskami stwarzającymi przestrzeń, która po wypełnieniu się gazem procesowym podczas eksperymentu mogła stworzyć warunki do wystąpienia wybuchu,
- zabudowanie tam przeciwwybuchowych z przełazami T-3 i T-4 w wyrobiskach okonturowujących georeaktor,
- wywiercenie otworu badawczego dla kanału ogniowego z wciniek W-1 i W-2, który połączył wyrobiska okonturowujące georeaktor,
- zabudowę rurociągu  $\phi$  0,1 m, doprowadzającego tlen lub powietrze oraz rurociągów  $\phi$  0,2 m, odprowadzających gaz procesowy wyrobiskami dołowymi oraz szybem wentylacyjnym do pochodni zlokalizowanej na powierzchni,
- zabudowanie czujników gazometrii automatycznej CO, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> w wyrobiskach wentylacyjnie związanych z georeaktorem,
- zabudowanie tamy regulacyjnej TR-1 z możliwością jej zdalnego otwarcia lub zamknięcia.

Na wycinku mapy pokładu 310 (rys. 2) naniesiono zabudowanie tam izolacyjnych oraz niezbędną infrastrukturę, która została wykonana przed uruchomieniem procesu zgazowania węgla w 2010 roku w ramach projektu HUGE-1. Lokalizacja podziemnego zgazowania węgla oraz sposób izolacji parceli pokładu 310 nie stwarzały możliwości migracji niebezpiecznego gazu procesowego z georeaktora do wyrobisk i powstania w nich zagrożenia wybuchowego.

Rys. 2. Infrastruktura wyrobisk wraz z zabudową tam izolacyjnych przed uruchomieniem procesu zgazowania





W tamach przeciwwybuchowych T-3 i T-4, stanowiących pierwszą linię obrony przed zagrożeniem gazowym dla kopalń zabudowano przepusty tamowe, które były otwarte w trakcie eksperymentu. Tamy zostały wyposażone w króćce umożliwiające połączenie z rurociągiem  $\phi$  0,50 m w celu podawania azotu dla zinertyzowania atmosfery w przestrzeni wyrobisk pomiędzy tamami T-3 i T-4 po zamknięciu przepustów tamowych. W stanie awaryjnym lub po zakończeniu eksperymentu sposób zabezpieczenia georeaktora podziemnego zgazowania węgla został ukierunkowany na prawidłowy przebieg procesu oraz w razie powstania stanu awaryjnego – na przerwanie eksperymentu, ograniczenie skutków zagrożenia gazowego w wyrobiskach wentylacyjnie związanych z georeaktorem.

Zapalenie pokładu 310 w kanale ogniowym (otworze) przeprowadzono przy użyciu wprowadzonego palnika zasilanego z butli gazowej. Podziemne zgazowanie węgla przebiegało przez 17 dni wzdłuż otworu (kanału ogniowego) w kierunku ujęcia gazu procesowego do rurociągu  $\phi$  0,2 m. Gaz procesowy był spalany w pochodni na powierzchni w rejonie szybu wentylacyjnego.

Przeprowadzona w 2010 roku próba podziemnego zgazowania węgla została szczegółowo przedstawiona w publikacjach [1, 3 i 4].

## **2.2. Druga próba podziemnego zgazowania węgla przeprowadzona w ramach projektu HUGE-2**

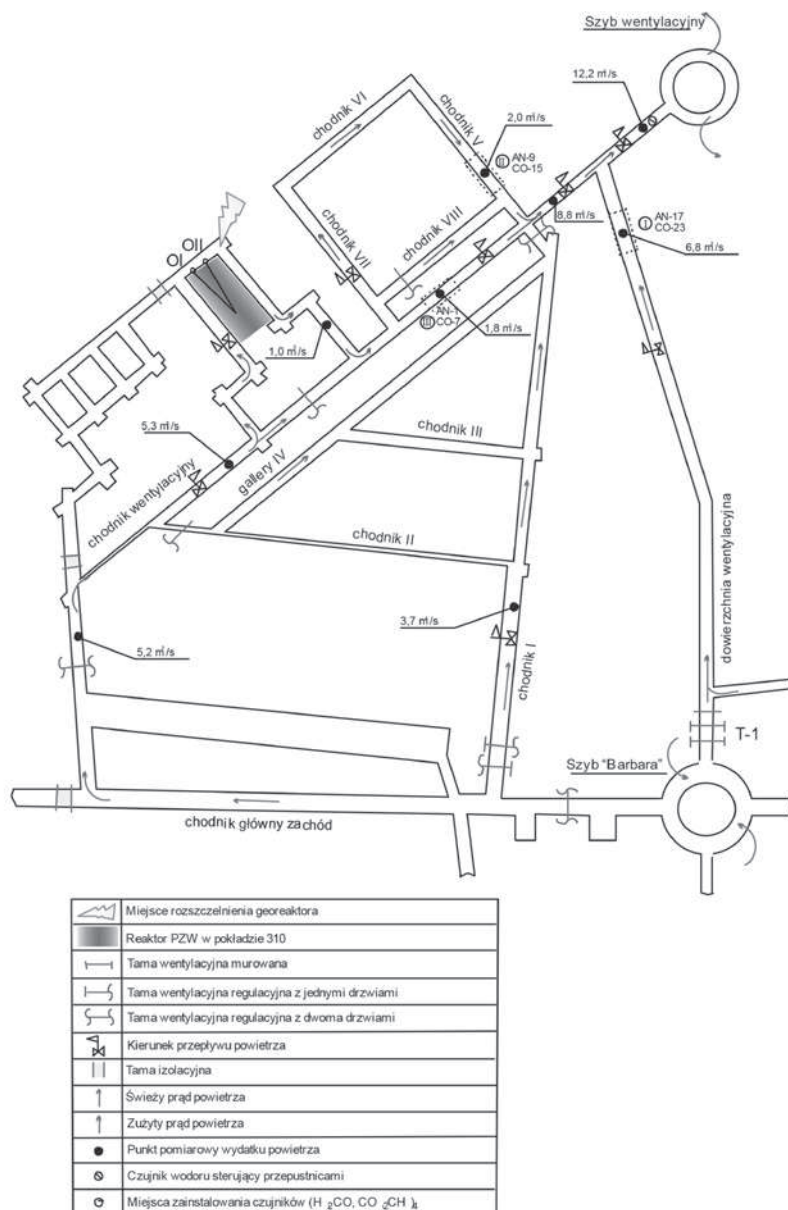
Wyniki przeprowadzonej pierwszej próby podziemnego zgazowania węgla w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” oraz projektowanie pilotażowej technologii podziemnego zgazowania w KHW SA KWK „Wieczorek” w ramach realizacji projektu strategicznego pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju stworzyło przesłanki do pogłębienia wiedzy obejmującej zgazowanie węgla w czynnej kopalni węgla kamiennego.

Projekt HUGE-2 zrealizowany w Głównym Instytucie Górnictwa, finansowany przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali objął zakresem technologię zgazowania parceli pokładu 310 przy założeniu geometrii otworów w georeaktorze, podobnie jak w projektowanej pilotażowej technologii zgazowania węgla w KHW SA KWK „Wieczorek”. Doświadczenia praktyczne zdobyte podczas zgazowania w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w 2010 roku pozwoliły na rozszerzenie zakresu badań podczas prowadzenia zgazowania w 2013 roku, jak również na opracowanie projektu pilotującej technologii podziemnego zgazowania węgla w czynnej kopalni węgla kamiennego.

Georeaktor podziemnego zgazowania węgla usytuowano w tej samej parceli pokładu 310 w niewielkiej odległości od przeprowadzonej próby zgazowania w 2010 roku.

Dla przeprowadzenia drugiej próby zgazowania wykonano dwa otwory połączone w kształcie litery „V” o średnicy  $\phi$  0,2 m. Wykonano ponadto omurowany otwór  $\phi$  0,3 m z powierzchni do wyrobisk podziemnych, którym gaz procesowy był odprowadzany na powierzchnię. Schematyczne rozmieszczenie otworów w parceli pokładu oraz infrastruktury w procesie zgazowania przedstawiono schematycznie na rysunku 3.

Rys. 3. Schemat rozmieszczenia urządzeń i punktów pomiarowych w trakcie eksperymentu PZW w KD „Barbara” w 2013 roku [5]



Do procesu zgazowania węgla był podawany tlen, co pozwoliło na uzyskanie gazu procesowego o wartości opałowej  $9,5 \text{ MJ/m}^3$ . Proces zgazowania węgla przez 7 dni przebiegał bez zakłóceń. W ósmym dniu od rozpoczęcia procesu nastąpiło rozszczelnienie georeaktora, czego potwierdzeniem był skład gazu procesowego, tzn. wzrost zawartości

tlenu do 8% oraz obniżenie się objętościowych zawartości wodoru oraz tlenku węgla. Mieszanina gazu procesowego odprowadzanego rurociągiem z georeaktora była wybuchowa. Migracja gazu procesowego do wyrobisk okonturowujących georeaktor po rozszczelnieniu obudowy betonowej izolującej georeaktor przyczyniła się do powstania pod stropem wyrobisk okonturowujących georeaktor mieszaniny gazów  $H_2$  i CO o stężeniu wybuchowym.

Zarejestrowane w ósmym dniu przebiegu procesu zgazowania gazometrią automatyczną w powietrzu kopalnianym wyrobisk wentylacyjnie związanych z georeaktorem niebezpiecznych stężeń wodoru i tlenku węgla potwierdziły rozszczelnienie georeaktora i powstanie stanu awaryjnego.

Decyzja o zatrzymaniu procesu w ósmym dniu od jego rozpoczęcia była właściwa, co dodatkowo potwierdziła przeprowadzona wizja lokalna po 2 dniach od zatrzymania procesu. Zatrzymanie procesu zgazowania polegało na odcięciu tlenu podawanego do georeaktora i inertyzację atmosfery azotem powodującym wygaszenie i wychłodzenie. Temperatura w georeaktorze po 2 miesiącach inertyzacji azotem zbliżyła się do temperatury pierwotnej górotworu, co umożliwiło zakończenie procesu jego schłodzenia.

Przyczyny i okoliczności rozszczelnienia georeaktora i powstania zagrożenia wybuchowego przedstawiono szczegółowo w publikacji [5].

Przeprowadzone eksperymenty podziemnego zgazowania węgla w pokładzie 310 Kopalni Doświadczalnej „Barbara” pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- lokalizacja georeaktora w obszarze górniczym kopalni powinna uwzględnić kryteria bezpieczeństwa dla przestrzennego usytuowania georeaktora względem wyrobisk i zrobów oraz w sieci wentylacyjnej kopalni,
- niezbędne jest wprowadzenie rygorów oraz monitoringu zagrożeń wentylacyjno-gazowych warunkujących bezpieczeństwo przebiegu procesu zgazowania,
- w trakcie prowadzenia prób zgazowania istnieje możliwość powstania stanu awaryjnego, który może spowodować powstanie w wyrobiskach atmosfery niebezpiecznej, wentylacyjnie związanej z procesem,
- zagadnienia bezpieczeństwa nabierają większej wagi w warunkach prowadzenia zgazowania węgla w czynnej kopalni węgla kamiennego.

Doświadczenia zdobyte w związku z przeprowadzeniem prób podziemnego zgazowania węgla w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa stanowiły podstawę do zaprojektowania tej technologii eksploatacji w czynnej kopalni węgla kamiennego.

### **3. Podsumowanie**

Przeprowadzone eksperymenty podziemnego zgazowania węgla w pokładzie 310 Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- wyniki dwóch przeprowadzonych eksperymentów podziemnego zgazowania stworzyły podstawę do opracowania warunków, kryteriów i rygorów ujętych w projekcie opracowanym dla pilotażowej próby podziemnego zgazowania węgla w czynnej kopalni węgla kamiennego KHW SA KWK „Wieczorek”,
- pozostawione resztki zasobów węgla w kopalni czynnej lub przeznaczonej do likwidacji mogą być wyeksploatowane dzięki zastosowaniu technologii podziemnego zgazowania węgla,
- ograniczenia oraz rygory warunkujące bezpieczeństwo przebiegu procesu podziemnego zgazowania węgla ze względu na zatrudnioną załogę ograniczają jej zastosowanie w czynnych kopalniach węgla kamiennego,
- większa skala eksploatacji pokładów węgla z zastosowaniem procesu podziemnego zgazowania węgla jest możliwa w likwidowanych podziemnych kopalniach węgla kamiennego.

### Literatura

1. Cybulski K., Krause E., Stańczyk K., *Warunki bezpieczeństwa dla projektowanego eksperymentu podziemnego zgazowania węgla w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa*, XXXIII Międzynarodowa Konferencja Instytutów Bezpieczeństwa Górniczego, Szczyrk, wrzesień 2009.
2. Drzewiecki J., Krause E., *Podstawowe założenia budowy generatora PZW w obszarze górniczym KHW S.A. KWK „Wieczorek”*, XVIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Górnictwo Zagrożenia Naturalne 2011” nt. „Człowiek – zagrożenie i bezpieczeństwo”, Targanice k. Żywca, 7–10 listopada 2011.
3. Wiatowski M., Stańczyk K., Świądrowski J., Kapusta K., Cybulski K., Krause E., Grabowski J., Rogut J., Howaniec N., Smoliński A., *Semi-technical underground coal gasification (UCG) Using the shaft method in Experimental Mine „Barbara”*, „Fuel” 2012, nr 99, s. 170–179.
4. Stańczyk K., Dubiński J., Cybulski K., Wiatowski M., Świądrowski J., Kapusta K., Rogut J., Smoliński A., Krause E., Grabowski J., *Underground coal gasification – International experiments and experiments in Barbara mine*, „Energy Policy” nr 13 (2), s. 423–433.
5. Krause E., Krzemień A., Smoliński A., *Analysis and assessment of a critical event during an underground coal gasification experiment*, „Journal of Loss Prevention in the Process Industries”, styczeń 2015.
6. Rank J., *Dependence of product gas calorific value and composition on gas moisture content in underground gasification of hard coal. Communication no. 305*, „Mining and Environment”, Central Mining Institute, Katowice 1962 [in Polish].
7. Rauk J., *Optimal dimensions of georeactor in underground gasification of hard coal. Communication no. 660*, „Mining and Environment”, Central Mining Institute, Katowice 1976 [in Polish].