

Krzysztof KORCZAK\*, Andrzej DAWIDOWSKI\*\*,  
Zbigniew BZOWSKI\*\*

GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA  
\*ZAKŁAD OCHRONY WÓD  
\*\*ZAKŁAD MONITORINGU ŚRODOWISKA  
KATOWICE

## MONITORING ŚRODOWISKA WODNEGO W BADANIACH PILOTOWYCH PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA WĘGLA KAMIENNEGO

MONITORING OF WATER ENVIRONMENT IN PILOT  
INVESTIGATIONS OF UNDERGROUND HARD COAL  
GASIFICATION

*A possible utilization of available hard coal resources is their underground gasification directly in the deposit. The produced gas is brought to the surface and used in a chemical synthesis or power engineering. The paper presents results of the investigations carried out during a run of a georeactor in the hard coal deposit located 450 m under the ground level. Furthermore, the investigations concern processes taking place in the cooling system as well as during the purification of the gaseous product. Results of the monitoring of underground and surface waters in the range of the impact of the installation are discussed as well. The environmental risk of the technology is mostly related to a potential negative influence of the underground gassing system on the surface and underground waters.*

**słowa kluczowe:** *podziemne zgazowanie, węgiel kamienny, monitoring, woda*  
**keywords:** *underground gasification, hard coal, monitoring, water*

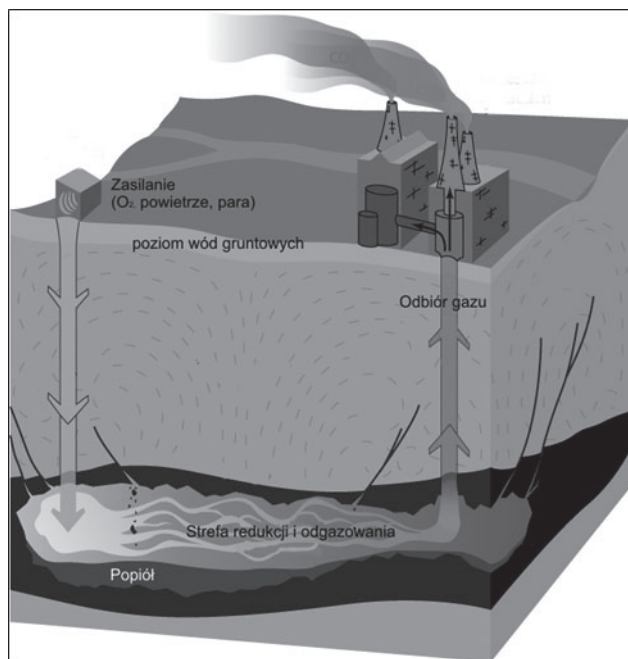
### 1. Wprowadzenie

Proces podziemnego zgazowania węgla jest metodą pozyskiwania energii w wyniku działania na węgiel kamienny występujący w formach pokładowych. Metoda polega na bezpośrednim doprowadzeniu czynnika zgazowującego do złoża węgla kamiennego i odbiór w ten sposób wytworzonego gazu na powierzchni [2]. Metoda ta jest szczególnie uzasadniona w przypadku pokładów węgla kamiennego, których eksploatacja metodą tradycyjną jest nieopłacalna bądź niemożliwa ze względów bezpieczeństwa. Wiele danych potwierdza wykonalność techniczną oraz atrakcyjność ekonomiczną takiego sposobu uzyskiwania energii z węgla kamiennego [11], [8], [2], [10].

Ryzyko środowiskowe technologii związane jest głównie z potencjalnym negatywnym wpływem procesu podziemnego zgazowania węgla na wody podziemne oraz wody powierzchniowe. W przypadku konieczności usuwania kondensatów procesowych i odwadniania rejonu eksploatacji zagrożenie środowiska występuje zarówno w czasie prowadzenia procesu jak i po jego zakończeniu. W procesie podziemnego zgazowania węgla powstają i przechodzą do środowiska wodnego, w tym ścieków procesowych, liczne zanieczyszczenia organiczne oraz nieorganiczne.

Skład chemiczny oraz wartość opałowa powstającego w procesie podziemnego zgazowania węgla gazu zależą głównie rodzaju węgla kamiennego poddawanego zgazowaniu oraz od zastosowanego czynnika zgazowującego. Czynnikiem tym może być tlen, powietrze, para wodna oraz ich mieszaniny w dowolnym stosunku ilościowym. Istotne znaczenie na przebieg procesu mają również warunki geologiczne oraz hydrogeologiczne zalegania złoża. Decydują one o oddziaływaniu reagującego układu z otoczeniem, w tym o wielkości dopływu wód podziemnych do reagującego układu.

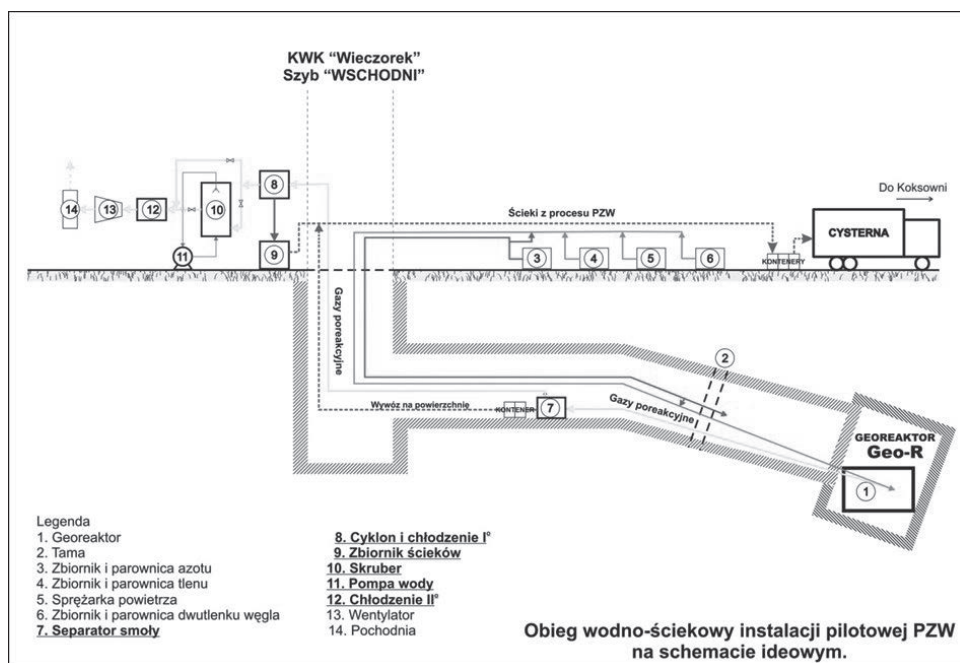
Schemat procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego przedstawiono na rysunku 1 [3].



Rys. 1 Schemat procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego  
 Pic 1. Diagram of the underground process of hard coal gasification

## 2. Ogólna charakterystyka badań podziemnego zgazowania węgla kamiennego

Procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego prowadzono w pilotowej instalacji Kopalni Węgla Kamiennego „Wieczorek” należącej do Katowickiego Holdingu Węglowego S.A. Schemat tej pilotowej instalacja podziemnego zgazowania węgla ze szczególnym uwzględnieniem obiegu wodno-ściekowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2 Obieg wodno-ściekowy na schemacie pilotowej instalacji podziemnego zgazowania węgla kamiennego

Pic 2. Water-waste circulation on the diagram of the pilot installation of underground hard coal gasification

Przy wybranej lokalizacji georeaktora i przy projektowanym sposobie eksploatacji pilotowej instalacji podziemnego zgazowania węgla, zakładano, że ryzyko zanieczyszczenia wód podziemnych zostanie ograniczone do minimum. Georeaktor zlokalizowano w utworach na głębokości około 450 m, w obrębie filara szybowego, który charakteryzuje się mniejszą wodoprzepuszczalnością w stosunku do rejonów gdzie prowadzono intensywną eksploatację górnictwa [7]. Strefa georeaktora stanowiła wydzielony, odizolowany fragment złoża węgla kamiennego, zabezpieczony przed możliwością rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w systemie odwadniania kopalni

### 3. Ścieki i wody podziemne w procesie podziemnego zgazowania węgla kamiennego

Ścieki powstają zarówno w czasie prowadzenia procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego jak i po zakończeniu eksploatacji reaktora podziemnego. W czasie eksploatacji reaktora powstające ścieki to głównie kondensaty procesowe wydzielone w różnych elementach układu odprowadzania i oczyszczania gazu. Stanowią one głównie zagrożenie dla wód powierzchniowych. Na bilans powstających ścieków po zaskoczeniu eksploatacji instalacji podziemnego zgazowania węgla składają się kondensaty wydzielane z ciepłego i wilgotnego gazu wydobywającego się z przestrzeni poreakcyjnej oraz wody dołowe napływające do przestrzeni poreakcyjnych i wypompowywane na powierzchnię celem likwidacji i zamknięcia instalacji. Na ilości ścieków powstających w procesie podziemnego zgazowania węgla kamiennego wpływ ma ogólny bilans wody dostępnej w procesie. Woda obecna podczas prowadzenia procesu, pochodzi z czterech zasadniczych źródeł:

- woda obecna w pokładzie węgla kamiennego jako zasoby statyczne,
- wody podziemne infiltrujące z powierzchni, które przedostają się do otoczenia georeaktora,
- woda chemicznie związana występująca w minerałach obecnych w węglu kamiennym,
- para wodna używana w czasie procesu jako dodatek do czynnika zgazowującego.

W zależności od warunków hydrogeologicznych lokalizacji reaktora podziemnego, warunków termodynamicznych prowadzenia procesu oraz zapotrzebowania na wodę jako jednego z podstawowych surowców procesu zgazowania, ilości produkowanych w procesie ścieków są różne [9]. Wody procesowe z procesu podziemnego zgazowania węgla zawierają wiele niebezpiecznych związków chemicznych pochodzenia naturalnego [10], ponieważ w czasie prowadzenia tego procesu nie wprowadza się dodatkowych zanieczyszczeń [11].

#### 3.1 Gromadzenie i unieszkodliwianie ścieków

W strefie georeaktora stwierdzono występowanie lokalnych wykropleń i wycieków wody ze skał stropowych odsączających się z górotworu o łącznym przepływie do około 0,1 m<sup>3</sup>/min. W związku z tym, w pilotowej instalacji podziemnego zgazowania węgla KWK „Wieczorek” ilość ścieków powstających w czasie prowadzenia procesu oszacowano na około 0,2 m<sup>3</sup>/t zgazowanego węgla kamiennego. Podstawowym sposobem zapobiegania migracji zanieczyszczeń do wód podziemnych w otoczeniu georeaktora było prowadzenie procesu podziemnego zgazowania węgla pod ciśnieniem niższym niż ciśnienie hydrostatyczne.

Ścieki powstające w czasie chłodzenia i oczyszczania gazów poreakcyjnych w urządzeniach zainstalowanych pod ziemią oraz na powierzchni przy Szybie „Wschodnim”, były sukcesywnie przepompowywane do cystern i przewożone do przemysłowej oczyszczalni ścieków w Dąbrowie Górniczej. Ścieki z podziemnego zgazowania węgla mają charakterystykę zbliżoną do ścieków koksowniczych [1], które ze względu na swój specyficzny skład oraz duże ładunki niesionych zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych wymagają kompleksowego oczyszczania obejmującego procesy mechaniczno-chemiczne i biologiczne [4]. W przypadku charakteryzowanego procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego warunek ten został spełniony.

### 3.2 Wyniki badań kontrolnych zanieczyszczenia wód podziemnych

W celu określenia potencjalnego wpływu procesu podziemnego zgazowania węgla na wody podziemne, przeprowadzono badania parametrów charakterystycznych dla wód kopalnianych oraz dla ścieków przemysłowych powstających w procesie podziemnego zgazowania węgla. Uwzględniono wymagania prawne w zakresie odprowadzania ścieków do środowiska [5].

Badania prowadzone były w okresie przygotowania i działania, marzec-wrzesień 2014r. oraz w okresie likwidacji georeaktora – czerwiec-sierpień 2015r. Próbkę pobierano według ustalonego harmonogramu w 4 ustalonych punktach pomiarowo-kontrolnych wód kopalnianych dopływających z rejonu georeaktora (nr 28, 29, 44 i 53) oraz w 2 ustalonych punktach pomiarowo-kontrolnych wód wypompowywanych na powierzchnię poprzez system głównego odwadniania (nr G-1 i G-2). Miejsca pobierania próbek wód kopalnianych objętych ryzykiem niekorzystnego oddziaływania procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Miejsca pobierania próbek wód kopalnianych objętych ryzykiem niekorzystnego oddziaływania procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego

Table 1. Locations of the acquisition points of underground water samples under the risk of an adverse influence of the underground hard coal gasification process

Nr	Miejsce pobierania	Opis punktu	Wielkość wypływu [m <sup>3</sup> /min]	UWAGI
28	poziom 464 m	dopływ do rżędzia szybu Wschodniego na poz. 464 m	0,38	Możliwość zanieczyszczenia
29	poziom 580 m	Dopływ ze zrobów w pokładzie 510	0,073	Możliwość zanieczyszczenia
44	poziom 550 m	Dopływ wód podsadzkowych i dopływ naturalny ze zrobów w pokładzie 510	0,13	Najwyższe ryzyko zanieczyszczenia
53	poziom 580 m	Dopływ ze zrobów w pokładach 501 i 510	0,055	Potencjalna możliwość zanieczyszczenia
G-1	osadnik wód dołowych przy szybie „Rożdzieński”	Dopływ wód słabo zmineralizowanych z poziomu 580 m	3,615	Zrzut do wód powierzchniowych
G-2	osadnik wód dołowych przy szybie „Rożdzieński”	Dopływ wód silnie zmineralizowanych z poziomu 630 m	5,139	Zrzut do wód powierzchniowych

W czasie prowadzonego monitoringu, w pobranych próbkach oznaczano wybrane wskaźniki zanieczyszczenia wód podziemnych określone na podstawie pozwolenia wodnoprawnego oraz parametrów charakterystycznych dla procesu podziemnego zgazowania węgla. Wyniki badań wód kopalnianych obejmowały 3 fazy prowadzenia procesu pilotowego zgazowania węgla:

- przed uruchomieniem procesu podziemnego zgazowania węgla (Faza 1)
- w czasie realizacji podziemnego zgazowania węgla (Faza 2).
- po zakończeniu procesu na etapie wygaszania georeaktora oraz wypełniania pustek poeksploatacyjnych (Faza 3)



Tabela 3. Wyniki badań wód kopalnianych w czasie realizacji podziemnego zgazowania węgla kamiennego

Table 3. Results of the analysis of underground waters during underground hard coal gasification

Nr punktu pomiarowo-kontrolnego			29	44	53	G-1	G-2
L.P.	Parametr	Jednostka					
1	przewodność	μS/cm	12 900	14 400	13 200	3 900	20 800
2	odczyn	pH	7,5	8	7,2	7,1	7,6
3	BZT <sub>5</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	0,81	5,5	0,89	0,85	1,2
4	ChZT <sub>(Cr)</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	22	88	<20	<10	61
5	azot amonowy	mg/l NH <sub>4</sub>	0,54	0,26	0,032	0,23	1,2
6	azot ogólny	mg/l N	2,1	2	1,5	0,63	2,1
7	fosfor ogólny	mg/l P	0,23	0,13	0,14	<0,01	0,051
8	zawiesina ogólna	mg/l	6,8	370	5,2	27	190
9	chlorki	mg/l Cl	4 200	5 000	4 300	690	7 800
10	siarczany	mg/l SO <sub>4</sub>	630	1 000	660	930	900
11	cyjanki ogólne	mg/l CN	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
12	fenole lotne	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
13	OWO	mg/l C	6,2	19	6,3	2,1	7,4
14	chrom	mg/l Cr	<0,005	0,006	<0,005	<0,005	<0,005
15	cynk	mg/l Zn	<0,03	0,14	<0,03	1,11	0,089
16	miedź	mg/l Cu	0,014	0,1	0,011	0,009	0,054
17	nikiel	mg/l Ni	<0,005	0,02	<0,005	0,077	0,014
18	ołów	mg/l Pb	<0,005	0,01	<0,005	<0,005	<0,02
19	ΣWWA	μg/l	<0,02	0,09	<0,02	0,02	<0,02
20	węglowodory ropopochodne	mg/l	<0,1	1,2	<0,1	<0,1	<0,1

Tabela 4. Wyniki badań wód kopalnianych po zakończeniu procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego w czasie wygaszania georeaktora  
 Table 4. Results of the analysis of underground waters after the termination of the underground hard coal gasification process

Nr punktu pomiarowo-kontrolnego			28	29	44	53	G-1	G-2
L.P.	Parametr	Jednostka						
1	przewodność	μS/cm	2 950	11 800	17 500	11 900	3 900	18 300
2	odczyn	pH	8,3	7,5	8	7,3	7,6	7,8
3	BZT <sub>5</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	4,4	0,98	2,5	1	0,97	1,6
4	ChZT <sub>(Cr)</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	38	<20	<30	<20	<10	84
5	azot amonowy	mg/l NH <sub>4</sub>	1,3	0,58	0,12	0,023	0,12	0,61
6	azot ogólny	mg/l N	2,9	1,9	1,8	1,3	0,63	1,9
7	fosfor ogólny	mg/l P	0,034	0,23	<0,03	0,18	<0,02	0,11
8	zawiesina ogólna	mg/l	150	8	21	8,6	6,2	270
9	chlorki	mg/l Cl	770	3 900	6 500	3 900	740	6 900
10	siarczany	mg/l SO <sub>4</sub>	260	530	1 100	540	890	800
11	cyjanki ogólne	mg/l CN	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
12	fenole lotne	mg/l	0,31	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
13	OWO	mg/l C	6	4,7	3	4,1	1,6	16
14	chrom	mg/l Cr	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
15	cynk	mg/l Zn	0,13	<0,03	<0,05	<0,03	0,77	0,16
16	miedź	mg/l Cu	0,006	<0,005	0,011	<0,005	<0,005	<0,01
17	nikiel	mg/l Ni	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005	0,056	0,021
18	ołów	mg/l Pb	0,0074	<0,005	<0,01	<0,005	<0,005	0,022
19	ΣWVA	μg/l	0,03	<0,02	0,14	<0,02	0,6	0,02
20	węglowodory ropopochodne	mg/l	0,5	<0,1	1,4	<0,1	<0,1	<0,1



#### **4. Ocena zabezpieczenia wód podziemnych przed zanieczyszczeniem w procesie podziemnego zgazowania węgla kamiennego**

Do najważniejszych problemów zalicza się potencjalny negatywny wpływ procesu podziemnego zgazowania węgla na wody podziemne oraz powierzchniowe [5], także w przypadku odwadniania pola eksploатовanego i wypompowywania powstających ścieków na powierzchnię [6]. W czasie prowadzenia procesu powstają liczne zanieczyszczenia w postaci organicznych związków aromatycznych m.in.: benzen, toluen, etylobenzen, ksyleny, fenole oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Dodatkowo nastąpić może uwalnianie znacznych ilości metali ciężkich z węgla kamiennego oraz powstających podczas zgazowania popiołów [11]. Do niebezpiecznych zanieczyszczeń zliczyć należy również amoniak oraz cyjanki. W wyniku wysokich temperatur, które towarzyszą procesowi następuje wzrost rozpuszczalności zanieczyszczeń w wodach i możliwość ich migracji do warstw wodonosnych.

Przeprowadzony monitoring wód podziemnych objętych potencjalnym oddziaływaniem georeaktora procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego, pozwolił na identyfikację zmian wartości wskaźników zanieczyszczeń. Na podstawie analizy wyników badań wód podziemnych przeprowadzonych w czasie prowadzenia procesu podziemnego zgazowania węgla oraz po zakończeniu eksperymentu i wypełnieniu pustek poeksploatacyjnych odpadami energetycznymi, stwierdzono obecność substancji charakterystycznych dla omawianego procesu, ale w ilościach (stężeniach) nie stanowiących zagrożenia dla jakości zasobów wód podziemnych. Sposób prowadzenia procesu podziemnego zgazowania węgla w istniejących uwarunkowaniach geologiczno-górnicznych pozwolił w praktyce na minimalizację ryzyka emisji zanieczyszczeń do wód podziemnych. Zabezpieczenie zasobów wód podziemnych ma znaczenie dla efektywnego stosowania procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego w czynnych zakładach górniczych.

W związku z tym, analizując możliwości minimalizacji zagrożeń procesu podziemnego zgazowania węgla dla środowiska wodnego, odmienne podejście należy przyjąć dla etapu czynnej eksploatacji georeaktora i dla etapu zakończenia pracy instalacji.

Mechanizm powstawania zanieczyszczeń wód podziemnych w okresie pracy reaktora obejmuje głównie przedostawanie się zanieczyszczeń do otoczenia reaktora wraz z gazem uciekającym do przestrzeni górotworu. Następnie zanieczyszczenia te przenikają do wód podziemnych, czemu sprzyja podwyższona temperatura środowiska migracji. Problem ten nabiera szczególnego znaczenia w przypadku prowadzenia zgazowania pod zwiększonym ciśnieniem, przekraczającym ciśnienie hydrostatyczne panujące w górotworze. Prowadzenie procesu pod ciśnieniem niższym od ciśnienia hydrostatycznego otoczenia, powoduje migrację wody z górotworu w kierunku do wnętrza reaktora, co minimalizuje migrację gazu i zanieczyszczeń do otoczenia. Niezwykle istotny jednak staje się odpowiedni dobór ciśnienia pracy reaktora ze względu na kontrolę wielkości dopływu wody do strefy reakcji. Przy odpowiednio dobranych parametrach pracy reaktora w czasie eksploatacji instalacji ryzyko skażenia wód podziemnych zostaje zminimalizowane.

Zagrożenie dla wód podziemnych pojawia się natomiast w chwili wyłączenia reaktora z eksploatacji. Spadek ciśnienia w reaktorze powoduje stopniowy napływ wody do przestrzeni poreakcyjnej i uruchomienie procesów wymywania zanieczyszczeń i ich migracji w środowisku wód podziemnych. Na tym etapie konieczna jest kontrola napływu wody do reaktora i odbiór odcieków poprocesowych z rejonu eksploatacji poprzez ujęcie ich pod ziemią i wypompowanie na powierzchnię oraz ich oczyszczenie do wymaganych parametrów w oczyszczalni ścieków przemysłowych.

## 5. Wnioski

1. Proces podziemnego zgazowania węgla kamiennego wiąże się z powstawaniem i uwalnianiem do środowiska zanieczyszczeń zaliczanych do substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, pomimo, że w czasie prowadzenia procesu nie wprowadza się zanieczyszczeń. Dobór odpowiednich parametrów termodynamicznych prowadzenia procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego umożliwia w pewnym stopniu kontrolę kierunku przemieszczania się zanieczyszczeń w czasie czynnej eksploatacji reaktora podziemnego.
2. Ścieki procesowe charakteryzują się bardzo wysoką toksycznością i nie mogą być wprowadzane bez oczyszczenia do wód powierzchniowych lub podziemnych. Wymagają oczyszczenia w specjalistycznych przesyłowych oczyszczalniach ścieków pochodzących z procesu koksowania węgla kamiennego.
3. Monitoring wód podziemnych objętych potencjalnym oddziaływaniem georeaktora procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego, pozwolił na identyfikację zmian wartości wskaźników zanieczyszczeń. Na podstawie analizy wyników badań wód podziemnych w czasie prowadzenia procesu podziemnego zgazowania węgla oraz po zakończeniu eksperymentu stwierdzono obecność zanieczyszczeń charakterystycznych dla omawianego procesu, ale w ilościach (stężeniach) nie stanowiących zagrożenia dla jakości zasobów wód podziemnych.
4. Po wyłączeniu georeaktora konieczna jest kontrola napływu wody i odbiór odcieków z rejonu eksploatacji poprzez ujęcie ich pod ziemią i wypompowanie na powierzchnię oraz ich oczyszczenie do wymaganych parametrów w oczyszczalni ścieków przemysłowych.
5. Problem potencjalnego oddziaływania procesu podziemnego zgazowania węgla kamiennego na środowisko wodne wymaga szczegółowej analizy na etapie projektowania, eksploatacji i likwidacji instalacji oraz podjęcia przedsięwzięć ograniczających zasięg oddziaływania.

## Bibliografia

- 1) BAT 2006.: Najlepsze dostępne techniki – wytyczne dla branży koksowniczej, Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze 2007.
- 2) Kapusta K., Stańczyk K. 2009.: *Uwarunkowania i ograniczenia rozwoju procesu podziemnego zgazowania węgla w Polsce*. Przemysł Chemiczny 88/4, 331-338.
- 3) Kapusta K., Stańczyk K., Korczak K., Pankiewicz M., Wiatowski M. 2010.: *Wybrane aspekty oddziaływania procesu podziemnego zgazowania węgla na środowisko wodne*. Prace Naukowe GIG Katowice – Górnictwo i środowisko nr 4, 17-27.
- 4) Osmólski J 2013...: *Oczyszczanie ścieków w Koksowni „Przyjaźń” S.A. w Dąbrowie Górniczej*, Forum Eksploatatora Nr 3/2013.
- 5) Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopad 2014r., w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. 2014, poz.1800 z późniejszymi zmianami)
- 6) Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2011r., w sprawie wykazu substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej (Dz. U. 2011 nr 254 poz. 1528).
- 7) Rogoż M. 2000.: *Hydrogeologia kopalniana z elementami hydrogeologii ogólnej*. Wyd. Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
- 8) Stańczyk K., Kapusta K. 2007.: *Podziemne zgazowanie węgla*. Karbo, Nr 2, 98-102.
- 9) Walters E.A., Niemczyk T.M. 1984.: The effect of underground coal gasification on ground water. US EPA; EPA-600/S2-84-123,
- 10) Yang L. 2009.: *Modeling of contaminant transport in underground coal gasification*. Energy & Fuels, vol. 23, 193-201.
- 11) Yang L., Liang J., Yu L. 2003.: *Clean coal technology – Study on the pilot*

