

PRACE NAUKOWE GIG

GÓRNICTWO I ŚRODOWISKO
MINING & ENVIRONMENT

RESEARCH
REPORTS

Quarterly

KWARTALNIK

2



GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA
CENTRAL MINING INSTITUTE

KATOWICE 2002

Rada Programowa ds. Wydawnictw: *prof. dr hab. inż. Henryk Filcek (przewodniczący), prof. dr hab. inż. Jerzy Sadowski (zastępca przewodniczącego), prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak, prof. dr hab. inż. Bernard Drzęźla, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, prof. dr hab. Sławomir Gibowicz, prof. dr hab. Jerzy Gustkiewicz, prof. dr hab. med. Danuta Koradecka, prof. dr hab. inż. Joanna Krajewska-Pinińska, prof. dr hab. inż. Korneliusz Miksch, prof. dr hab. inż. Janusz Roszkowski, prof. dr hab. inż. Janusz W. Wandrasz, prof. dr hab. inż. Piotr Wolański*

Komitet Kwalifikacyjno-Opiniodawczy: *prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński (przewodniczący), doc. dr hab. inż. Krystyna Czaplicka, prof. dr hab. inż. Jan Hankus, prof. dr hab. inż. Władysław Konopko, prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek, doc. dr hab. Kazimierz Lebecki, prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan, prof. dr hab. inż. Kazimierz Rulka, prof. dr hab. Jerzy Sablik, doc. dr hab. inż. Jan Wachowicz*

Redaktor Naczelny

prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan

Redakcja wydawnicza i korekta

Ewa Gliwa

Małgorzata Kuśmirek

Barbara Jarosz

Skład i łamanie

Krzysztof Gralikowski

ISSN 1643-7608

Adres Redakcji:

Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych
Głównego Instytutu Górnictwa, 40-166 Katowice, Pl. Gwarków 1
tel. (0-32) 259-24-03, 259-24-04, 259-24-05
fax 032/259-65-33
e-mail: cintexmk@gig.katowice.pl

Spis treści

KRYSTYNA CZAPLICKA, MALGORZATA BOJARSKA-KRAUS

Zastosowanie oceny cyklu życia w przemyśle wydobywczym. Metoda szacowania ekowskaźników dla procesów jednostkowych 5

Application of the life cycle assessment in the extractive industry. Methodology of estimation of ecoindices for unitary processes

ELEONORA SOLIK-HELIA SZ

Ocena możliwości odzysku ciepła z wód pompowanych z kopalń węgla kamiennego 17

Assessment of possibility of heat recovery from waters pumped from hard coal mines

ANDRZEJ PYTLIK

Badania odporności udarowej kotwi górniczych 25

Testing of impact resistance of mining bolts

JANUSZ KOMPALA, WITOLD MRUKWA, JANUSZ ŚWIDER

Teoria a praktyka stosowania ekranów akustycznych..... 43

Theory and practice of acoustic baffle application

BARBARA BIALECKA, JACEK GRABOWSKI

Problematyka gospodarki odpadami komunalnymi na składowiskach odpadów w świetle wdrażania wymagań UE 53

Problems of municipal waste management on waste dumping grounds in the light of implementation of EU requirements

ANTONI MAGDZIORZ, RYSZARD LACH

Analiza możliwości ograniczenia zasolenia Bierawki i Odry przez wody kopalniane 69

Analysis of reduction possibilities of Bierawka and Oder river salinity through mine waters

Kronika wydarzeń – Polskie Forum Nauki i Technologii w Londynie (Polish Science and Technology Forum) 20 maja 2002 roku 89

Vacat

Krystyna Czaplicka, Małgorzata Bojarska-Kraus

ZASTOSOWANIE OCENY CYKLU ŻYCIA W PRZEMYŚLE WYDOBYWCZYM. METODA SZACOWANIA EKOWSKAŹNIKÓW DLA PROCESÓW JEDNOSTKOWYCH

Streszczenie

W artykule omówiono możliwość wykorzystania analizy cyklu życia (LCA) do oceny wpływów ekologicznych związanych z działalnością wydobywczą kopalni. Metodą tą określa się charakter ekologiczny produktu „od kołyski do grobu”, od wydobycia surowców przez produkcję, użytkowanie i utylizację. W normach serii ISO 14040 zostały zdefiniowane cztery podstawowe etapy przeprowadzania LCA, tj: definicja celu i zakresu badań, analiza inwentarzowa, analiza wpływów czyli ocena oraz interpretacja uzyskanych wyników. Kategorie, w których należy rozpatrywać wpływy środowiskowe muszą obejmować: zużycie surowców, zdrowie człowieka i konsekwencje ekologiczne. Jedną z niewielu praktycznych metod oceny wpływów LCA jest metoda z wykorzystaniem ekowskaźnika 99. Metodę tę można stosować dla szacowania wpływów w każdej analizie cyklu życia, ponieważ określa liczbowo zniszczenie środowiska, wynikające z pojedynczego procesu i pozwala na sumowanie otrzymanych wyników. Obliczone wartości wskaźnika dla standardowych procesów i materiałów mogą być narzędziem w projektowaniu środowiskowym produktu, a także ekologicznym kryterium oceny procesów produkcji.

Zastosowanie LCA z wykorzystaniem ekowskaźnika do oceny ekologicznej kopalni węgla kamiennego wymaga sporządzenia modelu kopalni, zawierającego podział na procesy jednostkowe, tj. procesy, dla których zgodnie z wymaganiami ISO 14040, określono zindywidualizowaną charakterystykę. W przedstawionym modelu procesy jednostkowe zostały podzielone na procesy podstawowe: lokalne – bezpośrednio związane z podstawowym ogniwem produkcji węgla kamiennego (dodatkową cechą tych procesów jest ich przyporządkowanie do określonego miejsca w kopalni), procesy podstawowe rozłożone – również związane z podstawowym ogniwem produkcji węgla kamiennego (nie można ich jednak przypisać do określonego miejsca w kopalni, ponieważ są rozłożone w przestrzeni) oraz procesy pomocnicze – niezwiązane z podstawowym ogniwem produkcji węgla kamiennego, wspomagające jedynie proces produkcyjny.

Na przykładzie procesu drażenia wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych przedstawiono metodę szacowania ekowskaźnika 99, która polegała na: opracowaniu drzewa życia, inwentaryzacji danych wejściowych i wyjściowych do procesu, obliczeniu wartości ekowskaźnika przy wykorzystaniu programu komputerowego SimaPro 5.0 oraz analizie obciążenia w poszczególnych kategoriach strat: zdrowie człowieka, jakość ekosystemu i zasoby. Inwentaryzacje elementów wejściowych i wyjściowych wykonano dla trzech różnych wyrobisk. Zinwentaryzowane dane dla wyrobisk A i B dotyczyły wyrobisk kamiennych, natomiast wyrobisko C było wyrobiskiem węglowym. Dla wszystkich trzech wyrobisk największe obciążenie środowiska w kategorii „zdrowie człowieka” było związane ze wzrostem rakotwórczości i problemami oddechowymi, związanymi z zanieczyszczeniami nieorganicznymi. W kategorii „jakość ekosystemu” niekorzystny wpływ był wynikiem wzrostu ekotoksyczności. Rozpatrywany proces w dwóch pierwszych kopalniach dotyczył drażenia wyrobiska kamiennego, dlatego nie powodował znaczących strat w kategorii „zasoby”. W trzeciej kopalni zinwentaryzowany został proces drażenia wyrobiska węglowego, co jest związane ze wzrostem obciążenia w kategorii zasoby.

W artykule przedstawiono metodę szacowania oddziaływania ekologicznego procesu drażenia wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych. Obliczenie ekowskaźnika wszystkich zidentyfikowanych procesów pozwoli na ocenę ekologiczną i porównanie oddziaływań różnych procesów. W dalszej kolejności możliwa będzie ocena całej kopalni i określenie obciążenia środowiskowego związanego z jednostkowym wydobyciem węgla.

Application of the life cycle assessment in the extractive industry. Methodology of estimation of ecoindices for unitary processes

Summary

In the article the possibility to use the life cycle assessment (LCA) in order to evaluate ecological impacts connected with mine extraction activity has been discussed. By means of this method one determines the ecological character of a product “from the cradle to the grave”, from raw material mining through production, use and utilisation. In ISO standards of 14040 series four basic stages of LCA conducting were defined, namely: definition of objective and scope of investigations, inventory analysis, impact analysis, i.e. assessment and interpretation of obtained results. The categories, in which one should consider environmental impacts, must cover: raw materials consumption, human health and ecological consequences. One of few practical methods of LCA impact assessment is the method of ecoindex 99 application. This method can be used for impact estimation in every life cycle assessment, because it determines in numbers the environmental damage, resulting from the individual process and allows to sum the obtained results. The calculated index values for standardized processes and materials can be a tool in product environmental design, as well as a criterion of assessment of production processes.

LCA application with the use of the ecoindex for the ecological assessment of a hard coal mine requires to prepare a mine model, containing a division into unitary processes, i.e. processes, for which, in accordance with ISO 14040 requirements, the individualised characteristic was determined. In the presented model unitary processes were divided into basic processes: local – directly connected with the fundamental hard coal production links (an additional feature of these processes is their assignment to the determined spot in the mine), basic distributed processes – also connected with the basic hard coal production link (they cannot be, however, assigned to a determined spot in the mine, because they are disposed within the space) and auxiliary processes – not connected with the basic hard coal production link, only supporting the production process.

According to the example of mine working driving with the use of explosives, the methodology of ecoindex 99 estimation was presented, which consisted in: preparation of a life tree, inventory of input and output data to the process, calculation of ecoindex value when using the computer program SimaPro 5.0 and load analysis relating to individual categories of losses: human health, ecosystem quality, and resources. The inventories of input and output elements were carried out for three different mine workings. The listed data for A and B workings concerned rock workings, while the C working was a coal working. For all three workings the greatest environmental load in the category “human health” was connected with cancer-related hazard growth and respiratory problems, connected with inorganic pollutions. In the category “ecosystem quality” the unfavourable impact was the result of ecotoxicity growth. The considered process in the two first mines concerned rock working driving, therefore it did not cause significant losses in the category “resources”. In the third mine was listed the process of coal working driving, what is connected with the load increase in the category of resources.

The article presents the method of estimation of the ecological impact of the mine working driving process with the use of explosives. The calculation of the ecoindex of all identified processes will allow to perform ecological assessment and comparison of impact of different processes. In the further sequence will be possible the assessment of the entire mine and determination of environmental load connected with unitary coal extraction.

1. WPROWADZENIE

Dynamiczne zmiany zachodzące w gospodarce światowej wymagają od przedsiębiorstw dostosowania się do nowych warunków i wymagań otoczenia rynkowego. Dążenie do jak najbardziej efektywnego funkcjonowania przedsiębiorstw, nastawionego na maksymalizację wyników ekonomicznych często prowadzi do nieodwracalnej degradacji środowiska naturalnego i zubożenia zasobów naturalnych. Aby temu zapobiec przyjęto zasadę „zrównoważonego rozwoju ekonomicznego i społecznego”,

co w rezultacie było istotnym impulsem do zmiany podejścia do problemów ekologicznych w przedsiębiorstwach. Przedsiębiorstwa w różnym stopniu oddziałują na środowisko naturalne i w różny sposób wywiązują się z obowiązku jego ochrony. Szczególnie istotne zagrożenie środowiska stanowią zakłady przemysłu ciężkiego, w tym między innymi górnictwo.

Wejście Polski do Unii Europejskiej spowoduje zaostrzenie kryteriów ekologicznych i dlatego bardzo ważne są prace badawcze, które umożliwią szczegółową identyfikację wszystkich elementów oddziałujących negatywnie na środowisko naturalne, a w konsekwencji wskazanie działań, które ograniczą te niepożądane skutki.

2. ISTOTA ANALIZY CYKLU ŻYCIA

Niezwykle użyteczną metodą badania wpływu produktu bądź procesu na środowisko jest **Analiza Cyklu Życia**, zwana od skrótu pierwszych liter nazwy angielskiej metodą LCA (*Life Cycle Assessment*). Metodą tą określa się ekologiczny charakter produktu od momentu wydobywania potrzebnych surowców do ostatecznej utylizacji zużytego wyrobu; jest ona kompleksowym badaniem interakcji pomiędzy produktem i otoczeniem.

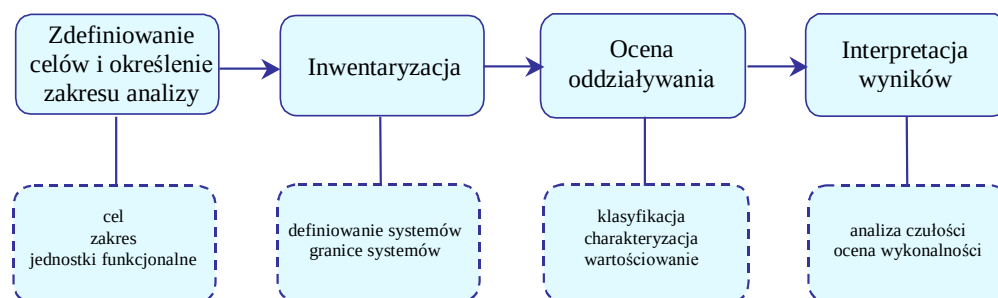
Analizę LCA wykonuje się w celu:

- oceny różnych firm o porównywalnej działalności,
- oceny różnych produktów spełniających takie same funkcje,
- oceny procesów, których wynikiem są identyczne lub niemal identyczne produkty.

W praktyce przeprowadzenie LCA obejmuje cztery główne fazy. W pierwszej fazie następuje definiowanie celów i zakresu analizy. Następnie przeprowadzana jest analiza inwentaryzacyjna, podczas której kwantyfikuje się wszystkie dane wejściowe i wyjściowe związane z wytwarzaniem produktu, włączając w to materiały i energię. Wynikiem tego etapu są tablice inwentarzowe z danymi odzwierciedlającymi wpływ na środowisko. Tablice te są trudne do interpretacji, dlatego dokonywana jest ocena zinwentaryzowanych wpływów. Ocena ta składa się z następujących etapów:

- klasyfikacji, podczas której każdy element oddziaływania jest przypisywany do odpowiedniej kategorii zależnie do efektów jakie wywołuje w środowisku,
- charakteryzacji, podczas której obliczany jest rzeczywisty efekt wywoływany w każdej kategorii,
- oceny oddziaływań, w której wykorzystywane są odpowiednie wskaźniki środowiskowe,
- analizy/interpretacji otrzymanych wyników, która jest przeprowadzana zgodnie z założonym na początku celem i może być punktem wyjścia do przeprojektowania rozpatrywanych produktów i procesów i zastosowania w konsekwencji różnych materiałów lub optymalizacji technologii.

Poszczególne fazy wykonywania analizy cyklu życia przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Fazy oceny cyklu życia produktu

Fig. 1. Phases of product life cycle assessment

W procesie wykonywania analizy LCA można wyróżnić dwa główne etapy:

- inwentaryzację zużycia surowców i emisji na każdym etapie życia produktu (na tym etapie dokonywana jest inwentaryzacja wpływów na środowisko),
- ocenę wpływu na środowisko wynikającą ze zużycia surowców i różnego rodzaju emisji występujących podczas cyklu życia (na tym etapie dokonywana jest ocena wpływów produktu na środowisko).

Główną częścią analizy LCA jest inwentaryzacja wszystkich przemysłowych procesów występujących podczas cyklu życia produktu. Oprócz etapu produkcji, cykl życia analizowanego produktu powinien zawierać dystrybucję, użytkowanie i utylizację powstałych odpadów.

Cykl życia może być przedstawiony za pomocą „drzewa procesów”, którego każdy element obrazuje proces będący częścią cyklu życia. Dla każdego procesu niezbędne jest określenie elementów wejścia, a w wyniku każdego procesu powstaje efekt, czyli element wyjściowy.

Elementami wejściowymi do procesu są:

- surowce i energia,
- produkty, półprodukty i energia, która jest efektem innego procesu.

Podobnie można podzielić elementy wyjściowe na:

- bezpośrednią emisję do środowiska,
- efekt w postaci produktu, półproduktu lub energii.

Tablice oddziaływań powstające w wyniku inwentaryzacji, choć trudne do interpretacji, są najbardziej obiektywnym wynikiem LCA.

Prace z zakresu wykorzystania LCA w różnych dziedzinach przemysłu prowadzone są w GIG od kilku lat [1, 2].

3. METODA OCENY WPLYWÓW ŚRODOWISKOWYCH Z ZASTOSOWANIEM EKOWSKAŹNIKA 99

Ilościowa ocena zinwentaryzowanych oddziaływań jest kontrowersyjnym i trudnym etapem wykonywania LCA. Jedną z niewielu praktycznych metod

pozwalających na liczbowe wyrażenie oddziaływań środowiskowych jest metoda, w której wykorzystuje się **ekowskażnik 99**. Została ona opracowana przez międzynarodową grupę ekspertów, głównie szwajcarskich i holenderskich. Ekowskażniki dotyczą tylko problemów ochrony środowiska występujących na terenie Europy. Najważniejsze problemy z tego zakresu przedstawiono w raporcie [4]. Metoda ta charakteryzuje się podejściem do problemu szacowania wpływów środowiskowych typu „góra-dół”, polegającym na określeniu na wstępie kategorii, w których będą oceniane wpływy, a następnie przyporządkowaniu wyników analizy inwentarzowej do konkretnych kategorii. Przy takim podejściu wymagania dotyczące ocenianych wyników określa się na początku badań. Wymaga to definicji terminu środowisko i sposobu oceny różnych problemów środowiskowych. Do opracowania sposobu szacowania ekowskażnika 99 przyjęto następującą definicję środowiska:

Zespół biologicznych, fizycznych i chemicznych parametrów, które wywoływane są przez człowieka, i które warunkują funkcjonowanie człowieka i natury. Warunki te obejmują zdrowie człowieka, jakość ekosystemu i zasoby surowców [4].

Na podstawie tej definicji wybrano trzy podstawowe kategorie, w których szacowane są wpływy:

- zdrowie ludzkie,
- jakość ekosystemu,
- surowce.

Kategoria „zdrowie człowieka” została wytypowana w celu ochrony życia i zdrowia człowieka, teraz i w przyszłości, i nienarażania go na zagrożenia związane z zanieczyszczeniem środowiska i chorobami. Kategoria „jakość ekosystemu” ma zapewnić ochronę żywych elementów środowiska, poza człowiekiem, które nie powinny ulegać degradacji z powodu destrukcyjnych zmian w populacji i jej rozmieszczeniu geograficznym. Kategoria „surowce” ma zapewnić oszczędność zasobów naturalnych w celu ich dostępności dla przyszłych pokoleń.

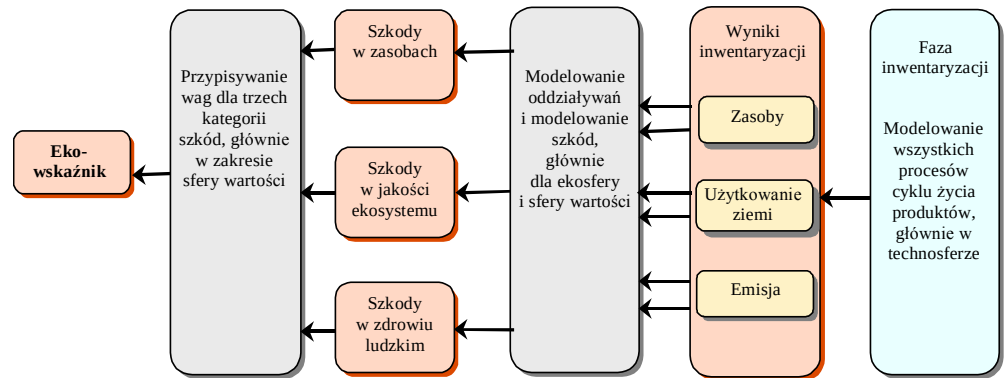
Metoda ekowskażnika pozwala na:

- szacowanie wpływów w każdej analizie cyklu życia,
- liczbowe określanie zniszczenia środowiska wynikającego z pojedynczego procesu i – jeżeli istnieje taka potrzeba – na sumowanie otrzymanych wyników,
- zastosowanie obliczonych wartości wskaźnika do standardowych procesów i materiałów jako szybkiego narzędzia projektowania środowiskowego produktu oraz jako ekologiczne kryterium oceny procesów produkcji.

W szacowaniu cyklu życia stosowane są trzy rodzaje modelowania:

- modelowanie technosfery w fazie inwentaryzacji,
- modelowanie ekosfery w fazie szacowania wpływu,
- modelowanie sfery wartości podczas oceny i rankingu.

Koncepcję obliczania ekowskażnika przedstawiono na rysunku 2 [4].



Rys. 2. Koncepcja metodyki obliczania ekowskaźnika

Fig. 2. Conception of ecoindex calculation

4. PROCESY JEDNOSTKOWE JAKO ELEMENTY MODELU KOPALNI

Biorąc pod uwagę charakter oddziaływań systemu produkcyjnego kopalni węgla kamiennego na środowisko naturalne wyodrębniono z niego procesy podstawowe oraz **procesy pomocnicze**. Do pierwszych zaliczono te, które należą do podstawowego ogniwa produkcji węgla kamiennego. Wszystkie pozostałe procesy potraktowano jako pomocnicze. Przy wyodrębnianiu procesów jednostkowych brano pod uwagę wymagania normy ISO 14040, pamiętając, że ostatecznym celem jest ocena środowiskowa w skali lokalnej, regionalnej i globalnej.

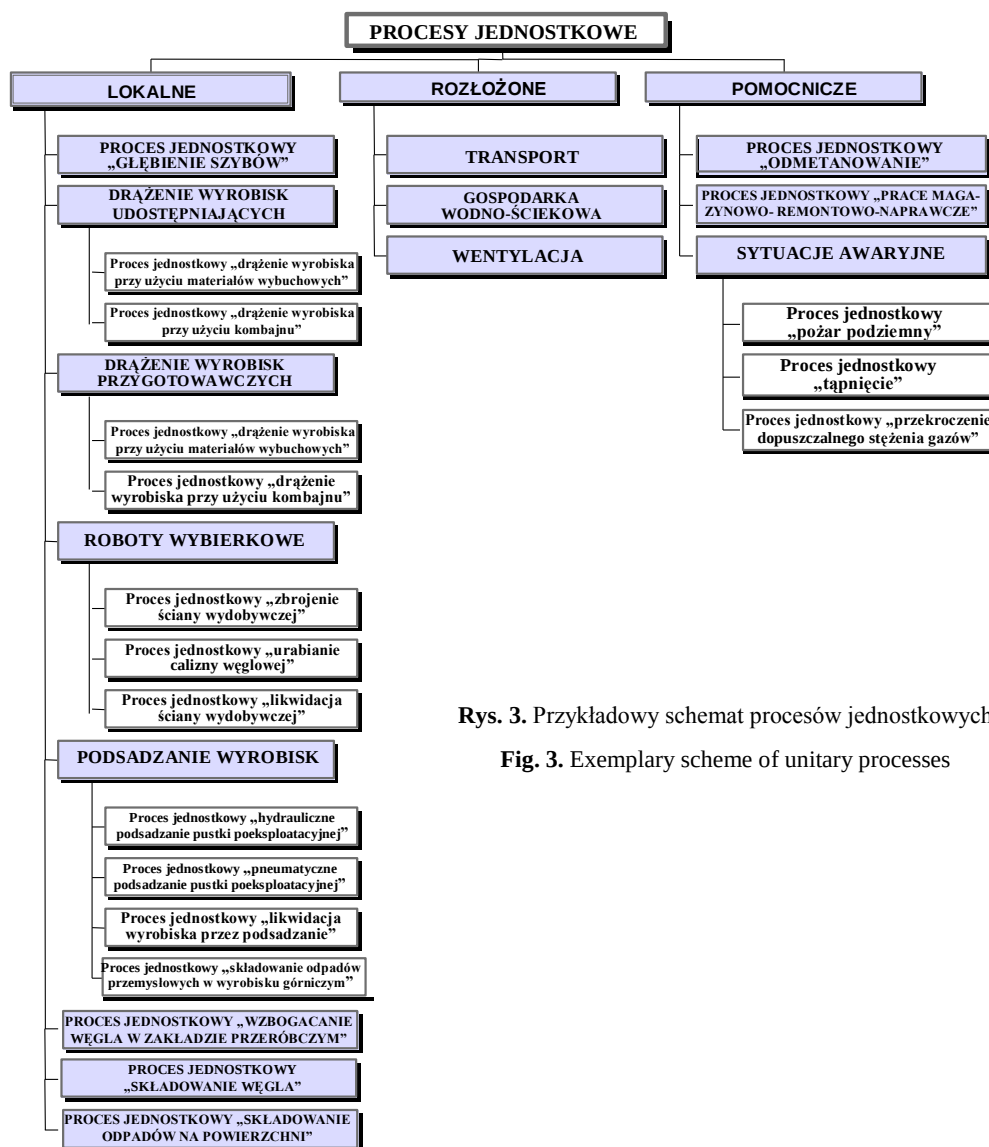
Ze względu na obszar oddziaływania procesów oraz charakter ich przebiegu, wszystkie procesy wybrane do dalszej analizy zostały podzielone na trzy grupy:

- procesy podstawowe lokalne – bezpośrednio związane z podstawowym ogniwem produkcji węgla kamiennego i przyporządkowane do określonego miejsca w kopalni,
- procesy podstawowe rozłożone – również związane z podstawowym ogniwem produkcji węgla kamiennego, których jednak nie można przypisać do określonego miejsca w kopalni, ponieważ są rozłożone w przestrzeni,
- procesy pomocnicze – niezwiązane z podstawowym ogniwem produkcji węgla kamiennego, jedynie wspomagające proces produkcyjny.

Proces jednostkowy, w nawiązaniu do celu niniejszego opracowania, należy zdefiniować jako proces, dla którego przygotowano określoną zindywidualizowaną charakterystykę, a który, zgodnie z wymaganiami standardu ISO, w analizie ekobilan-su kopalni jest traktowany jako niepodzielny, tzn. elementarny.

Przykładowy schemat procesów jednostkowych¹⁾ pokazano na rysunku 3.

¹⁾ Prace wykonane w ramach projektu własnego KBN nr 1684/T12/2001/20 „Ekobilans jako narzędzie pozwalające na kompleksową ocenę ekologiczną działalności wydobywczej surowców mineralnych”.



Rys. 3. Przykładowy schemat procesów jednostkowych

Fig. 3. Exemplary scheme of unitary processes

Takie ujęcie zasadniczych procesów przebiegających w systemie produkcyjnym podyktowane zostało możliwością prezentacji przebiegu produkcji węgla kamiennego w ujęciu przepływowym. Pozwala to na przygotowanie modelu kopalni węgla kamiennego jako systemu produkcyjnego, w którym potrzebne media przepływają do frontu eksploatacyjnego, a stamtąd zużyte media oraz urobek węglowy przepływają na powierzchnię. Wybór procesów jednostkowych do dalszej analizy został uwarunkowany potrzebą odzwierciedlenia charakteru i wielkości oddziaływania systemu produkcyjnego kopalni węgla kamiennego jako całości na środowisko naturalne.

Właśnie charakter i wielkość oddziaływania na środowisko było kryterium rozstrzygającym o przyjęciu bądź odrzuceniu danego procesu w opracowanym modelu kopalni z podziałem na procesy jednostkowe.

5. SZACOWANIE EKOWSKAŹNIKA 99 DLA WYBRANEGO PROCESU JEDNOSTKOWEGO W SYSTEMIE KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

W celu obliczenia wartości ekowskaźnika, wynikającego z poszczególnych procesów jednostkowych w kopalni węgla kamiennego, zgodnie ze wspomnianą metodą:

- opracowano drzewa życia procesu,
- przeprowadzono inwentaryzację danych wejściowych i wyjściowych do procesu,
- obliczono wartości ekowskaźnika [6],
- przeprowadzono analizę obciążenia środowiskowego w poszczególnych kategoriach strat: zdrowie człowieka, jakość ekosystemu i zasoby.

Inwentaryzację danych wejściowych i wyjściowych przeprowadzono dla trzech wybranych losowo kopalń, których wyrobiska oznaczono A, B, C. Spośród zidentyfikowanych procesów, szacowanie ekowskaźnika przedstawiono na przykładzie procesu jednostkowego „drażenie wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych”.

Opis procesu jednostkowego „drażenie wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych”

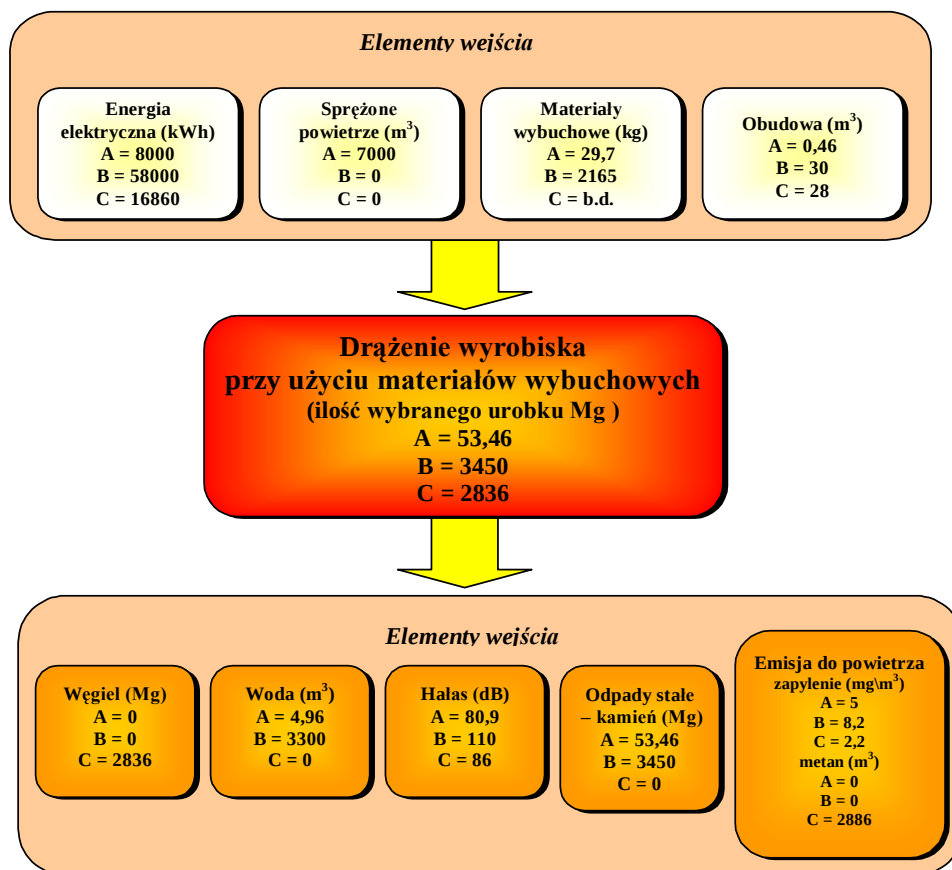
Podstawowe wyrobiska korytarzowe (udostępniające) wykonywane są w skałach otaczających złoże i są drażone najczęściej za pomocą materiałów wybuchowych. Wyrobiska te łączą złoże z szybami, tworząc określoną strukturę kopalni podziemnej. Wyrobiska udostępniające mogą mieć obudowę murową, betonową lub metalową. Spełniają funkcje wentylacyjne i transportowe. Drażenie wyrobiska udostępniającego przy użyciu materiałów wybuchowych obejmuje urabianie calizny skalnej, wykonywanie obudowy tymczasowej, kruszenie i odstawę urobku oraz wykonywanie obudowy ostatecznej.

Proces drażenia wyrobiska połączony jest z innymi procesami jednostkowymi, takimi jak: wentylacja, transport materiałów i urobku, gospodarka wodno-ściekowa.

Obliczanie obciążenia środowiska dla procesu jednostkowego „drażenie wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych”

Dla tego procesu inwentaryzację elementów wejściowych i wyjściowych wykonano dla trzech wyrobisk. Zinwentaryzowane dane dla wyrobiska A i B dotyczyły wyrobiska kamiennego. Wyrobisko C było wyrobiskiem węglowym.

Drzewo życia zawierające dane liczbowe wszystkich elementów wejściowych i wyjściowych dla trzech zinwentaryzowanych wyrobisk przedstawiono na rysunku 4. Za jednostkę obliczeniową przyjęto 1 Mg (tonę) urobku wydobytego podczas drażenia chodnika.

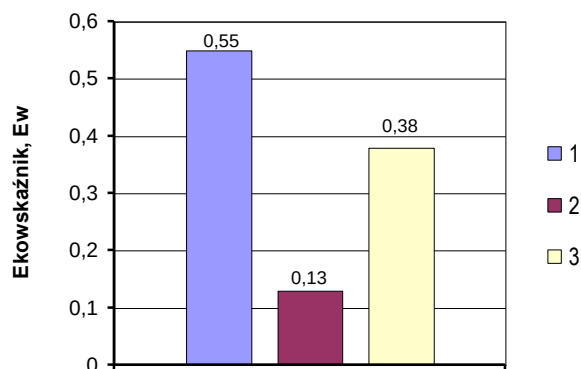


Rys. 4. Drzewo życia dla procesu jednostkowego „drążenie wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych” dla trzech rozpatrywanych kopalń: A, B, C (b.d. – brak danych)

Fig. 4. Life tree for the unitary process “driving of working with the use of explosives” for three considered mines: A, B, C (b.d. – data not available)

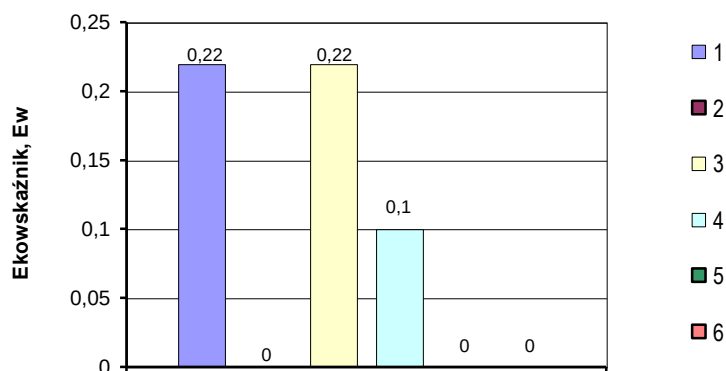
Obliczona wartość ekowskaźnika, odpowiadająca wybraniu 1 Mg urobku podczas drążenia wyrobiska kamiennego A przy użyciu materiałów wybuchowych, wynosi 1,06 Ew (Ew – punkty ekowskaźnika).

Na rysunku 5 przedstawiono obciążenie środowiskowe analizowanego procesu w trzech kategoriach strat. Wartość ekowskaźnika dla strat w kategorii „zdrowie człowieka” wynosi 0,55 Ew, co stanowi 51,6% całości strat, w kategorii „jakość ekosystemu” – 0,13 Ew, co stanowi 12,2%, a kategorii „zasoby” – 0,38 Ew, co stanowi 36,2% całości strat. Na rysunkach 6, 7 i 8 przedstawiono szczegółową analizę strat w poszczególnych kategoriach. Główne obciążenie środowiska w kategorii „zdrowie człowieka” związane jest z rakotwórczością (0,22 Ew), problemami oddechowymi wywoływanymi zanieczyszczeniami nieorganicznymi (0,22 Ew) oraz zmianami klimatycznymi (0,1 Ew). W kategorii „jakość ekosystemu” główne straty związane są ze wzrostem ekotoksyczności (0,1 Ew), a w kategorii „zasoby” ze zużyciem paliw kopalnych (0,36 Ew).



Rys. 5. Obciążenie środowiska związane z procesem drążenia wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych w kopalni A: Ew – ekowskażnik, 1 – zdrowie człowieka, 2 – jakość ekosystemu, 3 – zasoby

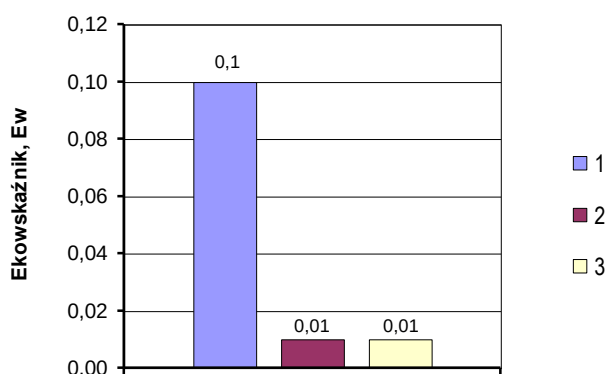
Fig. 5. Environmental load connected with working driving process with use of explosives in mine A: Ew – ecoindex, 1 – human health, 2 – ecosystem quality, 3 – resources



Rys. 6. Obciążenie środowiska związane z drążeniem wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych w kopalni A – kategoria „zdrowie człowieka”: 1 – rakotwórczość, 2 – problemy oddechowe-org., 3 – problemy oddechowe-nieorg., 4 – zmiany klimatyczne, 5 – radioaktywność, 6 – warstwa ozonowa

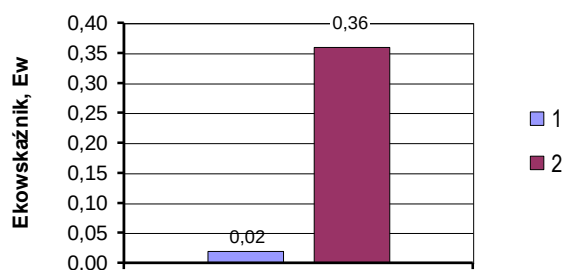
Fig. 6. Environmental load connected with working driving with the use of explosives in mine A – “human health” category: 1 – cancerogenic features, 2 – respiratory-organic problems, 3 – respiratory-inorganic problems, 4 – climatic changes, 5 – radioactivity, 6 – ozone layer

Wartość ekowskażnika obliczona dla zinventaryzowanych oddziaływań związanych z wyrobiskiem kamiennym B, w przeliczeniu na 1 Mg wydrążonego urobku, wynosi 1,59 Ew. Wartość ekowskażnika obliczona dla zinventaryzowanych oddziaływań związanych z drążeniem wyrobiska węglowego C, w przeliczeniu na 1 Mg wydrążonego urobku, wynosi 10,2 Ew.



Rys. 7. Obciążenie środowiska związane z drążeniem wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych w kopalni A – kategoria „jakość ekosystemu”: 1 – ekotoksyczność, 2 – zakwaszenie, 3 – wykorzystanie gruntu

Fig. 7. Environmental load connected with working driving with the use of explosives in mine A – category “ecosystem quality”: 1 – ecotoxicity, 2 – acidifying, 3 – use of ground



Rys. 8. Obciążenie środowiska związane z drążeniem wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych w kopalni A – kategoria „zasoby”: 1 – minerały, 2 – paliwa kopalne

Fig. 8. Environmental load connected with working driving with the use of explosives in mine A – category “resources”: 1 – minerals, 2 – fossil fuels

W tablicy 1 przedstawiono wartości ekowskaźnika w poszczególnych kategoriach strat dla wszystkich analizowanych wyrobisk.

Tablica 1. Wartości ekowskaźnika dla procesu jednostkowego „drążenie wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych”

Wyrobisko	Ekowskaźnik w poszczególnych kategoriach			Sumaryczny ekowskaźnik ²⁾
	„zdrowie człowieka”	„jakość ekosystemu”	„zasoby”	
A	0,55	0,13	0,38	1,06
B	0,76	0,15	0,68	1,59
C	0,66	0,14	9,45	10,2

²⁾ Wartości Ew odpowiadające 1 Mg urobku wybranego podczas drążenia.

Rozpatrywany proces w dwóch pierwszych kopalniach dotyczył drażenia wyrobiska kamiennego, dlatego nie powodował znaczących strat w kategorii „zasoby”. W trzeciej kopalni zinwentaryzowany został proces drażenia wyrobiska węglowego, co jest związane ze wzrostem obciążenia w kategorii zasoby. Analizując otrzymane wyniki trzeba zauważyć, że udostępniając złożę przez drażenie wyrobiska węglowego zwiększa się jednocześnie wydobywanie węgla, co jest podstawowym celem działalności wydobywczej, a zatem nie można otrzymanych wartości interpretować tylko pod

względem ekologicznym.

Tablica 2. Obciążenie środowiska wywołane przez zinwentaryzowane elementy „drażenia wyrobiska przy użyciu materiałów wybuchowych”

Kopalnia	Ilość urobku, Mg	Ekowskażnik, Ew
A	53,46	56,6
B	3450	5485,5
C	6489	28927,2

Dodatkowo w tablicy 2 przedstawiono całkowite obciążenie środowiska związane ze zinwentaryzowanym procesem przy uwzględnieniu ilości wydobytego urobku.

6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono metodę szacowania oddziaływania ekologicznego procesu jednostkowego związanego z działalnością wydobywczą kopalni. Wykazano, że znajomość ekowskażnika pozwoli na ocenę ekologiczną i porównanie oddziaływań różnych procesów. Możliwe będzie także stworzenie narzędzia ekologicznej oceny całej kopalni i określenie obciążenia środowiskowego związanego z jednostkowym wydobywaniem węgla.

Przedstawiony w niniejszym artykule sposób szacowania oddziaływania procesu wydobywczego węgla na środowisko jest podstawą opracowania ekobalansu kopalni, realizowanego w ramach grantu własnego KBN nr 1684/T12/2001/20.

Literatura

1. Bojarska-Kraus M., Wachowicz J., Kostecka-Slanina M.: *Analiza cyklu życia wybranych wyrobów z tworzyw sztucznych*. Praca statutowa Głównego Instytutu Górniczego, symbol komp.: 151 0400 9-161. Katowice 1999 (niepublikowana).
2. Czaplicka K., Wachowicz J., Bojarska-Kraus M.: *Zastosowanie ekowskażnika 99 w projektowaniu ekologicznym na przykładzie komputera osobistego*. Elektronika 2001 nr 6.
3. Dobris R.: *Europe's environment, The Dobris Assessment*. Copenhagen, European Environmental Agency 1998.
4. Goedkoop M., Spriensma R.: *The Ecoindicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. Methodology Report, Second edition Pre Consultants, April 2000.
5. ISO 14040,14041,14042 Environmental management – Life cycle assessment.
6. SimaPro5.0 User Manual. Pre Consultants B.V, June 2001.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Jan Wachowicz

Eleonora Solik-Heliasz

OCENA MOŻLIWOŚCI ODZYSKU CIEPŁA Z WÓD POMPOWANYCH Z KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie

Z kopalń węgla kamiennego zlokalizowanych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym wypompowuje się dziennie na powierzchnię ponad 600 tys. m³/d wody o temperaturze 13÷25° C. Zasoby energii geotermalnej zawarte w tych wodach są duże, jednak dotąd nie były wykorzystywane. Możliwości odzysku energii zależą od lokalnych warunków geologicznych, górniczych i technologicznych. Moc strumienia ciepła związanego z wodami odprowadzanymi z 43 kopalń wynosi 183 MW. Po zakończeniu procesu restrukturyzacji kopalń moc ta wzrośnie do 230 MW.

Moc cieplna możliwa do odzysku z wód kopalnianych jest wystarczająca do pokrycia części potrzeb kopalń lub obiektów przykopalnianych w wybranej dziedzinie (cieplej wody użytkowej lub ogrzewania obiektów).

Opracowano analizę kosztów wytwarzania ciepła przy zastosowaniu pompy ciepła, dla czasu pracy instalacji 6000 godzin/rok i 4000 godzin/rok oraz długości przesyłu energii do odbiorcy w przedziałach odległościowych 50, 200, 500 i 1000 m. Stwierdzono, że w części kopalń istnieją ekonomicznie uzasadnione warunki do modernizacji konwencjonalnego ogrzewania węglowego systemem z wykorzystaniem pomp ciepła.

Opracowano także wstępny projekt techniczny instalacji geotermalnej dla kopalni „Rozbark” i Zakładu Górniczego „Bytom II” oraz projekt koncepcyjny dla kopalni „Halemba”. Instalacje będą miały moce grzewcze po 500 kW i będą służyły do całorocznego przygotowania ciepłej wody użytkowej w łazniach górniczych. Temperatura wody wylotowej wyniesie 55°C. Instalacje pozwolą na całkowite wyeliminowanie pracy konwencjonalnej kotłowni węglowej poza sezonem grzewczym. Analizy ekonomiczne wykazały, że okres spłaty wyniesie od 2,2 do 6,5 roku, a koszt pozyskania 1 GJ energii będzie niższy, niż z kotłowni węglowej. Instalacje pozwolą na ograniczenie emisji pyłu do atmosfery o 2,2 t/rok, CO₂ o 357 t/rok i CO o 3,4 t/rok.

Assessment of possibility of heat recovery from waters pumped from hard coal mines

Summary

Daily more than 600 thous. m³/d of water of temperature 13÷25°C are pumped to the surface from hard coal mines localised in the Upper Silesian Coal Basin. The geothermal energy resources contained in these waters are considerable, however, hitherto they have not been used. The possibilities of energy recovery depend on local geological, mining and technological conditions. The power of the heat stream connected with waters discharged from 43 mines amounts to 183 MW. After termination of the mine restructuring process this power will increase to 230 MW.

The thermal power possible to recover from mine waters is sufficient to cover a part of the needs of mines or mine objects in the selected domain (hot usable water or heating of objects).

The cost analysis regarding heat generation with the use of heat pump for the time of work of the installation equal to 6000 hours/year and 4000 hours/year as well as length of energy transmission to the receiver in distance intervals 50, 200, 500 and 1000 m was elaborated. It has been ascertained that in the part of mines exist economically reasonable conditions to modernise conventional coal heating, by means of a system with heat pump use.

Therefore has been also developed a preliminary technical project of a geothermal installation for the mine "Rozbark" and mine "Bytom II" as well as a conceptional project for the mine "Halemba". The installations will have heating powers equal to 500 kW each and will serve the yearly preparation of usable hot water in mine bathes. The temperature of output water will amount to 55°C. The installations will allow to eliminate entirely the work of conventional coal-fired boiler houses apart from the heating season. Economic analyses have indicated that the repayment period will be equal to 2.2 – 6.5 years, and the cost of gaining of 1 GJ of energy will be lower than in case of a coal-fired boiler house. The installation will reduce dust emissions to the atmosphere by 2.2 t/year, CO₂ by 357 t/year and CO by 3.4 t/year.

1. WSTĘP

W Głównym Instytucie Górnictwa w latach 1999–2001 prowadzono badania nad odzyskiem ciepła geotermalnego z wód kopalnianych [1, 2, 3, 4]. W wielu krajach ciepło pozyskiwane z **energii geotermalnej** zawartej w wodach wykorzystywane jest do ogrzewania obiektów budowlanych, wytwarzania ciepłej wody użytkowej i do odładzania nawierzchni drogowych. W tym celu wierci się specjalne otwory służące do odbioru ciepła z wód podziemnych.

Na Śląsku występują dogodniejsze warunki. Istnieje tutaj bowiem duża liczba szybów, którymi wypompowuje się wody z kopalń węgla kamiennego. W związku z tym z kosztów instalacji geotermalnych można byłoby odliczyć koszty wiercenia nowych otworów wiertniczych i pompowania wód na powierzchnię.

Ciepło można odzyskiwać nawet z wód o temperaturze 4°C, schładzając je (jak w przypadku instalacji w Sztokholmie) do 2°C. Tak pozyskiwana energia jest energią przyjazną środowisku, gdyż zastępuje energię ze spalania paliw pierwotnych i nie powoduje emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

2. ZASOBY ENERGII GEOTERMALNEJ W WODACH KOPALNIA NYCH

W Polsce istnieją różnorodne możliwości użytkowania naturalnego ciepła ziemi i wód, które, szczególnie na obszarze GZW, mogą przyczynić się do znacznego ograniczenia emisji gazów do atmosfery. W wyniku prowadzonych badań stwierdzono, że możliwe jest wykorzystanie ciepła pochodzącego z wyrobisk górniczych. Dotyczy to przede wszystkim ciepła z wód kopalnianych [2, 3] oraz ciepła zawartego w powietrzu wentylacyjnym. W przyszłości, po przetestowaniu efektywności instalacji geotermalnych, możliwe będzie rozpatrywanie odzysku ciepła również z innych ośrodków, na przykład z nieczynnych wyrobisk górniczych, jak jest to realizowane w kilku krajach na świecie i ze skał.

Ciepło z wyrobisk kopalnianych można transferować na powierzchnię różnymi sposobami. Optymalne byłoby przesyłanie ciepła z wykorzystaniem zamkniętych wymienników w postaci spiral wypełnionych płynem, zainstalowanych w wyrobiskach dołowych i połączonych izolowanymi przewodami z wymiennikami na powierzchni. Jednak w praktyce górniczej możliwości przesyłu są ograniczone. Prace aplikacyjne prowadzone w GIG w sposób zdecydowany uzależniają odzysk ciepła geotermalnego od warunków ruchowych istniejących w kopalniach.

Specyfika prowadzenia ruchu kopalń polega między innymi, na konieczności usuwania wód i zużytego powietrza z wyrobisk kopalnianych. Tak wody dołowe, jak i usuwane powietrze charakteryzują się temperaturą w granicach $13\div 25^{\circ}\text{C}$. Wynika stąd, że są one potencjalnymi źródłami niskotemperaturowej energii i doskonałymi dolnymi źródłami energii dla pomp ciepła.

Ze względu na stosunkowo małe wydajności i niewysoką temperaturę, systemy grzewcze, wykorzystujące ciepło wód kopalnianych, mogą nadawać się szczególnie do stosowania lokalnego, w grupie budynków lub w wyodrębnionych obiektach kubaturowych. Skład instalacji kopalnianej będzie zależał od parametrów wody geotermalnej na wejściu, przeznaczenia energii, wymagań odbiorców (ich liczby, rodzaju) oraz uwarunkowań ruchowo-górnich. Instalacja geotermalna może być wspomagana szczytowo z konwencjonalnych kotłowni węglowych, olejowych lub gazowych.

Temperatura wód w kopalniach jest zależna od następujących czynników:

- temperatury otaczających je skał,
- kontaktu z cieplejszymi wodami dalekiego krążenia,
- wentylacji kopalnianej oraz
- kontaktu z wodami technologicznymi i urządzeniami.

Przy wyznaczaniu zasobów energii geotermalnej przyjęto kilka podstawowych założeń:

1. Zasoby określono na podstawie temperatury wód kopalnianych, a nie jak podaje wielu autorów, na podstawie temperatury skał – i to w dodatku w warunkach niezaburzonych, które prowadzą do znacznego zawyżenia wyników. Z tego powodu pomiary temperatury wód wykonano z uwzględnieniem istniejących systemów odwodnieniowych.
2. W zakresie ilości wód kopalnianych uwzględniono dopływy obecne i prognozowane wraz ze zmianami wynikającymi z restrukturyzacji kopalń (w zakresie ograniczenia wydobywania, dopływów naturalnych, ewentualnie czasokresu i głębokości zatapiania zrobów) oraz z przekierunkowania wód między kopalniami.
3. Zasoby energii geotermalnej podzielono na potencjalne i wydobywalne. Zasoby wydobywalne stanowią część zasobów potencjalnych i zależą od miejsca odbioru ciepła oraz przyjętych rozwiązań technicznych.

Dla tak zdefiniowanych założeń określono moc potencjalną strumienia ciepła. Moc cieplna wód pompowanych z 43 kopalń węgla kamiennego w GZW wynosi 183 MW. Po zakończeniu restrukturyzacji kopalń, zatopieniu najniższych poziomów, bądź przekierkowaniu wód między kopalniami, wzrośnie ona do 230 MW.

3. KOSZTY INSTALACJI GEOTERMALNYCH

Wielkości strumienia cieplnego zawartego w wypompowywanych wodach dołowych i powietrzu wentylacyjnym oraz z drugiej strony potrzeby cieplne obiektów kopalnianych kształtują się następująco [1]:

- moc cieplna możliwa do odzysku z wód poszczególnych kopalń wynosi od kilkuset kW do 7,0÷9,0 MW,
- moc cieplna możliwa do odzysku z powietrza wydechowego wynosi od 0,5 do 1,0 MW,
- zapotrzebowanie na moc cieplną w kopalniach węgla kamiennego wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu MW, a w zakładach pompowania wód kopalnianych od 2,0 do 6,0 MW; w lecie potrzeby kopalń są mniejsze, bowiem wykorzystuje się jedynie około 10% mocy zainstalowanej,
- ceny energii cieplnej wynoszą od 23 do okresowo 50 zł/1 GJ.

We wszystkich analizowanych kopalniach wyspecyfikowano obiekty o potrzebach w zakresie mocy cieplnej od kilkunastu kW do kilku MW. Zwrócono uwagę na istotne różnice w zapotrzebowaniu na moc cieplną w lecie i w zimie. Moc wykorzystywana w lecie potrzebna jest głównie do zapewnienia prawidłowego funkcjonowania łaźni górniczych. Z kolei w przypadkach peryferyjnych obiektów kopalnianych, na przykład przy szybach wentylacyjnych, tak ciepło grzewcze, jak i ciepłą wodę użytkową wytwarza się w instalacjach elektrycznych. Są to modelowe układy, w których zastosowanie pompy ciepła dałoby największe korzyści ekonomiczne.

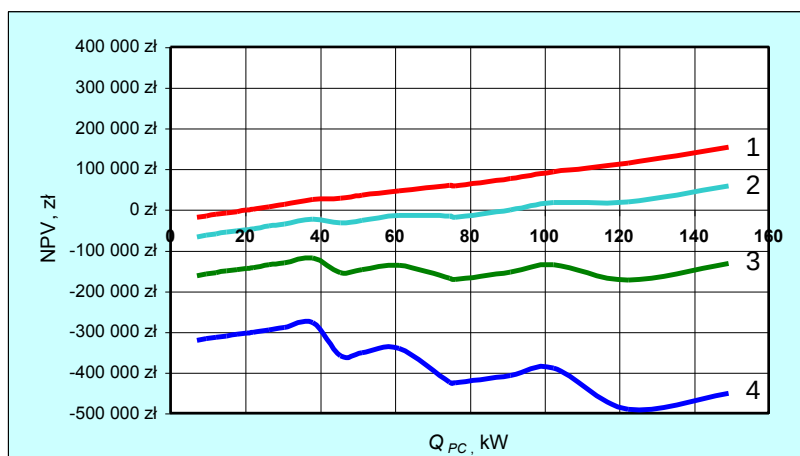
Istniejące w kopalniach systemy zaopatrzenia w ciepło grzewcze i ciepłą wodę użytkową oparte są, w większości przypadków, na współpracy z niezależnymi, bądź należącymi do spółek węglowych, przedsiębiorstwami energetycznymi. W nielicznych, na ogół peryferyjnych obiektach, ciepło grzewcze i/lub ciepła woda są dostarczane z elektrycznych grzejników i przepływowych podgrzewaczy wody.

Istotne, z uwagi na możliwość zastosowania pomp ciepła, są odległości od szybów do odbiorców. W większości kopalń podstawowe obiekty zlokalizowane są w odległości do 1 km od szybów, którymi prowadzone jest odwodnienie wyrobisk górniczych.

Analizę kosztów wytwarzania ciepła, przy zastosowaniu pompy ciepła z wykorzystaniem wód kopalnianych, opracowano dla następujących założeń:

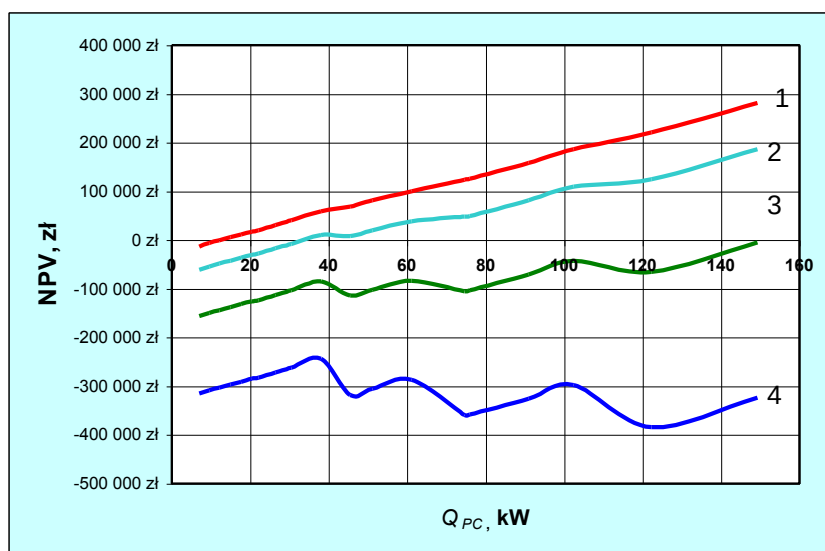
- czas pracy instalacji grzewczej z pełną mocą dla odbiorów działających cały rok (6000 h/rok) i działających tylko w sezonie grzewczym (4000 h/rok),
- długość instalacji przesyłowej czynnika grzewczego z rurami preizolowanymi, w przedziałach odległościowych: 50, 200, 500 i 1 000 m, przy średnich kosztach zakupu ciepła 28 zł/GJ.

W analizie przyjęto, że podstawowym parametrem, który uzasadnia celowość zastosowania układów pozyskiwania energii cieplnej z wód kopalnianych lub powietrza wentylacyjnego jest zdyskontowana wartość NPV zastąpienia efektów ogrzewania z kotłowni węglowej, ogrzewaniem za pomocą pompy ciepła. Wyznaczono wskaźniki NPV dla okresu użytkowania instalacji – 15 lat i stopy dyskonta – 8%. Wyniki analiz przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Zdyskontowana wartość inwestycji zamiany ogrzewania z kotłowni węglowej, pompą grzewczą użytkowaną przez 4000 h/rok: Q_{PC} – moc grzewcza pompy ciepła; długość sieci ciepłowniczej: 1 – 50 m, 2 – 200 m, 3 – 500 m, 4 – 1000 m [1]

Fig. 1. Discounted investment value of heating change from coal-fired boiler house, by means of a heating pump used through 4000 h/year [3]: Q_{PC} – heating power of heating pump, length of network of heat measuring devices; 1 – 50 m, 2 – 200 m, 3 – 500 m, 4 – 1000 m [1]



Rys. 2. Zdyskontowana wartość inwestycji (NPV) zamiany ogrzewania z kotłowni węglowej, pompą grzewczą użytkowaną przez 6000 h/rok: Q_{PC} – moc grzewcza pompy ciepła, długość sieci ciepłowniczej: 1 – 50 m, 2 – 200 m, 3 – 500 m, 4 – 1000 m [1]

Fig. 2. Discounted investment value of heating change from coal-fired boiler house, by means of a heating pump used through 6000 h/year [3]: Q_{PC} – heating power of heating pump; length of network of heat measuring devices: 1 – 50 m, 2 – 200 m, 3 – 500 m, 4 – 1000 m [1]

Uwzględniając takie czynniki, jak: cena energii cieplnej, czas pracy pompy ciepła i długość sieci ciepłowniczej, wytypowano kopalnie, w których zastosowanie pomp ciepła daje ekonomicznie uzasadnione szanse na modernizację konwencjonalnego systemu grzewczego.

4. KORZYŚCI EKOLOGICZNE ZASTĄPIENIA KOTŁOWNI WĘGLOWEJ INSTALACJĄ GRZEWczą Z POMPĄ CIEPŁA

Podstawowe korzyści ekologiczne z zastosowania pomp ciepła dotyczą ograniczenia emisji zanieczyszczeń do powietrza. Korzyści te zwiększają się w miarę wzrostu mocy instalacji geotermalnej. Określono szczegółowo zmniejszenie emisji podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w miarę wzrostu mocy zastosowanego układu z pompami ciepła.

5. PROJEKTY INSTALACJI GEOTERMALNEJ O MOCY GRZEWczej 500 KW

Opracowano pierwszy w Polsce wstępny projekt techniczny kopalnianej instalacji geotermalnej wykorzystującej energię cieplną z wód wypompowywanych z kopalni „Rozbark” i ZG „Bytom II” oraz projekt koncepcyjny dla kopalni „Halemba” [4, 5]. Moc cieplna możliwa do odzysku w tych kopalniach jest duża i przekracza 5,4 MW.

Obydwie instalacje będą miały moc grzewczą po 500 kW i będą służyły między innymi do przygotowania ciepłej wody użytkowej w łazniach górniczych. Temperatura wody wylotowej będzie wynosiła 55°C. W projektach przewiduje się wykorzystanie istniejących zasobników ciepła. Instalacje pozwolą na wyeliminowanie pracy konwencjonalnych kotłowni węglowych poza sezonem grzewczym. Mogą one być jednak szczytowo wspomagane pracą tych kotłowni, na przykład na wypadek nieprzewidzianego wzrostu zapotrzebowania na energię cieplną.

Opracowane analizy ekonomiczne wykazały, że koszty instalacji w połączonych kopalniach „Rozbark” i „Bytom II” zwrócą się po 2,2 latach, a w kopalni „Halemba” po 4,4 latach w przypadku jej pracy przez 6000 h/rok, bądź po 6,5 latach w przypadku jej pracy tylko w sezonie grzewczym, czyli przez 4000 h/rok. Należy zaznaczyć, że w energetyce za opłacalne uznaje się inwestycje, dla których okres zwrotu kapitału wynosi do 7 lat. Wykorzystanie energii do przygotowania ciepłej wody użytkowej w łazniach stwarza możliwość pracy instalacji przez cały rok.

W przedstawionym projekcie ceny jednostkowe pozyskania energii cieplnej z instalacji geotermalnej są niższe, w porównaniu do cen jednostkowych energii z konwencjonalnej kotłowni węglowej. Istotne są również korzyści dla środowiska naturalnego. W wyniku zastosowania instalacji geotermalnej emisja CO₂ do atmosfery zostanie ograniczona o 357 t/rok, CO o 3,4 t/rok, i pyłu o 2,2 t/rok.

Efektem wykonanych prac było również zestawienie przybliżonych kosztów instalacji, okresów spłaty i uzyskanego efektu ekologicznego dla instalacji geotermalnych o mocach grzewczych zróżnicowanych w zakresie 7÷3883 kW. Jest to gotowy materiał, który będzie można wykorzystać przy opracowywaniu założeń do projektów technicznych instalacji dla następnych kopalń.

6. WNIOSKI

1. Energia geotermalna zaliczana jest do „czystych” energii, których pozyskanie nie obciąża środowiska naturalnego. Do zwiększonego jej wykorzystywania obligują nas zalecenia światowego kongresu w Kioto, a sprzyjają temu najnowsze zapisy prawa energetycznego.
2. Na obszarach górniczych zlokalizowane są liczne szyby, którymi odprowadzane są na powierzchnię duże ilości wód kopalnianych o temperaturze $13\div 25^{\circ}\text{C}$. Z wód tych można odzyskiwać ciepło. Pozyskanie energii geotermalnej nie będzie obciążone kosztami wiercenia nowych otworów i pompowania wód.
3. Moc cieplna z wód pompowanych z 43 zakładów górniczych wynosi łącznie 183 MW. W wielu kopalniach moc ta jest wystarczająca do zaspokojenia potrzeb własnych lub potrzeb obiektów przykopalnianych w wybranej dziedzinie.
4. Modernizacja systemów ogrzewania i ciepłej wody użytkowej, polegająca na zastąpieniu ciepła pozyskiwanego z energii elektrycznej lub z kotłowni węglowych – ciepłem z niskotemperaturowych źródeł energii, jakimi są wody kopalniane, może znaleźć szerokie zastosowanie. Przy obecnych kosztach zakupu energii elektrycznej, cieplnej oraz kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych, parametry ekonomiczne takich przedsięwzięć są w większości przypadków korzystne, to jest wskaźnik $\text{NPV} > 0$. W analizowanych kopalniach w odległości do 1000 m od szybów odwadniających znajdują się obiekty, w których zastosowanie ogrzewania z wykorzystaniem pompy ciepła może znacząco ograniczyć koszty dostaw ciepła.
5. Opracowane pierwsze projekty kopalnianych instalacji geotermalnych o mocach grzewczych po 500 kW wykazały możliwość spłaty instalacji po 2,2–6,5 latach i znaczące korzyści w ograniczeniu emisji gazów do atmosfery.
6. Decyzja o konkretnym zastosowaniu pompy ciepła powinna być poprzedzona audytem energetycznym, w celu określenia najkorzystniejszego sposobu użytkowania pozyskanej energii geotermalnej.

Literatura

1. Bieniecki M., Olejniczak K., Ćwięczek M.: *Ocena odzysku ciepła z wód kopalń węgla kamiennego*. Część II pt.: *Warunki odbioru ciepła z instalacji geotermalnych na obszarach kopalń węgla kamiennego*. Dokumentacja GIG nr 11701001-122. Katowice 2001 (niepublikowana).
2. Solik-Heliasz E., Augustyniak I.: *Analiza możliwości wykorzystania ciepła z wód pompowanych z kopalń węgla kamiennego*. Dokumentacja GIG nr 11704000-122. Katowice 2000 (niepublikowana).
3. Solik-Heliasz E., Augustyniak I., Frolik A.: *Ocena możliwości odzysku ciepła z wód kopalń węgla kamiennego*. Część I pt.: *Zasoby energii geotermalnej w wodach kopalń węgla kamiennego*. Dokumentacja GIG nr 11701001-122. Katowice 2001 (niepublikowana).
4. Solik-Heliasz E., Augustyniak I., Bieniecki M., Frolik A.: *Ocena możliwości odzysku ciepła z wód kopalń węgla kamiennego*. Część III pt.: *Projekt koncepcyjny kopalnianej instalacji geotermalnej o mocy grzewczej 500 kW*. Dokumentacja GIG nr 11701001-122. Katowice 2001 (niepublikowana).

5. Solik-Heliasz E., Skrzypczak S.: *Wybór optymalnego systemu grzewczego z wykorzystaniem geotermalnego odzysku ciepła z wód dołowych dla obiektów w rejonie szybu Barbara, ZG Bytom II*. Dokumentacja GIG nr 42701262-122. Katowice 2002 (niepublikowana).

Recenzent: prof. dr hab. inż. Marek Rogoż

Andrzej Pytlik

BADANIA ODPORNOŚCI UDAROWEJ KOTWI GÓRNICZYCH

Streszczenie

W polskich kopalniach węgla kamiennego od dziesiątek lat wyrobiska korytarzowe zabezpieczane są głównie obudowami wykonanymi z łukowych podatnych odrzwi ŁP. Obudowy takie stosuje się również w wyrobiskach komorowych oraz w odgałęzieniach i skrzyżowaniach wyrobisk korytarzowych. Podstawowym sposobem zabezpieczania wyrobisk korytarzowych przed skutkami wstrząsów górotworu jest zagęszczanie odrzwi obudowy ŁP, stosowanie specjalnych strzemion hamujących w złączach oraz wzmacnianie odrzwi za pomocą podciągów, stojaków itd. Działania te nie poprawiają jednak w sposób znaczący dynamicznej nośności obudowy ŁP, której wartość jest o kilkadziesiąt procent mniejsza od jej nośności statycznej. Wszystko to powoduje znaczne zwiększanie kosztu obudowy, a jednocześnie pogarszanie się przepustowości wyrobisk, w których gwałtownie wzrasta liczba stalowych elementów, utrudniających transport materiałów i urobku.

W kopalniach węgla kamiennego zagrożonych wstrząsami górotworu stosuje się również obudowę podporowo-kotwioną, złożoną najczęściej z odrzwi obudowy ŁP, której elementy są przykrawiane do górotworu lub obudowa kotwioną stanowi dodatkowe wzmocnienie górotworu pomiędzy odrzwiami obudowy ŁP. Wykorzystuje się w tym celu głównie kotwie wklejane, które spajają skały otaczające wyrobisko i powodują, że zwiększa się samonośność górotworu, co w znacznym stopniu poprawia współpracę i nośność układu obudowa-górotwór. W wyrobiskach chodnikowych nie stosuje się jednak samodzielnej obudowy kotwionej, pomimo że doświadczenia górnictwa takich krajów, jak RPA, Kanada i Chile wykazują, że obudowa kotwioną może być stosowana w warunkach dużej aktywności sejsmicznej górotworu.

Podczas obliczania konstrukcji obudowy górniczej konieczne jest określenie skutków, jakie mogą wywołać krótkotrwałe obciążenia dynamiczne, zwane inaczej obciążeniami udarowymi. Konieczność uwzględniania zagadnień dynamiki konstrukcji wynika z faktu, że obciążenia udarowe mogą wywoływać stany ekstremalne konstrukcji, decydujące o jej bezpieczeństwie. Stany ekstremalne mogą być lokalne lub dotyczyć całej konstrukcji, a wywołujące je obciążenia udarowe, nawet o stosunkowo małych wartościach, mogą spowodować powstanie znacznie większych sił wewnętrznych i przemieszczeń niż pod działaniem większych obciążeń statycznych.

W związku z powyższym w Głównym Instytucie Górnictwa rozpoczęto badania mające na celu określenie charakterystyki pracy kotwi przy obciążeniach dynamicznych, wyznaczenie ilościowych kryteriów oceny kotwi, a następnie dostosowanie ich konstrukcji do powyższych warunków.

Badania kotwi przy obciążeniach dynamicznych miały początkowo charakter badań modelowych, a obecnie prowadzone są badania kotwi w skali naturalnej. Celem tych badań jest określenie udarowej odporności kotwi powszechnie stosowanych w kopalniach węgla kamiennego i rud oraz optymalizacja ich konstrukcji do określonych warunków geologicznych.

W artykule przedstawiono pierwsze wyniki badań kotwi rozprężnych, na podstawie których określono ich odporność udarową. Badania kotwi w skali naturalnej przeprowadzono w stanowisku Laboratorium Badań Urządzeń Mechanicznych GIG zlokalizowanym w Łaziskach.

Metoda badania kotwi zabudowanej w stanowisku badawczym polega na jednokrotnym obciążeniu jej siłą dynamiczną za pomocą uderzenia spadającej masy z równoczesnym pomiarem obciążenia, przemieszczenia i czasu. Kotew powinna przenieść obciążenie dynamiczne uderzeniem masy o zadanej energii bez zniszczenia jej elementów składowych, a maksymalne przemieszczenie (wydłużenie + wysuw z otworu) przy takim uderzeniu nie może być większe niż 0,5 m. Powyższa wartość energii odpowiada udarowej odporności kotwi.

Ponadto, w artykule przedstawiono wyniki tensometrycznych badań odkształcenia względnego ε_r żerdzi (dla wybranego typu kotwi) obciążonych udarem masy. Badania te prowadzono za pomocą tensometrów naklejonych w środku długości żerdzi. Tensometry pracowały w układzie $\frac{1}{2}$ mostka, z jednym tensometrem czynnym i jednym kompensującym wpływy temperaturowe.

Zasadniczym elementem układu pomiarowego, stosowanego w tych badaniach, był wzmacniacz pomiarowy typu DMCplus firmy Hottinger Baldwin Messtechnik. Do obsługi wzmacniacza pomiarowego użyto programu komputerowego DMCLabplus, natomiast do analizy sygnałów pomiarowych użyto programów CATMAN oraz OriginPro 6.1.

Testing of impact resistance of mining bolts

Summary

In Polish hard coal mines from decades road workings are protected mainly by support composed of arch yielding LP frames. The above-mentioned support is used also in chamber workings as well as in roadway junctions and rod working crossings. The fundamental way to protect road workings against the effects of mining tremors is the concentration of LP support frames, use of special braking clamps in joints and strengthening of frames by means of stringers, props etc. These actions, however, do not improve in a significant manner the dynamic load-bearing capacity of LP support, the value of which is by several dozens of per cent lower than its static load-bearing capacity. All those factors cause a significant growth of support cost, and simultaneous worsening of the capacity of workings, where impetuously increases the number of steel elements, making difficult the transport of materials and mined coal.

In hard coal mines subject to mining tremors one uses also standing-bolting support, composed most often of LP support frames, the elements of which are bolted to the rock mass, or roof bolting constitutes additional reinforcement of the rock mass between LP support frames. One uses to this end mainly adhesive bolts, which bond the rocks surrounding the working and cause that increases the self-load capacity of the rock mass, what to a significant extent improves the cooperation and load-bearing capacity of the system support-rock mass. In road workings, however, independent roof bolting is not applied, in spite of the fact, that experience regarding the mining industries of such countries as the Republic of South Africa, Canada, and Chile indicates that roof bolting can be used in conditions of intensive seismic activity of the rock mass.

During the calculations of mining support construction it is necessary to determine the effects, that can cause dynamic loads of short duration, called differently impact loads. The necessity to take into consideration the problems of construction dynamics results from the fact that impact load can cause extreme states of construction deciding on its safety. Extreme conditions can be local and may concern the entire construction, and causing its impact load, even of relatively low value, can bring about the rise of considerably stronger internal forces and dislocations than under the influence of higher static loads.

In connection with the above at the Central Mining Institute investigations were undertaken aiming at the determination of bolt work characteristic in case of dynamic loads, determination of quantitative criteria of bolt assessment, and next adaptation of bolt construction to the above-mentioned conditions.

The tests of bolts in dynamic load conditions had initially the character of model tests; currently are conducted tests of bolts on a natural scale. The purpose of these tests is to determine the impact resistance of roof bolts commonly used in hard coal and ore mines as well as to optimise their construction for determined geological conditions.

The article presents the first results of tests of roof bolts locked by firing an explosive charge, on the basis of which their impact resistance was determined. Bolt tests on a natural scale were carried out at the testing stand of the Testing Laboratory of Mechanical Devices of GIG, localised in Łaziska.

The bolt testing method at a testing stand consists in its single-time dynamic force loading by means of the falling mass impact with simultaneous load, dislocation and time measurement. The bolt should transmit dynamic load by mass impact of given energy without destruction of its component elements, and the maximum dislocation (elongation + extension from the hole) in case of such impact cannot exceed 0.5 m. The above-mentioned energy value corresponds with the bolt impact resistance.

Moreover, the article presents the results of extensometric tests of relative strain ε_r of the rod (for the selected bolt type) loaded by mass impact. These tests were carried out by help of extensometers glued in

the rod length centre. The extensometers worked in $\frac{1}{2}$ bridge system, with one active extensometer and another one, compensating temperature influences.

The fundamental element of the measuring system, used in these investigations, was the measuring amplifier of DMCplus type produced by the firm Hottinger Baldwin Messtechnik. For measuring amplifier service one has used the DMCLabplus program, while for the analysis of measuring signals the programs CATMAN and OriginPor 6.1 were used.

1. WPROWADZENIE

W ponad połowie polskich kopalń węgla kamiennego eksploatacja jest prowadzona w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. W wyniku tych wstrząsów powstają obciążenia dynamiczne wywierane przez górotwór na obudowę górniczą. Efektem tego są częste przypadki uszkodzenia sekcji obudowy zmechanizowanej oraz odrzwi obudowy chodnikowej. Dzięki znacznemu postępowi technicznemu sekcje produkowanych obecnie obudów zmechanizowanych charakteryzują się podpornościami roboczymi wynoszącymi około 10 MN (siła czynna), wyposażone są w zawory szybkopustowe oraz precyzyjne układy elektrohydrauliczne sterowane komputerowo. Niestety, w przypadku obudów korytarzowych i komorowych postęp w ich unowocześnianiu jest niewielki. W polskich kopalniach węgla kamiennego od dziesiątek lat wyrobiska korytarzowe zabezpieczane są głównie obudowami wykonanymi z łukowych podatnych odrzwi ŁP. Obudowy takie stosuje się również do zabezpieczania wyrobisk komorowych oraz odgałęzień i skrzyżowań wyrobisk korytarzowych. Podstawowym sposobem zabezpieczania wyrobisk korytarzowych przed skutkami wstrząsów górotworu jest zagęszczanie odrzwi obudowy ŁP, stosowanie specjalnych strzemion hamujących w złączach oraz wzmacnianie odrzwi za pomocą podciągów, stojaków itd. Wszystko to wpływa na znaczne zwiększanie kosztu obudowy, a jednocześnie pogarszanie się przepustowości wyrobisk, w których gwałtownie wzrasta liczba stalowych elementów, utrudniających transport materiałów i urobku. Działania te nie poprawiają jednak w sposób znaczący dynamicznej nośności obudowy ŁP, której wartość jest o kilkadziesiąt procent mniejsza od jej nośności statycznej. Należy zwrócić uwagę na fakt, że statyczna nośność podatnych odrzwi obudowy ŁP, wyznaczana w badaniach stanowiskowych, nie przekracza 0,7 MN (siła bierna), co znacznie odbiega od podporności, jakimi charakteryzują się sekcje obudowy zmechanizowanej. Być może jest to jedną z przyczyn przemieszczania się, w ostatnich latach, skutków wstrząsów górotworu w rejony chodników, które stały się „zaworem bezpieczeństwa” dla górotworu dążącego do rozładowania nagromadzonych w nim naprężeń i uzyskania równowagi.

W kopalniach węgla kamiennego zagrożonych wstrząsami górotworu stosuje się również obudowę podporowo-kotwiovą, złożoną najczęściej z odrzwi obudowy ŁP, której elementy są przykatwiane do górotworu lub obudowa kotwiova stanowi dodatkowe wzmocnienie górotworu pomiędzy odrzwiami obudowy ŁP. Wykorzystuje się w tym celu głównie kotwie wklejane, które spajają strefę skał otaczających wyrobisko i powodują, że zwiększa się samonośność górotworu, co w znacznym stopniu poprawia współpracę i nośność układu obudowa-górotwór. W wyrobiskach chodnikowych nie stosuje się jednak samodzielnej obudowy kotwiovej, pomimo, że

doświadczenia górnictwa takich krajów, jak RPA, Kanada i Chile wykazują, że obudowa kotwiona może być stosowana w warunkach dużej aktywności sejsmicznej górotworu.

W Głównym Instytucie Górnictwa od wielu lat prowadzone są badania stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej oraz odrzwi chodnikowej obudowy ŁP przy obciążeniach dynamicznych, za pomocą uderu masy, w unikatowym stanowisku zlokalizowanym w Łaziskach. Badania te potwierdzają odmienną charakterystykę pracy obudowy górniczej w warunkach obciążeń uderowych w stosunku do obciążeń statycznych. Ścisła współpraca producentów zmechanizowanej i chodnikowej obudowy górniczej oraz specjalistów GIG w zakresie badań konstrukcji przy obciążeniach dynamicznych, zaowocowała powstaniem wielu konstrukcji obudów, mogących w większym stopniu niż dotychczasowe konstrukcje przejmować obciążenia dynamiczne.

Podczas obliczania konstrukcji obudowy górniczej konieczne jest określenie skutków, jakie mogą wywołać krótkotrwałe obciążenia dynamiczne, zwane inaczej obciążeniami uderowymi [3]. Różne rodzaje obciążeń dynamicznych oraz reakcja konstrukcji na te obciążenia, stanowią zakres dynamiki konstrukcji, gdzie w obliczeniach uwzględnia się siły bezwładności i energię kinetyczną. Konieczność uwzględniania zagadnień dynamiki konstrukcji wynika z faktu, że obciążenia uderowe mogą wywoływać stany ekstremalne konstrukcji, decydujące o jej bezpieczeństwie. Stany ekstremalne mogą być lokalne lub dotyczyć całej konstrukcji, a wywołujące je obciążenia uderowe, nawet o stosunkowo małych wartościach, mogą powodować powstanie znacznie większych sił wewnętrznych i przemieszczeń niż pod działaniem większych obciążeń statycznych.

Obciążenia uderowe działające na konstrukcje mogą mieć charakter wymuszenia siłowego (siła przyłożona bezpośrednio do konstrukcji) lub kinematycznego (przez nadanie określonego ruchu wybranym punktom lub bryłom należącym do rozpatrywanego układu – na przykład ruch podłoża konstrukcji) [4].

Ocena odporności uderowej konstrukcji może być dokonywana pod kątem jej sztywności lub wytrzymałości [2]. W zagadnieniach liniowych interesuje nas najczęściej pierwszy eksperymentalny stan spowodowany obciążeniem impulsowym. Ze względu na to, że w kraju nie są wykonywane na szerszą skalę badania podstawowe własności materiałów przy dużych prędkościach odkształceń, istnieje pewna luka w literaturze dotycząca obliczania wytrzymałości konstrukcji obciążonych uderowo, w zakresie nieliniowym.

W związku z powyższym w Głównym Instytucie Górnictwa rozpoczęto badania w celu określenia charakterystyki pracy kotwi przy obciążeniach dynamicznych, wyznaczenia ilościowych kryteriów oceny kotwi, a następnie dostosowanie ich konstrukcji do powyższych warunków.

Badania kotwi przy obciążeniach dynamicznych miały początkowo charakter badań modelowych, a obecnie prowadzone są badania kotwi w skali naturalnej. Celem tych badań jest określenie uderowej odporności kotwi powszechnie stosowanych w kopalniach węgla kamiennego i rud oraz optymalizacja ich konstrukcji do określonych warunków geologicznych.

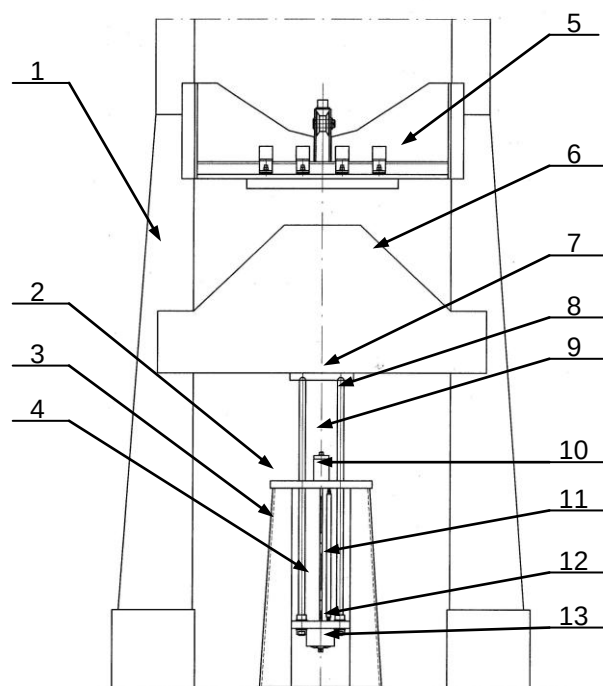
2. STANOWISKO BADAWCZE

Badania kotwi w skali naturalnej przeprowadzono w stanowisku Laboratorium Badań Urządzeń Mechanicznych GIG zlokalizowanym w Łaziskach. Na stanowisku tym prowadzane są badania udarem masy następujących konstrukcji:

- stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej i indywidualnej,
- stojaków ciernych (typu SV, Valent itd.),
- odrzwi obudowy chodnikowej,
- ciernych złączy odrzwi obudowy ŁP,
- kotwi.

Prowadzone są również statyczne badania stojaków hydraulicznych i rur wielkośrednicowych.

Badania kotwi za pomocą uderu masy wykonywano w stanowisku badawczym, którego schemat przedstawiono na rysunku 1, a widok ogólny na zdjęciu 1.



Rys. 1. Stanowisko do badania kotwi za pomocą uderu masy, w skali naturalnej: 1 – słup nośny/prowadzący, 2 – płyta oporowa ramy, 3 – rama, 4 – żerdź kotwi, 5 – masa uderowa o masie m_1 , 6 – trawersa, płyta górna, 7 – prowadnice ramy, 8 – prowadnice ramy, 9 – nakrętka na górnej części żerdzi, 10 – czujnik siły, 11 – czujnik przemieszczenia, 12 – płyta dolna, 13 – podkładka kotwi

Fig. 1. Stand for bolt testing on a natural scale, by means of mass impact: 1 – carrying/leading post, 2 – frame support plate, 3 – frame, 4 – frame rod, 5 – impact mass of m_1 mass, 6 – cross-bar, upper plate, 7 – frame guides, 8 – frame guides, 9 – nut on rod upper part, 10 – force sensor, 11 – dislocation sensor, 12 – bottom plate, 13 – bolt washer



Fot. 1. Stanowisko do badania kotwi za pomocą uderu masy

Phot. 1. Stand for bolt testing by means of mass impact

3. METODYKA BADANIA KOTWI PRZY OBCIĄŻENIACH UDAROWYCH

W Pracowni Kotwienia Górniczego GIG została opracowana „Metodyka badania kotwi za pomocą uderu spadającej masy”. Jej autorami są prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński oraz dr inż. Andrzej Nierobisz. Opracowany został również projekt normy [7] dotyczącej wymagań i badań kotwi przy obciążeniach dynamicznych. Dzięki współpracy Laboratorium Badań Urządzeń Mechanicznych i Pracowni Kotwienia Górniczego określono wstępne kryteria oceny, które powinny spełniać kotwie poddane obciążeniom uderowym oraz opracowano nową metodę badania kotwi, której treść znalazła się w projekcie powyższej normy.

Metoda ta polega na jednokrotnym obciążeniu zabudowanej kotwi w stanowisku badawczym przyłożoną siłą dynamiczną za pomocą uderu spadającej masy z równoczesnym pomiarem obciążenia, przemieszczenia i czasu.

Kotew powinna przenieść obciążenie dynamiczne uderem masy o zadanej energii bez zniszczenia jej elementów składowych, a maksymalne przemieszczenie (wydłużenie + wysuw z otworu) przy powyższym uderze nie może być większe niż 0,5 m. Wartość powyższej energii odpowiada uderowej odporności kotwi.

Wielkość zadanej energii wynosi:

- 25 kJ dla kotwi wstrząsoodpornych,
- 35 kJ dla kotwi wstrząsoodpornych wzmocnionych,
- 50 kJ dla kotwi zaporowych.

Po umieszczeniu kotwi w stanowisku badawczym należy na jej końcówkę opuścić ciężar o masie 4000 kg z wysokości:

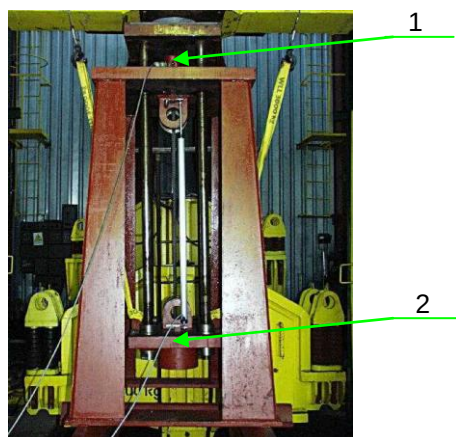
- 1,0 m przy badaniu kotwi wstrząsoodpornej,
- 1,5 m przy badaniu kotwi wstrząsoodpornej wzmocnionej,
- 2,0 m przy badaniu kotwi zaporowej

na trawersę o masie od 1600 do 2500 kg, wstępnie obciążającą statycznie badaną kotew.

4. BADANIA WYBRANYCH TYPÓW KOTWI ROZPRĘŻNYCH

W ramie stanowiska badawczego, której widok przedstawiono na zdjęciu 2, badaniom uderem masy poddano:

- 14 kotwi rozprężnych typu KE-3W długości 1600 mm, w skład których wchodziły żerdzie typu RS-1/18-1600 (wykonane z pręta gładkiego $\phi 18,3$ mm, ze stali AP600) z gwintem walcowanym M20 – do mocowania głowicy oraz podkładki kwadratowe $6 \times 150 \times 150$ mm (ze stali St3Sx),
- 4 kotwie rozprężne długości 1600 mm, w skład których wchodziły żerdzie wykonane z prętów żebrowanych $\phi 20$ (stal gatunku 34GS) zakończonych obustronnie gwintem M20, nakrętki oraz podkładki kwadratowe $8 \times 150 \times 150$ mm (stal gatunku St3S),
- 3 kotwie typu KG-265 o długości 1600 mm, w skład których wchodziły żerdzie wykonane z pręta z zębem gwintowym o średnicy nominalnej $\phi 22$ mm, ze stali EM700, podkładki kształtowej i nakrętki z powierzchnią kulistą.



Fot. 2. Rama stanowiska wraz z oczyjnikowaniem: 1 – czujnik siły, 2 – czujnik przemieszczenia

Phot. 2. View of testing stand frame with sensors: 1 – force sensor, 2 – displacement sensor

Wykonano również statyczne badania żerdzi, sporządzonych z prętów gładkich $\phi 18,3$ mm i żebrowanych $\phi 20$ mm, na rozciąganie według normy [6]. Badania wykazały, że żerdzie z prętów gładkich $\phi 18,3$ mm, wykonane ze stali o dolnej granicy plastyczności $R_{el} = 440$ MPa (siła na granicy plastyczności $F_{sel} = 112$ kN) i wydłużeniu $A_5 = 21\%$, ulegały zerwaniu przy średniej sile wynoszącej $F_s = 174$ kN, natomiast żerdzie z prętów żebrowanych $\phi 20$ mm, wykonane ze stali o dolnej granicy plastyczności $R_{el} = 438,5$ MPa (siła na granicy plastyczności $F_{sel} = 134$ kN) i wydłużeniu $A_5 = 22\%$, ulegały zerwaniu przy średniej sile wynoszącej $F_s = 216$ kN.

Podczas badania uderem masy, część kotwy z nakrętką opierała się na czujniku siły, a na dolnej części kotwy, zakończonej podkładką, opierała się ruchoma płyta dolna z czterema prowadnikami zwieńczonymi płytą górną, na której spoczywała trawersa.

Każdą kotew jednokrotnie obciążano poprzez swobodny spadek masy uderowej m_1 wynoszącej 4000 kg na trawersę o masie m_2 wynoszącej 2000 kg (masa trawersy wraz z całym osprzętem badawczym). Ze względu na to, że podczas badań pierwszej serii kotwi nie dysponowano jeszcze masą uderową 4000 kg (wymaganą w metodzie i projekcie normy), do badań użyto masy uderowej 5000 kg. W drugiej serii badań posłużono się już wymaganą masą uderową 4000 kg.

Obciążenie na kotew przenoszone było poprzez pręty prowadzące, płytę dolną, na podkładkę kotwy. Ponadto, dla wybranych 5 kotwi rozprężnych typu KE-3W, dodatkowo badano również odkształcenia względne ϵ_r żerdzi, za pomocą tensometrów naklejonych w środku ich długości. Tensometry te pracowały w układzie $\frac{1}{2}$ mostka, z jednym tensometrem czynnym i jednym kompensującym wpływy temperaturowe.

Zasadniczym elementem układu pomiarowego, stosowanego w tych badaniach, był wzmacniacz pomiarowy typu DMCplus firmy HBM, wyposażony w przetworniki analogowo-cyfrowe, do którego podłączony był tensometryczny czujnik siły oraz oporowy czujnik przemieszczenia. Czujniki wzorcowano statycznie za pomocą uwierzytelnionych wzorców pomiarowych. Niepewność pomiarowa siły i przemieszczenia nie przekraczała 1%. Wartość siły F_d dynamicznego oddziaływania udarem masy na badane złącze, mierzona była pośrednio tensometrycznym czujnikiem siły usytuowanym pod nakrętką nakręconą na gwint kotwy w miejscu, gdzie montowana jest jej głowica. Wartość wydłużenia Δl kotwy mierzona była czujnikiem oporowym. W badaniach odkształcenia względnego ϵ_r żerdzi wykorzystano tensometry foliowe o bazie pomiarowej 10 mm, rezystancji 120 Ω i współczynniku czułości odkształceniowej $k = 2,07$. Wartości siły i wydłużenia rejestrowane były w funkcji czasu t z częstotliwością próbkowania $f_p = 1200$ lub 2400 Hz. Większą z podanych częstotliwości próbkowania zastosowano w przypadku badania kotwi typu KG-265, w których czas narastania siły F_d w momencie udaru, był znacznie krótszy niż przy badaniu pozostałych typów kotwi. Dla jednego kanału liczba pomiarów wynosiła 7200. Do obsługi wzmacniacza pomiarowego użyto programu komputerowego DMCLabplus, natomiast do analizy sygnałów pomiarowych użyto programów CATMAN oraz OriginPro 6.1.

Podczas badań, w momencie zderzenia się mas m_1 i m_2 , nie zaobserwowano ich odbicia, dlatego przyjęto model plastycznego zderzenia mas. Na tej podstawie obliczono energię kinetyczną E_k , jaką ma po zderzeniu plastycznym układ mas m_1 i m_2 , ze wzoru

$$E_k = \frac{(m_1 + m_2) \overline{v_p}^2}{2}, \text{ J} \quad (1)$$

gdzie:

m_1 – masa uderowa, kg;

m_2 – masa trawersy wraz z całym osprzętem badawczym, kg;

v_p – wspólna prędkość masy uderowej m_1 oraz masy m_2 , po zderzeniu plastycznym, obliczona według wzoru

$$v_p = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}, \text{ m/s} \quad (2)$$

gdzie v_1 jest prędkością masy uderowej m_1 w chwili uderzenia w trawersę, obliczoną ze wzoru

$$v_1 = \sqrt{2gh}, \text{ m/s} \quad (3)$$

gdzie:

g – przyspieszenie ziemskie równe $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;

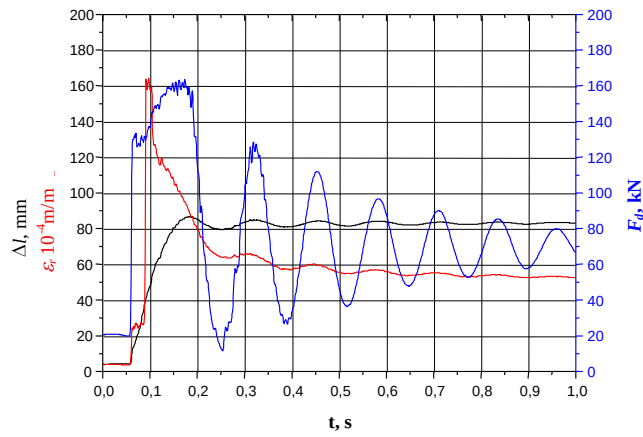
h – wysokość swobodnego spadku masy uderowej m_1 , m.

Zestawienie wyników badań kotwi przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Zestawienie wyników badań kotwi w skali naturalnej przy obciążeniach dynamicznych udarem masy

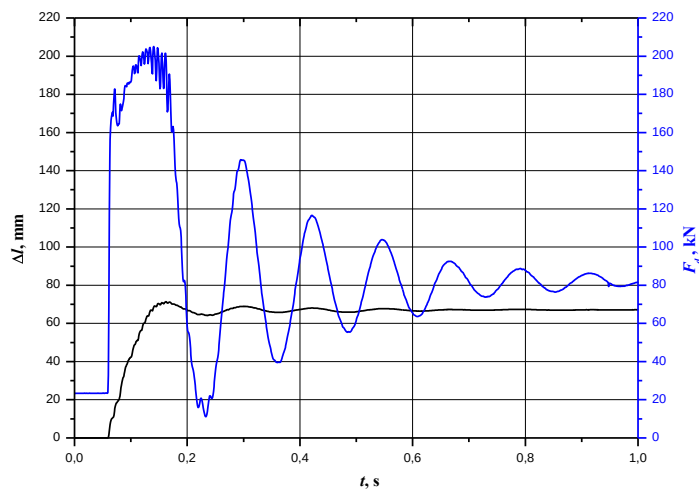
Lp.	Średnica nominalna żerdzi d_n , mm	Gatunek	Masa uderowa m_1 , kg	Wysokość spadku masy uderowej h , m	Maksymalna dynamiczna siła obciążająca F_{dmax} , kN	Wydłużenie całkowite Δl_c , mm	Energia kinetyczna obciążenia E_k , kJ	Uwagi
1	18,3	AP600	5000	0,3	175,1	118,8	10,5	kotew nie uległa zerwaniu
2	18,3	AP600	5000	0,3	175,5	118,9	10,5	
3	18,3	AP600	5000	0,3	176,7	124,4	10,5	
4	18,3	AP600	5000	0,2	163,4	83,1	7,0	
5	18,3	AP600	5000	0,2	164,5	82,4	7,0	
6	18,3	AP600	5000	0,5	185,5	-	17,5	kotew nie uległa zerwaniu; koniec zakresu pomiarowego
7	18,3	AP600	5000	0,3	178,8	117,6	10,5	kotew nie uległa zerwaniu
8	18,3	AP600	4000	0,7	207,2	145,5	18,3	
9	18,3	AP600	4000	1,0	209,8	182,5	26,2	zerwanie żerdzi na gwincie; w jej górnej części
10	18,3	AP600	4000	0,8	209,6	155,6	20,9	kotew nie uległa zerwaniu
11	18,3	AP600	4000	0,9	210,1	177,1	23,5	
12	18,3	AP600	4000	0,9	215,4	177,2	23,5	
13	18,3	AP600	4000	1,2	212,3	176,3	31,4	
14	18,3	AP600	4000	1,4	213,0	191,3	36,6	
15	20	34GS	5000	0,2	205,1	67,2	7,0	kotew nie uległa zerwaniu
16	20	34GS	5000	0,3	203,9	79,3	10,5	zerwanie żerdzi na gwincie; spłaszczenie podkładki
17	20	34GS	5000	0,25	207,1	76,1	8,8	kotew nie uległa zerwaniu
18	20	34GS	4000	0,7	215,9	88,2	18,3	zerwanie żerdzi na gwincie
19	22	EM700	4000	0,5	267,4	-	13,6	kotew nie uległa zerwaniu; zaklinowane nakrętki po badaniu
20	22	EM700	4000	1,0	258,7	40	26,2	ścięcie gwintu żerdzi pod dolną nakrętką
21	22	EM700	4000	0,7	286,1	-	18,3	ścięcie gwintu żerdzi pod górną nakrętką

Przykładowe charakterystyki pracy kotwi obciążonych udarem masy 5000 kg z prędkością obciążenia $v_p = 1,4 \text{ m/s}$, przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Zależność siły dynamicznej F_d , wydłużenia kotwy Δl i odkształcenia względnego ε_r żerdzi w funkcji czasu t dla próby nr 4

Fig. 2. Dependence of dynamic force F_d , bolt elongation Δl and rod relative strain ε_r in time function t for test No. 4



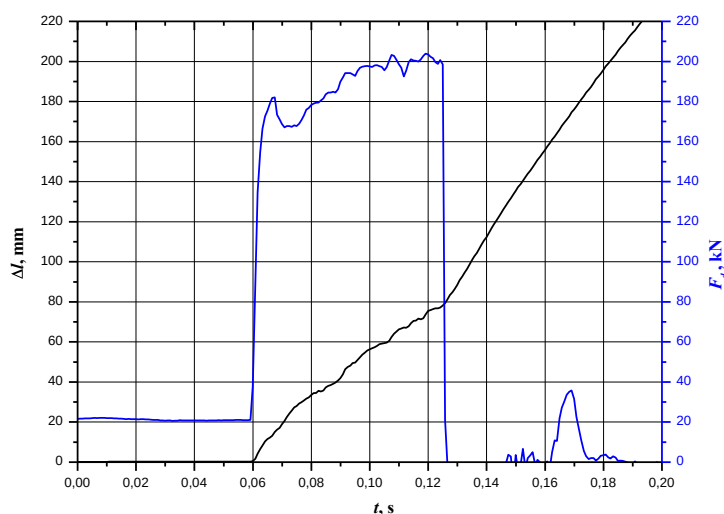
Rys. 3. Zależność siły dynamicznej F_d i wydłużenia kotwy Δl w funkcji czasu t dla próby nr 15

Fig. 3. Dependence of dynamic force F_d and bolt elongation Δl in time function t for test No. 15

Z wykresu (rys. 2) wynika, że kotew, której żerdź wykonana była z pręta gładkiego $\phi 18,3$ mm, ze stali AP600, wydłużyła się w czasie badania o około 83 mm (co stanowi przyrost długości o $\approx 5\%$), lecz nie uległa zerwaniu. Maksymalna dynamiczna siła obciążająca F_{dmax} wyniosła 163,4 kN (jest o 6% mniejsza od siły statycznej F_s), natomiast siła F_{del} na granicy plastyczności wyniosła około 130 kN (jest o 16% większa od siły statycznej F_{sel}). Analiza odkształcenia względnego ε_r żerdzi wykazała, że żerdź trwale odkształciła się o ≈ 5 mm/m, mimo, że chwilowy wzrost odkształcenia żerdzi wyniósł podczas badania ≈ 16 mm/m. Wskazuje to na bardzo dobre parametry sprężysto-plastyczne stali AP600 podczas obciążeń dynamicznych i zapewnia znaczną odporność uderową żerdzi kotwi wykonanej z tej stali. Potwierdza

to również badania prowadzone przez Bielajewa [1] nad określeniem czynników wpływających na tzw. „opór materiału przeciw odkształceniom plastycznym”. Z badań tych wynika, że jednym z czynników wpływających na wzrost tego oporu jest wzrost prędkości obciążania, która może jednak powodować zmianę własności mechanicznych materiału, na przykład zwiększenie jego kruchości.

Z wykresu (rys. 3) wynika, że kotew, której żerdź wykonana była z pręta żebrowanego $\phi 20$ mm, ze stali 34GS, wydłużyła się podczas badania o około 67 mm (co stanowi przyrost długości o $\approx 4\%$) i nie uległa zerwaniu. Maksymalna dynamiczna siła obciążająca F_{dmax} wyniosła 205,1 kN (jest o 5% mniejsza od siły statycznej F_s), natomiast siła F_{del} na granicy plastyczności wyniosła około 170 kN (jest o 27% większa od siły statycznej F_{sel}). Przy tej samej energii kinetycznej obciążenia $E_k = 7$ kJ, jak podczas badania kotwy, której żerdź wykonana była z pręta gładkiego $\phi 18,3$ mm (rys. 2), żerdź kotwy z pręta żebrowanego $\phi 20$ mm wykazała mniejszą plastyczność. Aby mogło nastąpić rozproszenie całej energii E_k obciążenia nastąpił wzrost sił dynamicznych w żerdzi kotwi o 25,5% w stosunku do żerdzi z pręta gładkiego $\phi 18,3$ mm. Taki stan obciążeniowo-deformacyjny stwarza już poważne zagrożenie zerwaniem żerdzi kotwy. Przykładem tego jest badanie tej samej kotwy przy energii kinetycznej obciążenia $E_k = 10,5$ kJ, gdzie nastąpiło zerwanie żerdzi na gwincie pod nakrętką, przy dynamicznej sile $F_{dmax} = 203,9$ kN (F_{dmax} jest o 6% mniejsza od siły statycznej F_s , przy której nastąpiło zerwanie żerdzi kotwy). Siła F_{del} na granicy plastyczności wyniosła również, jak w badaniu poprzednim, około 170 kN, co wskazuje na to, że materiał żerdzi osiągnął już maksymalną wytrzymałość, a jej wartość będzie w bardzo niewielkim stopniu zależna od wzrostu energii kinetycznej i prędkości obciążenia (rys. 6). Wykres zależności siły dynamicznej F_d i wydłużenia kotwy Δl w funkcji czasu t , przedstawiono na rysunku 4, natomiast na zdjęciu 3 przedstawiono widok kotwy po badaniu.



Rys. 4. Zależność siły dynamicznej F_d i wydłużenia kotwy Δl w funkcji czasu t dla próby nr 16

Fig. 4. Dependence of dynamic force F_d and bolt elongation Δl in time function t for test No. 16



Fot. 3. Elementy kotwi z próby nr 16, po badaniu

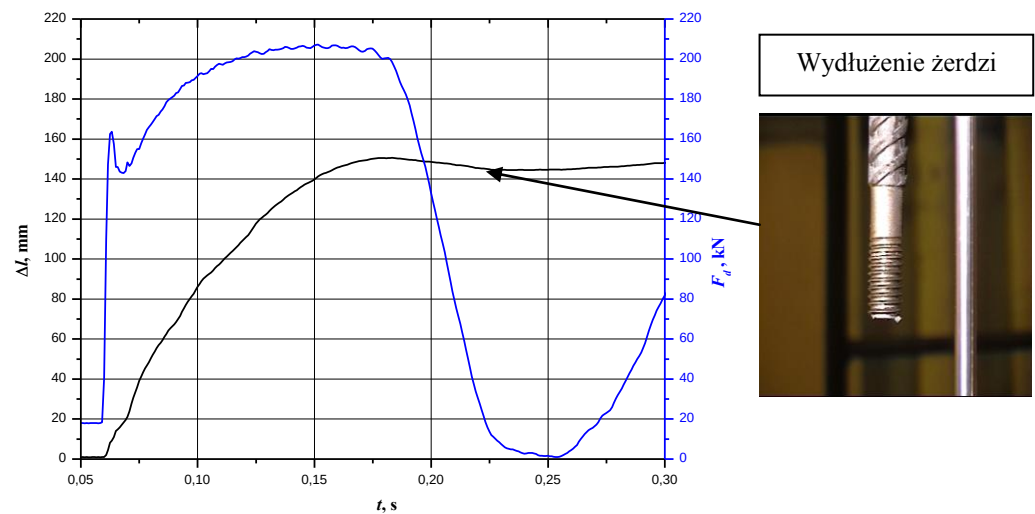
Phot. 3. Bolt elements from test No. 16, after testing

Podczas tego badania ujawniła się kruchość materiału żerdzi, której nie zaobserwowano podczas badań statycznych. Można zatem przyjąć, że rzeczywista odporność udarowa tego typu żerdzi, przy której jeszcze nie następuje jej zniszczenie, odpowiada energii kinetycznej obciążenia E_k z przedziału $7 \div 10,5$ kJ.

Przykładowe charakterystyki pracy kotwi obciążonych udarem masy 4000 kg o energii kinetycznej $E_k = 18,3$ kJ oraz z prędkością obciążenia $v_p = 2,5$ m/s, przedstawiono na rysunkach 5, 6 i 7.

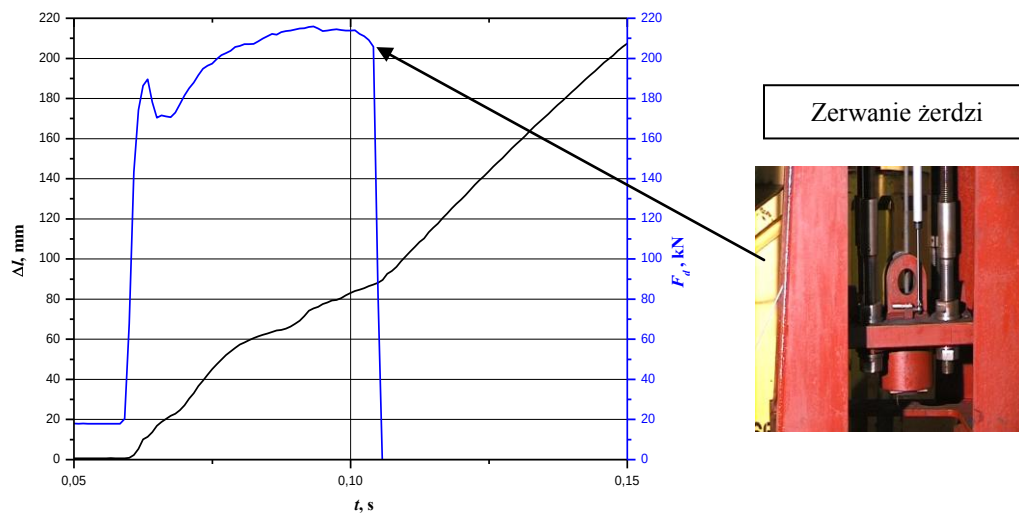
Z poniższych wykresów wynika, że jedynie kotew typu KE-3W, której żerdź wykonana była z pręta gładkiego $\phi 18,3$ mm, ze stali AP600 (rys. 5), nie uległa zniszczeniu. Żerdź tej kotwy wydłużyła się podczas badania o około 145,5 mm (co stanowi przyrost długości o $\approx 9\%$). Pozostałe dwie kotwy ulegały zniszczeniu przez zerwanie żerdzi na gwincie lub ścięcie gwintu żerdzi.

W celu określenia odporności udarowej kotwi typu KE-3W przeprowadzono ich badania przy energii kinetycznej obciążenia E_k z zakresu $20,9 \div 36,6$ kJ, a charakterystyki ich pracy przedstawiono na rysunkach 8, 9, 10, 11 i 12.



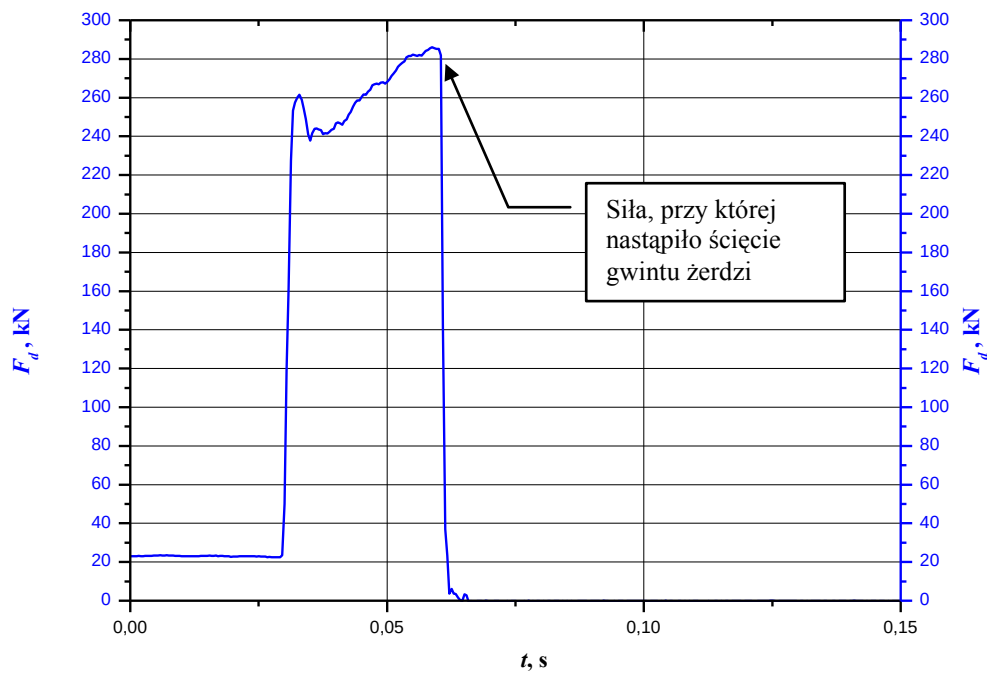
Rys. 5. Zależność siły dynamicznej F_d i wydłużenia kotwy Δl w funkcji czasu t dla próby nr 8

Fig. 5. Dependence of dynamic force F_d and bolt elongation Δl in time function t for test No. 8



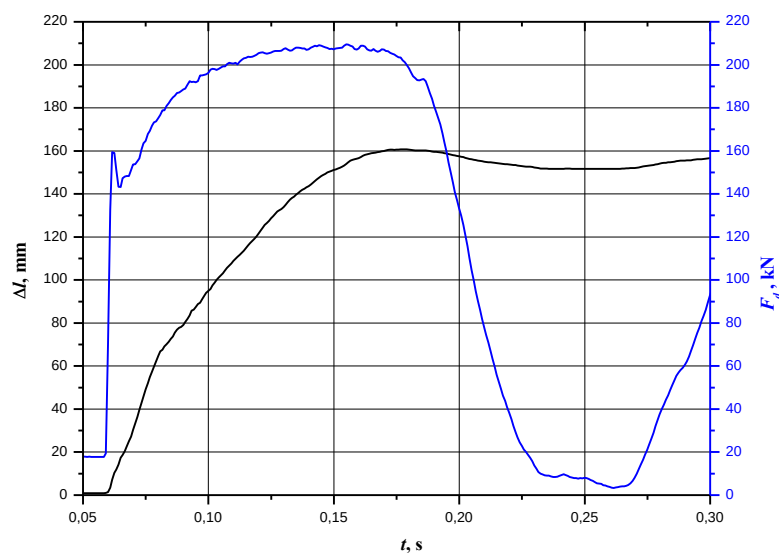
Rys. 6. Zależność siły dynamicznej F_d i wydłużenia kotwy Δl w funkcji czasu t dla próby nr 18

Fig. 6. Dependence of dynamic force F_d and bolt elongation Δl in time function t for test No. 18



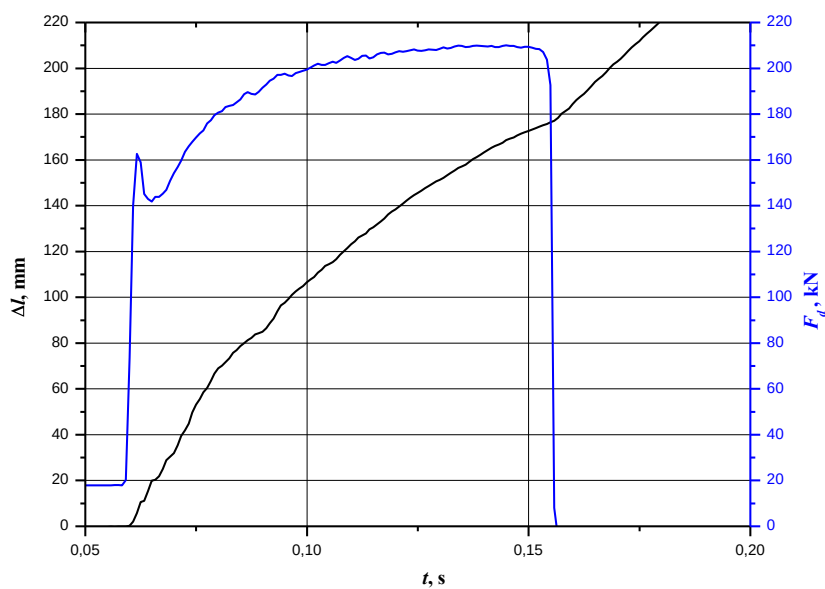
Rys. 7. Zależność siły dynamicznej F_d w funkcji czasu t dla próby nr 21

Fig. 7. Dependence of dynamic force F_d in time function t for test No. 21



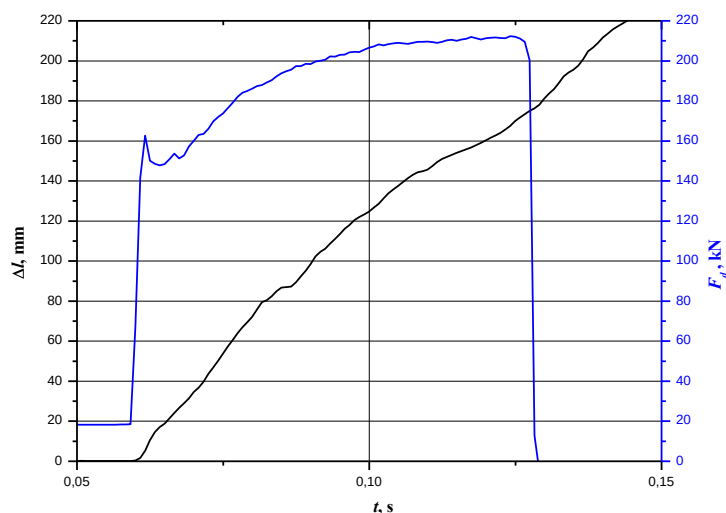
Rys. 8. Zależność siły dynamicznej F_d i wydłużenia kotwy Δl w funkcji czasu t dla próby nr 10

Fig. 8. Dependence of dynamic force F_d and bolt elongation Δl in time function t for test No. 10



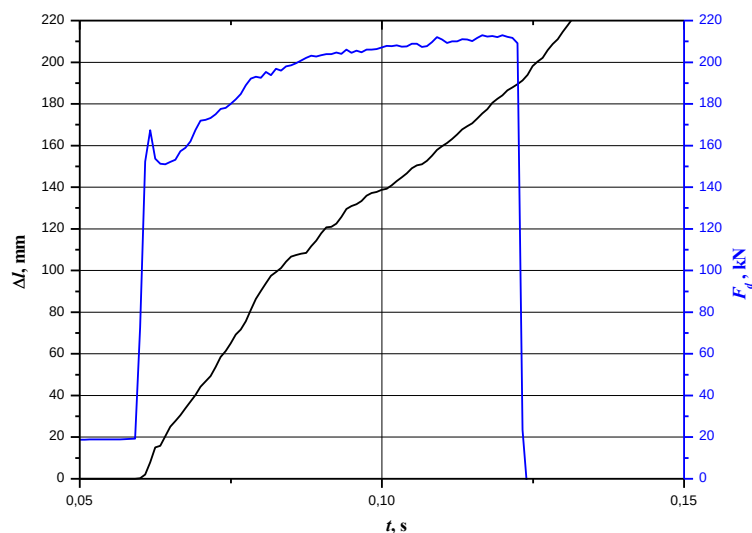
Rys. 9. Zależność siły dynamicznej F_d i wydłużenia kotwy Δl w funkcji czasu t dla próby nr 11

Fig. 9. Dependence of dynamic force F_d and bolt elongation Δl in time function t for test No. 11



Rys. 10. Zależność siły dynamicznej F_d i wydłużenia kotwy Δl w funkcji czasu t dla próby nr 13

Fig. 10. Dependence of dynamic force F_d and bolt elongation Δl in time function t for test No. 13

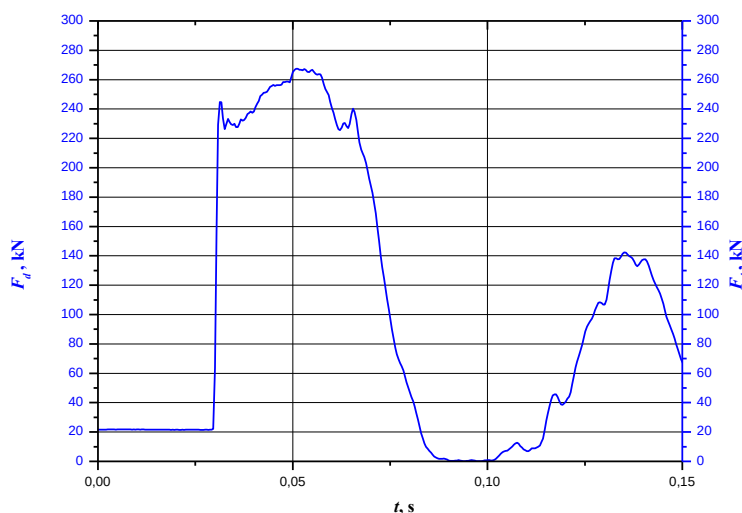


Rys. 11. Zależność siły dynamicznej F_d i wydłużenia kotwy Δl w funkcji czasu t dla próby nr 14

Fig. 11. Dependence of dynamic force F_d and bolt elongation Δl in time function t for test No. 14

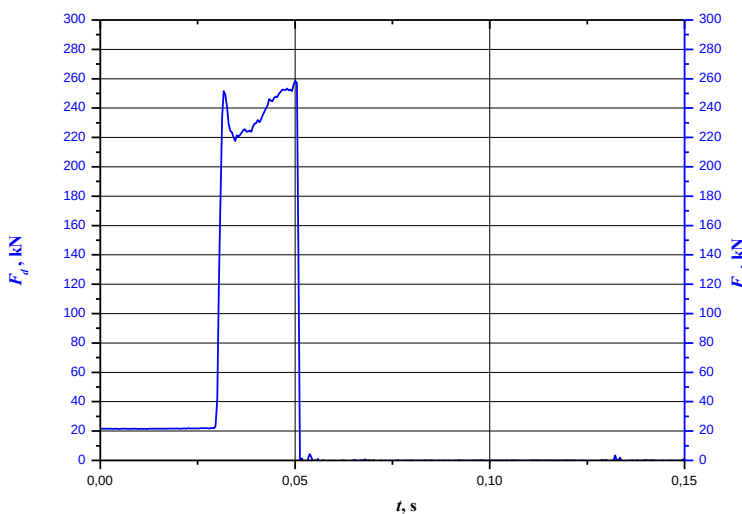
Z powyższych wykresów wynika, że rzeczywista odporność uderowa żerdzi typu KE-3W, przy której jeszcze nie następuje jej zniszczenie, odpowiada energii kinetycznej obciążenia E_k z przedziału 20,9÷23,5 kJ, a wydłużenie żerdzi wynosi około 10%. Jednocześnie zaobserwowano, że maksymalna dynamiczna siła obciążająca F_{dmax} mieściła się w przedziale 210÷215 kN, siła F_{del} na granicy plastyczności wynosiła około 150 kN, a oba te parametry prawie nie zmieniały się ze wzrostem energii kinetycznej i prędkości obciążenia.

Przykładowe charakterystyki pracy kotwi KG-265, obciążonych udarem masy 4000 kg, przedstawiono na rysunkach 12 i 13. Z tych wstępnych badań wynika, że ich odporność uderowa, przy której jeszcze nie następuje zniszczenie kotwy, odpowiada energii kinetycznej obciążenia E_k wynoszącej około 14 kJ. Należy jednak stwierdzić, że najsłabszym elementem tego typu kotwy jest gwint żerdzi, którego wytrzymałość jest znacznie mniejsza od wytrzymałości, jaka wynika z przekroju poprzecznego pręta żerdzi (związana z średnicą nominalną d_n).



Rys. 12. Zależność siły dynamicznej F_d w funkcji czasu t dla próby nr 19

Fig. 12. Dependence of dynamic force F_d in time function t for test No. 19



Rys. 13. Zależność siły dynamicznej F_d w funkcji czasu t dla próby nr 20

Fig. 13. Dependence of dynamic force F_d in time function t for test No. 20

5. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań kotwi w skali naturalnej, przy obciążeniach udarowych, można wysnuć następujące wnioski:

1. Kotwie, których żerdzie wykonane były z pręta gładkiego $\phi 18,3$ mm miały większą odporność udarową od kotwi, których żerdzie wykonane były z pręta żebrowanego $\phi 20$ i $\phi 22$. Znaczny wpływ na to zjawisko ma gatunek stali, jej własności sprężysto-plastyczne i udurowienie.
2. Obciążenia udarowe powodują powstanie ekstremalnych naprężeń w konstrukcjach, które mogą powodować ich zniszczenie, przy wartościach obciążeń znacznie mniejszych od niszczących wartości obciążeń wyznaczonych podczas badań statycznych.
3. Przeprowadzone badania kotwi przy obciążeniach udarowych potwierdziły odmiennosć wyznaczonych na ich podstawie parametrów wytrzymałościowych w stosunku do parametrów wyznaczonych podczas badań statycznych.
4. Kotwie stosowane w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu powinny być badane przy obciążeniach udarowych. Odporność udarowa kotwi górniczych powinna być większa od spodziewanej energii kinetycznej obciążenia, jakie może wystąpić w danym wyrobisku.
5. Należy kontynuować badania różnych typów kotwi przy zmiennych wartościach prędkości obciążenia i energii kinetycznej oraz przy zmiennej masie udarowej.

Literatura

1. Bielajew N.M.: *Wytrzymałość materiałów*. Warszawa, Ministerstwo Obrony Narodowej, 1954.
2. Dobrociński S.: *Stabilność rozwiązań zagadnień odporności udarowej konstrukcji*. II Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Odporność udarowa konstrukcji, Warszawa, Wojskowa Akademia Techniczna 1998.
3. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłowski Z.: *Wytrzymałość materiałów*, tom II, Podręczniki akademickie. Mechanika. Warszawa, WNT 1997.
4. *Metoda elementów skończonych w dynamice konstrukcji*: Warszawa, Wydaw. Arkady 1984.
5. Nierobisz A.: *Wyniki badań kotwi przeznaczonych do warunków wstrząsów i tąpnięć*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 2000 nr 12.
6. PN-EN 10002-1+AC1:1998 Metale. Próba rozciągania. Metoda badania w temperaturze otoczenia.
7. Pr PN-G Kotwie górnicze. Wymagania i badania dla warunków wstrząsów i tąpnięć. Projekt w ramach pracy statutowej GIG, 2001.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński

Janusz Kompala, Witold Mrukwa, Janusz Świder

TEORIA A PRAKTYKA STOSOWANIA EKRANÓW AKUSTYCZNYCH

Streszczenie

Wyniki badań (w tym ankietowych) przeprowadzonych w krajach wysoko rozwiniętych wskazują na znaczny wzrost liczby skarg na uciążliwość spowodowane oddziaływaniem hałasu i drgań. Równocześnie, w ostatnim czasie wzrasta świadomość społeczeństwa dotycząca skali i niekorzystnych skutków oddziaływania nadmiernego hałasu na organizm człowieka i jego środowisko. Przyjęte w obowiązujących przepisach sanitarnych wartości kryterialne dla poziomu dźwięku A odpowiadają sumie reakcji organizmu człowieka na hałas w miejscu pracy oraz koniecznej do regeneracji przerwy w miejscu zamieszkania (wypoczynku) po ekspozycji zawodowej. Dlatego konieczne jest kreowanie odpowiedniej polityki ochrony środowiska na szczeblu miejskim, gminnym, powiatowym czy regionalnym, spełniającej dodatkowo wymogi zawarte w aktach prawnych wyższej rangi.

Zagrożenie hałasem na terenach silnie zurbanizowanych jest tak duże, że powoduje niekorzystne skutki społeczne i gospodarcze. Konieczne jest więc ich ograniczanie, jednak skuteczna ochrona środowiska przed hałasem nie może polegać na działaniach okazjonalnych. Obserwuje się, że hałas niezwalczany w sposób kompleksowy i skoordynowany może stać się przyczyną powszechnej degradacji środowiska przyrodniczego. Może dojść nawet do sytuacji krytycznej, kiedy znaczne obszary nie będą mogły pełnić swoich funkcji. W związku z powyższym konieczne jest podjęcie działań korekcyjnych bądź na etapie tworzenia, czy weryfikacji planu zagospodarowania miasta, bądź w ramach realizacji tzw. planów rozwoju ekologicznego, czyli rozwoju zrównoważonego miasta. Przed podjęciem takich działań należy wykonać badania stanu narażenia środowiska na oddziaływanie hałasu. Rezultatem tego typu przedsięwzięć powinien stać się plan akustyczny. Dopiero taki dokument może być podstawą do podjęcia działań w celu eliminacji lub minimalizacji zagrożeń, przy uwzględnieniu ich skuteczności, technicznych możliwości oraz kosztów realizacji przyjętego harmonogramu prac.

W takiej sytuacji istotnego znaczenia nabiera prawidłowe sterowanie polityką inwestycyjną w zakresie budowy nowych dróg i modernizacji już istniejących. Polityka ta powinna wymuszać przewidywanie w projektach budowy bądź modernizacji skutecznych środków przeciwhałasowych jako integralnych składników budowanych lub modernizowanych tras komunikacyjnych.

Spośród zabezpieczeń sztucznych najbardziej rozpowszechnione są różnego rodzaju ekrany akustyczne. Wynika to między innymi stąd, iż ekrany pod względem konstrukcyjnym są obiektami stosunkowo prostymi, nieskomplikowanymi w montażu i, co niezmiernie ważne, koszty związane z ich zaprojektowaniem i instalacją stanowią niewielką część kosztów realizacji trasy komunikacyjnej.

Przeprowadzone badania stanowią próbę zasygnalizowania istotnego, z uwagi na kształtowanie właściwego klimatu akustycznego na terenach mieszkalnych, problemu skuteczności ekranów drogowych w miejscu ich zainstalowania. Wyniki wskazują, że samo zainstalowanie ekranu nie chroni ludzi przed hałasem, gdy na przykład ekran ten nie jest całkowicie skuteczny. Stąd też konieczność przeprowadzania odpowiednich badań sprawdzających przed rzeczowym i formalnym odbiorem inwestycji oraz opracowanie odpowiedniego programu umożliwiającego ograniczenie hałasu na terenie województwa, miasta czy gminy.

Theory and practice of acoustic baffle application

Summary

The results of examinations (including questionnaire surveys) carried out in highly developed countries indicate a considerable increase of the number of claims relating to nuisance caused by the impact of

noise and vibration. Simultaneously in recent times grows the awareness of the society concerning the scale and unfavourable effects of the excessive noise impact on the human organism and its environment. The criterial values adopted in being in force sanitary regulations for the sound level A correspond with the sum of reactions of the human organism to noise at the workstation and necessary for regeneration break in the place of residence (rest) after professional exposition. Therefore it is necessary to create suitable environmental protection policy on the municipal, communal, district or regional level, meeting additionally the requirements determined in legal acts of higher rank.

The noise hazard in strongly urbanised areas is so high, that it causes unfavourable social and economic effects. It is necessary to reduce these effects, however, effective environmental protection against noise cannot consist in occasional actions. One observes that noise not combated in a complex and internally consistent manner may be the reason of common degradation of the natural environment. A critical situation can happen, when considerable areas will not be able to fulfil their functions. In connection with the above it is necessary to undertake corrective action either at the stage of creation or verification of the city development plan or in the framework of realisation of the so-called ecological development plans, i.e. city sustainable development. Before undertaking such actions, one should carry out investigations into the state of environment exposure on the impact of noise. The result of this type of undertakings should become the acoustic plan. Just such a document can constitute the basis to undertake actions aiming at hazard elimination or minimisation, taking into account their effectiveness, technical possibilities and costs of realisation of the adopted work schedule.

In such a situation of essential significance is the correct investment policy steering with respect to the construction of new roads and modernisation of existing ones. This policy should extract the provision of efficient anti-noise means in the construction or modernisation projects as integral construction components or modernised traffic routes.

From among artificial protections the most wide-spread means constitute different types of acoustic baffles. This results among others from the fact, that in the constructional respect acoustic baffles are relatively simple objects, not complicated as regards assembly, and what is very important, the costs connected with their design and installation constitute a small part of the traffic route realisation costs.

The carried out investigations constitute a trial to indicate the problem of efficiency of acoustic baffles in the place of their installation, because of the creation of an appropriate acoustic climate in residential areas. The results show that the installation of baffles does not protect against noise, if for example the acoustic baffle is not entirely efficient. Hence the necessity to conduct suitable checking tests before the real and formal investment reception and work out an adequate programme enabling noise reduction in the area of the province, city or community.

1. WSTĘP

Zagrożenie hałasem występuje powszechnie i jest najczęściej pochodną wielu czynników, z których podstawowymi są nadmierna urbanizacja i koncentracja przemysłu. Wyniki badań (w tym ankietowych) przeprowadzane w krajach wysoko rozwiniętych wskazują na znaczny wzrost liczby skarg odnośnie do oddziaływania hałasu, co powoduje konieczność rozpoznawania i walki z tego typu zagrożeniami środowiska. Badania przeprowadzone przez CBOS (sierpień 1999 r.) potwierdziły powyższe stwierdzenia. W ich rezultacie okazało się, że ponad 40% Polaków uważa, że hałas występujący w ich najbliższym środowisku jest **źródłem ich obaw i niepokoju**. Wyniki tych badań potwierdzają także fakt, że najbardziej narażeni na jego uciążliwe oddziaływanie są mieszkańcy miast (im większe miasto, tym większe odczucie dyskomfortu i zagrożenia) w swym środowisku domowym. Deklaracje ankietowanych mieszkańców dużych miast zawierają zdecydowanie więcej skarg na uciążliwość wynikającą z nadmiernego hałasu drogowego – w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców (ok. 42%), aniżeli na terenach wiejskich (ok. 17%) [4, 5].

Czym więc jest hałas? Zgodnie z funkcjonującymi w środowisku akustycznym definicjami hałasem są wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub wręcz szkodliwe drgania mechaniczne ośrodka sprężystego, oddziałujące za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i inne zmysły oraz części organizmu człowieka [1, 4].

Zagrożenie tego typu towarzyszy człowiekowi od początku jego istnienia, jednak nigdy jeszcze nie było ono tak powszechne i uciążliwe, jak w ostatnim czasie. Potwierdzeniem tej tezy były wnioski zawarte w prognozie opracowanej przez Komitet Akustyki PAN w latach 1985–1987, pod kierownictwem prof. J. Sadowskiego pt. „Ochrona środowiska przed hałasem i wibracjami do r. 2010”. Wykazano w niej, że zanieczyszczenie środowiska hałasem będzie decydującym czynnikiem kształtującym środowisko przyrodnicze w Polsce w najbliższych kilkudziesięciu latach. Będzie to następstwem ograniczenia emisji innych zanieczyszczeń, w tym przede wszystkim chemicznych, do środowiska. Cytowana prognoza wskazuje, że głównymi źródłami hałasu będzie komunikacja (transport drogowy, kolejowy, lotniczy), z decydującym udziałem komunikacji drogowej. Ilustracją tego stwierdzenia są następujące dane statystyczne, dotyczące rozwoju transportu drogowego w kraju. W ciągu ostatnich kilkunastu lat liczba zarejestrowanych pojazdów będących w użytkowaniu wzrosła z 2 283 000 samochodów osobowych i 686 000 samochodów ciężarowych w roku 1980 do odpowiednio 6 505 000 i 1 298 000 w 1992. Wzrosła również liczba samochodów osobowych, przypadająca na 1000 mieszkańców. W 1998 roku wskaźnik ten wynosił 66,7, a w 1992 – 170. Nie są to jednak liczby znaczące, jeżeli porówna się je z podobnymi danymi dla krajów europejskich, na przykład w Austrii wskaźnik ten osiąga wartość – 299, Belgii – 320, Niemczech – 492, USA – 642. Jeżeli weźmie się jednak pod uwagę fakt, że w Polsce na powierzchnię 100 km² przypada o połowę mniejsza długość dróg niż w innych krajach, na przykład Europy Zachodniej, wspomniany wzrost liczby pojazdów jest powodem wzrastającej gęstości strumienia pojazdów na drogach. Prowadzi to do niewydolności systemu drogowego w kraju i wzrostu jego uciążliwości dla otoczenia. Największym niedostatkim tego systemu jest brak autostrad, obwodnic oraz dróg szybkiego ruchu [2, 7, 9].

Podstawą postawienia prognozy na lata 2000 i 2010 były między innymi dane, opracowane przez Instytut Techniki Budowlanej [8]. Do oceny stanu środowiska zewnętrznego zostały wykorzystane wyniki pomiarowe uzyskane przez różne instytucje w 5000 punktach zlokalizowanych na terenie całego kraju (tabl. 1). Opracowania dotyczące globalnej oceny zanieczyszczenia środowiska hałasem dużych obszarów, na przykład województwo, prowadzone są także w GIG na bieżąco wypracowanymi, własnymi metodami [2, 4]. Brak jest bowiem wzorca, umożliwiającego przeprowadzenie oceny według znormalizowanego sposobu lub metody.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można ocenić, że hałas o poziomie ponadnormatywnym występuje na około 21% terenu Polski, zaś na jego działanie narażone jest około 33% populacji. Zagrożenie to wzrasta szczególnie szybko w dużych miastach i na terenach silnie zurbanizowanych [8].

Tablica 1. Powierzchnia kraju zagrożona ponadnormatywnym hałasem w latach 2000 i 2010

Wyszczególnienie	Jednostka miary	Parametry charakterystyczne w roku	
		2000	2010
Długość dróg z nawierzchnią twardą	km	161 900	189 000
Gęstość dróg	km/100 km ²	52	61
Powierzchnia terenu wzdłuż dróg objęta hałasem o poziomie ponadnormatywnym	km ²	36 428	47 250
Długość linii kolejowych	km	23 606	20 711
Powierzchnia terenu objęta hałasem o poziomie ponadnormatywnym	km ²	12 803	10 406
Powierzchnia terenu objęta hałasem źródeł powierzchniowych (przemysł, obiekty komunalne)	km ²	10 890	11 979
Powierzchnia terenu wokół lotnisk objęta hałasem o poziomie ponadnormatywnym	km ²	2420	2662
Tereny dużych miast ($L_{A,eq} = 70$ dB)	km ²	2954	3251
Tereny miast średnich ($L_{A,eq} = 66$ dB)	km ²	8833	9716
Razem powierzchnia	km ² %	75 633 24	87 993 28

Z powyższego wynika, że zagrożenie hałasem ma tendencję wzrostową i dlatego konieczne jest kreowanie odpowiedniej polityki ochrony środowiska na szczeblu miejskim, gminnym, powiatowym czy regionalnym, spełniającej dodatkowo wymogi zawarte w aktach prawnych wyższej rangi.

Dokumenty normalizacyjne obowiązujące w Unii Europejskiej [2, 9] dotyczą przede wszystkim sposobów i metod prowadzenia badań hałasu w środowisku zewnętrznym oraz zawierają jedynie wskazówki dla sposobów ustalania dopuszczalnych poziomów hałasu. Zakłada się w nich, że poziomy dopuszczalne będą ustalone przez władze szczebla centralnego lub lokalnego, na podstawie ogólnych rozważań, dotyczących zgodności z rodzajami działalności człowieka i sposobem zagospodarowania terenu. Wartości dopuszczalne obowiązujące aktualnie w Polsce zostały określone w Rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 13 maja 1998 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku i są dostosowane do wymagań Unii Europejskiej.

Biorąc pod uwagę powyższe można stwierdzić, że wprowadzane obecnie akty normatywne i przepisy sporządzone na podstawie odpowiednich dokumentów Unii Europejskiej nie wpłyną w sposób istotny na wielkość wskaźników charakteryzujących uciążliwości akustyczne w środowisku zewnętrznym, oczywiście pod względem formalnoprawnym. Istotne natomiast będą wymagania odnośnie do stosowania i egzekwowania obowiązujących w kraju przepisów.

W tej sytuacji istotnego znaczenia nabiera prawidłowe sterowanie polityką inwestycyjną w zakresie budowy nowych dróg i modernizacji już istniejących, tym bardziej, że w tym ostatnim przypadku chodzi zwykle o zwiększenie ich przepustowości, a zatem stworzenie możliwości zwiększenia prędkości pojazdów, co powoduje

nasilenie emisji hałasu. Wspomniana powyżej polityka powinna wymuszać uwzględnianie w projektach budowy bądź modernizacji możliwości stosowania skutecznych środków przeciwhałasowych jako integralnych składników budowanych lub modernizowanych tras komunikacyjnych. Środki te powinny być nie tylko zaprojektowane, ale również zrealizowane w rzeczywistości. W przeciwnym przypadku projekt nie powinien zostać zatwierdzony do realizacji, a nowej lub zmodernizowanej drogi bez koniecznych zabezpieczeń nie należy odbierać i uruchamiać. Jest to szczególnie ważne dla tych fragmentów tras, które przebiegają lub mają przebiegać przez tereny zabudowy mieszkaniowej lub w niewielkiej od niej odległości [6, 7, 10].

W budownictwie drogowym stosuje się obecnie następujące rodzaje zabezpieczeń przeciwhałasowych:

a) naturalne:

- obwodnice wokół terenów zabudowy mieszkaniowej,
- drogi w głębokich wykopach,
- drogi pomiędzy wałami ziemnymi;

b) sztuczne:

- ekranowanie drogi przez budynki i budowle,
- okna dźwiękoizolacyjne w połączeniu z klimatyzacją,
- drogowe ekrany akustyczne,
- pasy zieleni wykorzystywane jako ekrany,
- tunele przeciwhałasowe nad drogą, stosowane w miastach.

Spośród zabezpieczeń sztucznych, najbardziej rozpowszechnione są różnego rodzaju ekrany akustyczne, budowane wzdłuż dróg. Powszechność ich stosowania bierze się między innymi stąd, że ekrany pod względem konstrukcyjnym są obiektami stosunkowo prostymi, nieskomplikowanymi w montażu i, co niezmiernie ważne, koszty związane z ich zaprojektowaniem i instalacją stanowią niewielką część kosztów realizacji trasy komunikacyjnej. Koszty te są znacznie wyższe, gdy decyzje o konieczności instalacji ekranów są podejmowane po wybudowaniu i uruchomieniu trasy komunikacyjnej.

Z zastosowaniem ekranów wiąże się duże nadzieje, co znajduje odzwierciedlenie w licznych publikacjach zarówno specjalistycznych, jak i prasowych, a także są przedmiotem wypowiedzi wielu osób popierających budowę lub modernizację takiej, czy też innej drogi.

2. ZASADY EKRANOWANIA AKUSTYCZNEGO TRAS KOMUNIKACYJNYCH

Z uwagi na kształt przekroju poprzecznego drogowe ekrany akustyczne dzieli się ogólnie na [5, 6, 7, 9, 10]:

- pionowe,
- pionowe nadwieszane,
- poziome,
- prostopadłościennie,

- klinowe,
- trapezoidalne.

Obecnie coraz częściej stosowane są również ekrany o przekroju krzywoliniowym, na przykład cylindryczne, hiperboliczne, paraboliczne itp. Można także dokonać podziału ekranów na grupy rodzajowe biorąc pod uwagę, na przykład:

- kształt przekroju podłużnego,
- lokalizację w rejonie tras komunikacyjnych,
- przeznaczenie do ochrony budynków mieszkalnych przed hałasem drogowym.

Do pierwszej grupy są zaliczane ekrany o prostoliniowym (płaskie) bądź krzywoliniowym kształcie przekroju poprzecznego; do drugiej wolno stojące, ekranujące drogę w wykopie, stanowiące uzupełnienie skarp, nasypów i podobnych obiektów ziemnych oraz ekranujące drogi, prowadzone po estakadach, mostach, wiaduktach itp.

Trzecia grupa łączy wszystkie wymienione wyżej cechy, jak również własności akustyczne, aspekty materiałowe, montażowe itp.

3. SKUTECZNOŚĆ AKUSTYCZNA EKRANU

Skuteczność akustyczną dowolnego ekranu [1, 3, 4, 6, 7, 10] definiuje się jako różnicę między wartościami wielkości opisującej hałas, stwierdzonymi w punkcie obserwacji zlokalizowanym w rejonie trasy komunikacyjnej, przed i po zainstalowaniu ekranu. Wielkość ta w terminologii angielskiej określana jako „**Insertion Loss**” i w skrócie oznaczana symbolem „**IL**”, jest nazywana w polskim nazewnictwie akustycznym „**tlumieniem wtrącenia**” lub „**stratami wtrącenia**”

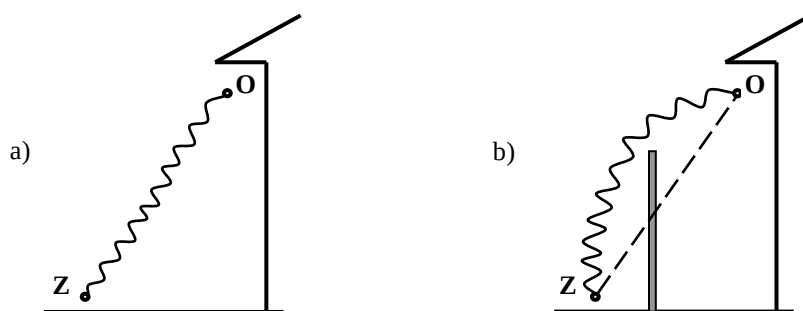
$$IL = (L_{p1})_i - (L_{p2})_i, \text{ dB}$$

gdzie L_{p1} , L_{p2} , są wartościami poziomów ciśnienia akustycznego w punkcie obserwacji, bez i z ekranem, dla i -tego pasma częstotliwości.

W przypadku rozchodzenia się fali akustycznej w przestrzeni pozbawionej obiektów, mogących odbijać bądź pochłaniać dźwięk, obliczenie wartości L_{p1} w dowolnej odległości od źródła, czyli od trasy komunikacyjnej, nie stanowi poważnego problemu. Sytuację taką przedstawiono schematycznie na rysunku 1a, na którym punkt obserwacji O został zlokalizowany przed budynkiem w pewnej odległości od podłoża i jest widoczny ze źródła. Sprawa ulega komplikacji wtedy, gdy na drodze rozchodzenia się fali akustycznej postawi się jakąkolwiek przegrodę, na przykład ekran akustyczny (rys. 1b). Punkt obserwacji nie jest wtedy widoczny ze źródła, a mimo to dźwięk pochodzący z tego źródła będzie dochodził, co potwierdzą pomiary poziomu ciśnienia akustycznego. Dzieje się tak z powodu ugięcia się fali akustycznej na górnej krawędzi ekranu, a także na krawędziach bocznych.

Na podstawie analizy literatury z zakresu teorii i praktyki drogowych zabezpieczeń przeciwhałasowych ekran powinien spełniać co najmniej następujące wymagania lokalizacyjne i gabarytowe:

- powinien być lokalizowany możliwie najbliżej źródła (trasy komunikacyjnej) i mieć najwyższą z możliwych wysokość, ponieważ spełnienie tych wymagań sprzyja wzrostowi skuteczności ekranu,
- odległość między ekranem a najbliższym chronionym budynkiem mieszkalnym nie powinna być mniejsza niż dwukrotna wysokość ekranu,
- długość ekranu powinna być taka, aby zmniejszenie jego skuteczności, wynikające z ograniczonej długości (wpływ fal ugiętych na krawędziach bocznych ekranu), było nie większe niż 1 dB,
- minimalna długość ekranu akustycznego powinna być równa sumie długości fasady chronionego budynku, wystawionej na działanie hałasu i podwojonej odległości między nim a ekranem,
- materiał, wykorzystany do konstrukcji ekranu powinien zapewniać wystarczającą izolacyjność akustyczną, a także charakteryzować się dużą odpornością na działanie czynników atmosferycznych.



Rys.1. Schematyczne przedstawienie rozchodzenia się fali akustycznej przed (a) i po (b) zainstalowaniu ekranu akustycznego: O – punkt obserwacji, Z – źródło hałasu

Fig. 1. Schematic presentation of acoustic wave propagation before (a) and after (b) the acoustic baffle installation: O – observation point, Z – source of noise

Weryfikację pomiarową skuteczności istniejących przegród akustycznych przeprowadzono w ramach realizacji tematu: Rozwój metod pomiaru hałasu i oceny jego oddziaływania na środowisko zewnętrzne. Opracowanie ujednoliconej metody oceny skuteczności drogowych ekranów akustycznych. Badania terenowe wykonano w otoczeniu tras komunikacyjnych w Katowicach i Ustroniu. Uwzględniono istniejące już ekrany akustyczne, których budowa miała na celu ochronę terenów zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej – osiedla mieszkaniowe z zabudową wysoką.

4. WYNIKI BADAŃ

Do badań terenowych [9] wybrano okolice ulicy Górnośląskiej w Katowicach oraz ulicy Katowickiej w Ustroniu Śląskim. Wybrane rejonu spełniały następujące warunki:

- w czasie prowadzenia badań źródło hałasu było jednakowo aktywne,
- tło akustyczne w rejonie wykonywania pomiarów było zdecydowanie niższe od poziomu sygnału, będącego przedmiotem badań,

- istniały wyraźnie określone obiekty chronione przez ekran akustyczny,
- możliwe było ustalenie gospodarza terenu, który mógłby wyrazić zgodę na wykonanie badań,
- lokalizacje różniły się rodzajem chronionej zabudowy mieszkaniowej, ukształtowaniem terenu, a co najważniejsze, natężeniem ruchu i strukturą strumienia pojazdów.

Wyniki badań wartości równoważnej poziomu dźwięku A w każdym z wybranych punktów pomiarowych przedstawiono w tablicach 2 i 3. Podano w nich wartości równoważne dla 16 godzin dnia (6^{00} – 22^{00}).

Tablica 2. Wyniki badań wartości równoważnej poziomu dźwięku A w porze dziennej, $T = 16$ godz.

Lokalizacja obiektu	Odległość punktu pomiarowego od podłoża	Wartość równoważna poziomu dźwięku A $L_{Aeq,16h}$, dB
Katowice, ul. Gen. J. Sowińskiego 43	1,2 m	56,1
	6,0 m	59,6
	V piętro	64,2
	X piętro	69,3
Katowice, ul. Gen J. Sowińskiego 29	1,2 m	55,2
	6,0 m	61,0
	V piętro	64,3
	X piętro	70,4
Ustroń Śląski, ul. A. Brody 26	1,2 m	56,3
	5,85 m	59,9
Ustroń Śląski, ul. A. Brody 36	1,2 m	52,5
	5,5 m	61,7
Ustroń Śląski, ul. Drozdów 11	1,2 m	53,3
	6,3 m	59,4
Ustroń Śląski, ul. Lipowa 15	1,2 m	55,0
	6,3 m	73,0

Uzyskane wyniki wykazały jednoznacznie, że oceniane ekrany drogowe, zainstalowane wzdłuż ulicy Górnośląskiej w Katowicach i ulicy Katowickiej w Ustroniu Śląskim, nie chronią w pełni terenów mieszkalnych przed działaniem hałasu drogowego, emitowanego z wymienionych tras komunikacyjnych do otoczenia [9]. Negatywna ocena badanych ekranów nie zależy od kwalifikacji terenu podlegającego ochronie do jednej z kategorii, przewidzianych w rozporządzeniu MOŚZNiL z 1998 r. Ekran zlokalizowany na przykład wzdłuż ulicy Górnośląskiej w Katowicach, mający chronić mieszkańców Osiedla im. J.I. Paderewskiego przed działaniem hałasu drogowego emitowanego z tej ulicy, nie jest w pełni skuteczny. Przyjmując, że w tym rejonie obowiązuje dopuszczalna dla hałasu drogowego wartość równoważna poziomu dźwięku równa 65 dB, w ciągu dnia kryterium to jest przekraczane w coraz większym stopniu przy elewacji budynków od V piętra wzwyż. Piąte piętro stanowi granicę dwóch stref w rozumieniu obowiązujących przepisów:

- pełnej ochrony – od V piętra w dół,
- niepełnej ochrony – od V piętra w górę.

Tablica 3. Wyniki badań wartości równoważnej poziomu dźwięku A bezpośrednio za ekranem

Rejon badań	Lokalizacja punktu pomiarowego; odległość punktu pomiarowego od podłoża	Wartości równoważne poziomu dźwięku A $L_{Aeq,16godz.}$, dB
Katowice, ul. Gen. J. Sowińskiego 29	przy jezdni *); 1,2 m	76,8
	za ekranem; 1,2 m	57,0
	za ekranem; 5 m	64,0
Ustroń Śląski, ul. A. Brody 26	przy jezdni **); 1,2 m	64,9
	za ekranem; 1,2 m	53,3
	za ekranem; 3,6 m	60,1
Ustroń Śląski, ul. A. Brody 36	przy jezdni **); 1,2 m	65,3
	za ekranem; 1,2 m	52,6
	za ekranem; 3,6 m	59,4
Ustroń Śląski, ul. Drozdów 11	przy jezdni **); 1,2 m	64,7
	za ekranem; 1,2 m	51,2
	za ekranem; 3,9 m	57,6

*) ul. Górnośląska w Katowicach

**) ul. Katowicka w Ustroniu Śląskim

Wyniki pomiarów geometrii układu: droga – ekran – obiekt dają dodatkowy, orientacyjny obraz jego konfiguracji. Nie przesądzają jednak, na przykład pozytywnej oceny skuteczności ekranowania, pomimo że uzyskane wartości poszczególnych parametrów spełniają przyjęte wymagania. Powodem są między innymi nieprecyzyjność owych wymagań oraz niespełnianie z reguły, jednego z nich, niesprawdzalnego pomiarowo. Zgodnie z wymaganiami najwyższy z możliwych punkt obserwacyjny przy elewacji budynku chronionego, nie powinien być widoczny z miejsca lokalizacji źródła hałasu. Chodzi o to, aby obiekt chroniony znajdował się w całości w tzw. cieniu akustycznym, tworzonego przez ekran. Istotną rolę odgrywa wysokość ekranu i obiektu chronionego oraz odległość między nimi. Należy jednak dodać, co wynika z teorii akustyki oraz praktyki pomiarowej, że spełnienie tego warunku nie daje gwarancji całkowitej ochrony ze względu na zjawisko ugięcia fal akustycznych, głównie na górnych krawędziach ekranu.

5. ZAKOŃCZENIE

Wykonane badania stanowiły próbę oceny skuteczności ekranów drogowych w miejscu ich zainstalowania, mających chronić te tereny przed działaniem nadmiernego hałasu drogowego, z uwagi na kształtowanie właściwego klimatu akustycznego na terenach mieszkalnych.

Stwierdzono, że samo zainstalowanie ekranu nie chroni ludzi przed hałasem, gdy na przykład ekran ten nie jest w pełni skuteczny. Stąd też konieczność każdorazowego wykonywania odpowiednich badań sprawdzających przed rzeczowym i formalnym odbiorem inwestycji. W większości takich przypadków, nieodzowne staje się także opracowanie odpowiedniego programu umożliwiającego ograniczenie hałasu na terenie województwa, miasta czy gminy, w sposób systemowy.

Literatura

1. Engel Z.: *Ochrona środowiska przed hałasem i drganiami*. Warszawa, PWN 1993.
2. Kompała J.: *Assessment of joint hazard to the outer environment from road and industrial noise by the example of the Katowice voivodeship*. Archives of Acustics 1998 Vol. 23, nr 3.
3. Kraszewski M., Kucharski R.J., Kurpiewski A.: *Metody pomiaru hałasu zewnętrznego w środowisku*, wyd. II. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa, Wydaw. PIOŚ 1996.
4. Lipowczan A.: *Hałas a środowisko*. Biblioteczka Fundacji Ekologicznej „Silesia”, t. VII. Katowice, Wyd. Fundacja Ekologiczna „Silesia” 1995.
5. Makarewicz R.: *Hałas w środowisku*. Poznań, Ośrodek Wydawnictw Naukowych 1996.
6. Olędzka-Graffstein I.: *Zagadnienia ochrony środowiska w otoczeniu dróg*. Warszawa, WKŁ 1983.
7. Praca zbiorowa: *Ochrona środowiska przed hałasem i wibracjami. Stan aktualny i kierunki działań*, red. J. Sadowski. Warszawa, Wydaw. ITB 1992.
8. Praca zbiorowa pod kier. W. Mrukwy: *Opracowanie ujednoliconej metody oceny skuteczności drogowych ekranów akustycznych*, Prace statutowe GIG, Katowice 1998 (niepublikowana)
9. Sadowski J.: *Podstawy akustyki urbanistycznej*. Warszawa, Arkady 1982.
10. Lipowczan A., Kompała J.: *The Utilisation of GIS and GPS Systems in Creating Acoustical Databases in Outer Environment. Proc. of Noise Control'01*. Warszawa, CIOP 2001.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan

Barbara Bialecka, Jacek Grabowski

PROBLEMATYKA GOSPODARKI ODPADAMI KOMUNALNYMI NA SKŁADOWISKACH ODPADÓW W ŚWIEŹLE WDRAŻANIA WYMAGAŃ UE

Streszczenie

Gospodarka odpadami stanowi jeden z najbardziej zaniedbanych obszarów ochrony środowiska. Odpady są często składowane w sposób niezabezpieczający środowisko i ludzi przed ich negatywnym oddziaływaniem, powodują degradację powierzchni ziemi i zanieczyszczają wody podziemne, powierzchniowe i powietrze. Problem ten szczególnie widoczny jest na Śląsku, który uległ znacznym przekształceniom w wyniku wieloletniej działalności przemysłu, nadmiernie skoncentrowanego w tym rejonie. Poważnym źródłem zanieczyszczeń środowiska są wytwarzane i składowane na bieżąco odpady zarówno przemysłowe, jak i komunalne, a także odpady nagromadzone w przeszłości, stanowiące zagrożenie dla jakości wód podziemnych, powierzchniowych oraz czystości powietrza, gleby i roślin. Podstawowym więc problemem jest ograniczenie negatywnego oddziaływania składowisk odpadów, w tym odpadów komunalnych, na środowisko i zdrowie ludzi.

Prezentowany artykuł jest pierwszym z cyklu artykułów identyfikujących chemiczne, fizyczne i biologiczne zagrożenia związane z eksploatacją składowisk odpadów komunalnych na przykładzie wybranego składowiska w województwie śląskim, reprezentatywnego pod względem wyposażenia technicznego i zasad eksploatacji. Jest on poświęcony produkcji biogazu na składowisku i ocenie możliwości jego wykorzystania.

Przedstawiono w nim wyniki badań eksperymentalnych, których celem było określenie jakości i ilości biogazu odprowadzanego z bryły składowiska przy samoczynnym wpływie gazu do atmosfery, jak również w przypadku zastosowania odgazowania aktywnego. Wyniki badań porównano z wynikami obliczeń teoretycznych, aby wykazać istotną różnicę w ilości biogazu możliwego do pozyskania w praktyce eksploatacyjnej. Ponadto, wykonano prognozę zasobności gazowej składowiska w funkcji czasu.

Wszystkie wykonane badania określające dostępność gazu i jego odpowiednią jakość są decydujące przy podejmowaniu decyzji dotyczącej jego wykorzystania.

Problems of municipal waste management on waste dumping grounds in the light of implementation of EU requirements

Summary

Waste management constitutes one of the most neglected environmental protection areas. Wastes are frequently disposed in a manner, that does not protect the environment and people against their negative impact; they cause the degradation of the earth surface and pollute underground and surface waters as well as the air. This problem is particularly visible in Silesia, subject to considerable transformations as a result of long-term industry activities, excessively concentrated in this region. A significant source of environmental pollutions in this region constitute currently produced and disposed wastes, both industrial and municipal, as well as wastes collected in the past, being a hazard for underground and surface water quality as well as purity of air, soil and plants. The basic problem is to reduce the negative impact of waste dumping grounds, including municipal waste dumping sites, on the environment and human health. The presented article is the first one of the cycle of articles identifying chemical, physical and biological hazards connected with the exploitation of municipal waste dumping grounds by example of a selected

waste dumping site in the Silesia province, being representative as regards technical equipment and exploitation rules. It is devoted to biogas production on the dumping ground and possibility assessment of its utilisation.

The article presents experimental investigations, aiming at the determination of the quality and quantity of biogas discharged from the dumping ground in conditions of self-acting gas outflow to the atmosphere, as well as in the case of active degassing. The investigation results were compared with the results of theoretical calculations, in order to indicate the essential difference regarding the quantity of biogas possible to gain in exploitation practice. Moreover, a forecast of gas abundance of the dumping ground in the function of time was carried out.

All performed investigations determining gas accessibility and its suitable quality are decisive when taking decisions regarding its utilisation.

WPROWADZENIE

Gospodarka odpadami stanowi jeden z najbardziej zaniedbanych obszarów ochrony środowiska ze względu na ogromną ilość odpadów przemysłowych i komunalnych nagromadzonych w przeszłości i wytwarzanych na bieżąco. Odpady te są często składowane w sposób niezabezpieczający środowisko i ludzi przed ich negatywnym oddziaływaniem, powodują degradację powierzchni ziemi i zanieczyszczają wody podziemne, powierzchniowe i powietrze. Działania zmierzające do poprawy gospodarki odpadami i likwidacji zaniedbań z przeszłości powinny uwzględniać wymogi prawne Unii Europejskiej, szczególnie związane z wdrażaniem dyrektyw UE.

Nowe uregulowania prawne dotyczące gospodarki odpadami zawarte w:

- ustawie o odpadach,
- ustawie Prawo ochrony środowiska,
- ustawie o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej,

zawierają wymagania dyrektywy Rady 75/442/EWG z dnia 15 lipca 1975 roku w sprawie odpadów, ze zmianami wprowadzonymi dyrektywą Rady 91/156/EWG, jak również z decyzjami Komisji 94/3/WE i 96/350/WE.

Dyrektywa Rady 75/442/EWG z dnia 15 lipca 1975 r. w sprawie odpadów, z późniejszymi zmianami, stanowi podstawę systemu gospodarki odpadami w Unii Europejskiej; wyznacza kierunki polityki Unii Europejskiej w tym zakresie. Główne postanowienia dyrektywy dotyczą:

- ustanowienia definicji odpadów (art. 1) oraz listy odpadów – Europejski Katalog Odpadów (Decyzją Komisji 94/3/WE),
- ustanowienia hierarchii działań w zakresie gospodarki odpadami, przyjmującej jako priorytet zapobieganie powstawaniu odpadów lub ograniczenie ich ilości i szkodliwości oraz odzysk materiałów lub energii, i bezpieczne unieszkodliwianie (art. 3 i 4),
- wprowadzenia zasady samowystarczalności w zakresie unieszkodliwiania odpadów – zobowiązanie Państw Członkowskich do ustanowienia zintegrowanej i wystarczającej sieci zakładów do unieszkodliwiania odpadów, przy zastosowaniu najlepszych dostępnych technologii niewymagających nadmiernych kosztów (art. 5),

- zobowiązania państw członkowskich do wyznaczenia władz odpowiedzialnych za wprowadzenie w życie postanowień dyrektywy (art. 6),
- zobowiązania do opracowywania planów gospodarki odpadami (art. 7),
- wprowadzania obowiązku wydawania pozwoleń na działalność polegającą na odzysku lub unieszkodliwianiu odpadów (art. 9),
- przyjęcie zasady „zanieczyszczający płaci” (art. 15),
- wprowadzenie obowiązku składania sprawozdań w zakresie implementacji dyrektywy (art. 16).

Aktami uzupełniającymi system prawny gospodarki odpadami w Unii Europejskiej są dyrektywy i rozporządzenia obejmujące odpady specyficzne (odpady niebezpieczne, oleje odpadowe, polichlorowane dwufenyle i polichlorowane trójfenyle, dwutlenek tytanu, baterie i akumulatory oraz osady ściekowe), dyrektywy dotyczące procesów i instalacji (istniejące i nowe zakłady spalania odpadów komunalnych, zakłady spalania odpadów niebezpiecznych oraz składowiska), jak również dyrektywy regulujące problematykę transportu, eksportu i importu odpadów.

Zgodnie z Art. 7 dyrektywy ramowej, Państwa Członkowskie zobligowane zostały do przygotowania planów gospodarowania odpadami, umożliwiających realizację wymaganych celów w hierarchii gospodarki odpadami. Wymogi powyższe zostały uwzględnione w projekcie ustawy wprowadzającej. Zgodnie z zapisem w tym projekcie, krajowy plan gospodarki odpadami ma zostać przyjęty przez Radę Ministrów do 31.10.2002 roku. Terminy opracowania planów gospodarki odpadami na niższych szczeblach, stanowiących część odpowiedniego programu ochrony środowiska zostały określone w ustawie wprowadzającej w sposób następujący:

- 30.06.2003 r. – plany wojewódzkie,
- 31.12.2003 r. – plany powiatowe,
- 30.06.2004 r. – plany gminne.

Realizacja tego zobowiązania wymaga dokładnej identyfikacji obecnego stanu gospodarki odpadami, z uwzględnieniem charakterystyki ilościowej i jakościowej powstających odpadów, źródeł ich powstawania oraz urządzeń i instalacji do ich usuwania, wykorzystania lub unieszkodliwiania.

Stan środowiska województwa śląskiego uległ znacznym przekształceniom w wyniku wieloletniej działalności przemysłu, nadmiernie skoncentrowanego w tym rejonie.

Poważnym źródłem zanieczyszczeń środowiska są wytwarzane i składowane na bieżąco odpady zarówno przemysłowe, jak i komunalne, a także odpady nagromadzone w przeszłości, stanowiące zagrożenie dla jakości wód podziemnych, powierzchniowych oraz czystości powietrza, gleby i roślin. Podstawowym więc problemem jest ograniczenie negatywnego oddziaływania składowisk odpadów, w tym odpadów komunalnych, na środowisko i zdrowie ludzi. Do działań porządkujących ten obszar gospodarki odpadami należą:

- prawidłowa eksploatacja składowisk odpadów,

- likwidacja zagrożeń powodowanych niezgodnym z wymaganiami ochrony środowiska deponowaniem odpadów oraz konieczność prowadzenia monitoringu środowiska w tych rejonach,
- rekultywacja terenów zdegradowanych zajętych przez stare, nieczynne składowiska lub likwidacja nieodpowiednio zlokalizowanych i zabezpieczonych istniejących składowisk i minimalizacja ich ujemnego wpływu na środowisko, w szczególności ochrona zasobów wód podziemnych, wykorzystywanych do celów pitnych i gospodarczych.

W kolejnych numerach Kwartalnika zaprezentowany zostanie cykl artykułów identyfikujących chemiczne, fizyczne i biologiczne zagrożenia związane z eksploatacją składowisk odpadów komunalnych na przykładzie wybranego składowiska w województwie śląskim, reprezentatywnego pod względem wyposażenia technicznego i zasad eksploatacji. Pierwszy artykuł poświęcony został produkcji biogazu na składowisku i ocenie możliwości jego wykorzystania.

1. BADANIA ZASOBNOŚCI GAZOWEJ SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH

Odgazowanie składowiska i unieszkodliwienie lub energetyczne wykorzystanie gazu wysypiskowego jest koniecznością ekologiczną. Zanim jednak zostaną podjęte stosowne decyzje odnośnie do zagospodarowania gazu, niezbędne jest oszacowanie jego ilości, a także zasobów energetycznych złoża odpadów na składowisku. Wyniki tego oszacowania stanowią podstawę do opracowania koncepcji odgazowania składowiska i wykorzystania gazu, natomiast decyzje inwestycyjne związane z wykorzystaniem biogazu do celów energetycznych mogą być podjęte dopiero po rozeznaniu opłacalności przedsięwzięcia (koszty budowy, ewentualne koszty oczyszczania gazu ze składników agresywnych, koszty wzbogacania gazu dodatkowym paliwem lub przez usunięcie CO, koszty transportu) oraz po znalezieniu odbiorcy gazu lub energii.

Najczęściej stosowanym sposobem wykorzystania gazu jest budowa instalacji wydobywczej wraz z pochodnią gazową. Jeśli istnieją warunki, to możliwa jest rozbudowa członu energetycznego. Progiem opłacalności jest zazwyczaj wydajność gazowa składowiska wynosząca 100 m³/h. Potencjalnie taką wydajność mają składowiska o powierzchni powyżej 3 ha i głębokości składowania ponad 10 m, przy udziale składowanych frakcji organicznych powyżej 20%. Selektywne składowanie biodegradowalnych odpadów organicznych pozwala na znaczne zwiększenie wydajności gazowej składowiska.

Zgodnie z zaleceniami UE instalacje odgazowujące powinny mieć składowiska o łącznej rocznej masie składowanych odpadów powyżej 10 tys. Mg. Do końca 1999 roku na składowiskach krajowych powstało 25 instalacji biogazowych, reprezentujących różny poziom rozwiązań technicznych, a koszty ich budowy wynosiły od 2,2 mln zł do 8 mln zł. Przyjmuje się, że nakłady inwestycyjne zwrócą się w ciągu 4–6 lat.

Istnieją zasadniczo dwa sposoby postępowania przy odprowadzaniu gazu ze składowiska:

- odprowadzanie gazu z bryły składowiska do urządzeń unieszkodliwiających pod własnym ciśnieniem, jest to tzw. odgazowanie bierne,
- odessanie gazu z bryły składowiska za pomocą odpowiednich urządzeń wydobywczych, jest to tzw. odgazowanie aktywne.

W większości krajowych składowisk stosuje się bierny sposób odgazowania.

W praktyce odgazowanie bierne jest skuteczne tylko w określonych sytuacjach i w niewielu przypadkach. Zasadniczo składowiska, na których deponuje się 10 tys. Mg odpadów komunalnych rocznie powinny być odgazowane systemem aktywnym.

1.1. Cel i zakres badań

Celem przeprowadzonych badań eksperymentalnych było określenie ilości biogazu odprowadzanego z bryły składowiska, przy samoczynnym wypływie gazu do atmosfery, jak również w przypadku zastosowania odgazowania aktywnego. Wyniki badań porównano z wynikami obliczeń teoretycznych, aby wykazać istotną różnicę w ilości biogazu możliwego do pozyskania w praktyce eksploatacyjnej.

1.2. Program badań

Badania biogazu wykonano na jednym ze śląskich składowisk, składającym się z części nieczynnej „starej” i aktualnie eksploatowanej. Teren składowania odpadów jest od strony południowej i wschodniej ograniczony lasem, a od strony północnej przylega do nasypu toru kolejowego. Po stronie zachodniej występują tereny użytkowane rolniczo i ogrodniczo. W promieniu 300 m od składowisk nie ma zabudowy mieszkalnej. Rozpatrywany teren leży w obszarze, w którym stężenia wszystkich oznaczanych substancji (tło) nie przekraczają wartości stężeń dopuszczalnych określonych w Rozporządzeniu MOŚZNiL z dnia 28.04.1998 roku (Dz.U. nr 55, poz. 355). Charakterystykę techniczną obiektów przedstawiono na rysunku 1 oraz w tablicy 1.

Aktualnie biogaz wypływa ze studni gazowych bezpośrednio do atmosfery i nie jest utylizowany.

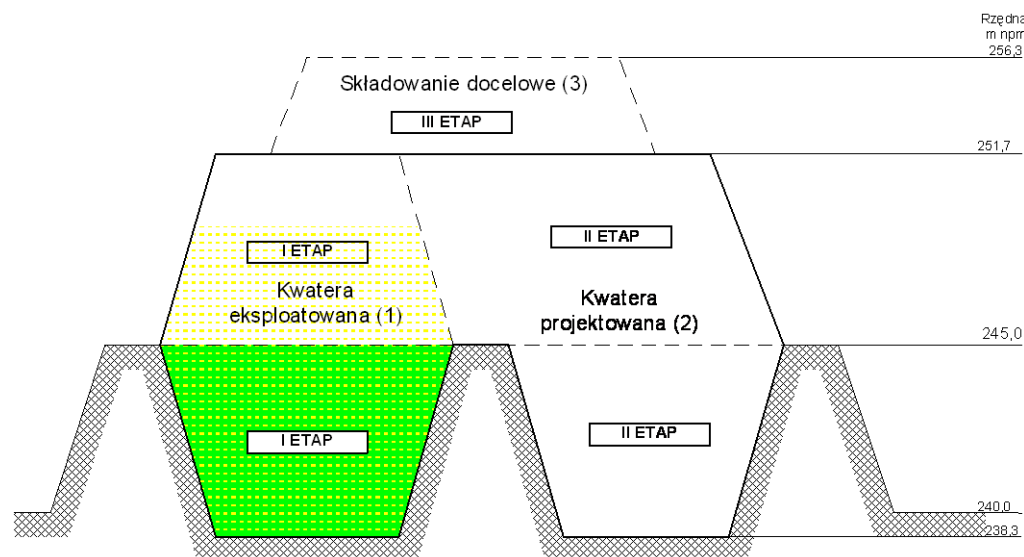
Badania ilościowe i jakościowe gazu wysypiskowego wykonano przy naturalnym wypływie gazu do atmosfery w 14 studniach odgazowujących „nowego” składowiska oraz w 10 studniach „starego”, zrehabilitowanego. Wykorzystano również „badania historyczne” biogazu na starym składowisku.

Składniki biogazu oznaczono następującymi metodami:

- CH₄, CO₂, O₂ na składowisku oznaczono przy użyciu przenośnego analizatora gazu wysypiskowego LFG-20 firmy Telegas Gas Analyser (o zakresie pomiarowym 0÷100% i dokładności 0,01% dla wszystkich analizowanych gazów),
- CH₄, CO₂, O₂, N₂ w laboratorium oznaczono metodą chromatografii gazowej (chromatograf Varian GC 3600 z metanizerem i detektorem FID); H₂S metodą chromatografii gazowej (chromatograf GC 3600 Vega Series 2 Carlo Erba

z detektorem FID); C_nH_m metodą chromatografii gazowej (chromatograf Varian GC 3600 z detektorem FID),

- ciśnienie mierzono manometrem różnicowym, a pomiary przepływu biogazu rotametrem gazowym.



Rys. 1. Przekrój składowiska „nowego” wraz ze schematem planowanej rozbudowy: 1 – kwatera eksploatowana, 2 – kwatera projektowana, 3 – składowanie docelowe

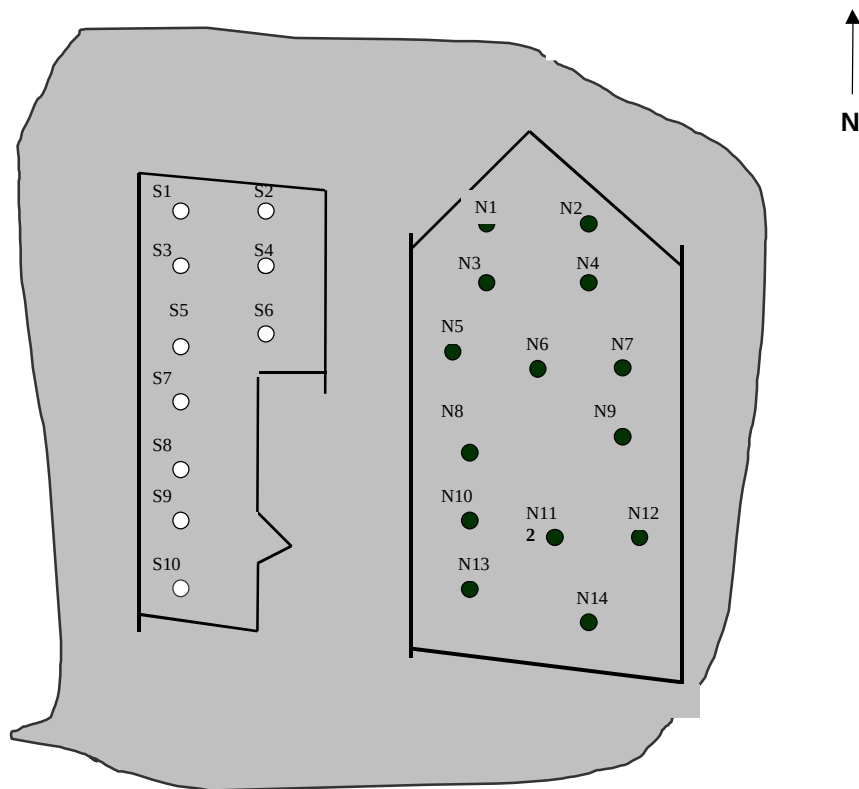
Fig. 1. Cross-section of a “new” dumping site along with the scheme of its planned development: 1 – exploited part, 2 – designed part, 3 – target deposition

Tablica 1. Charakterystyka techniczna badanych składowisk odpadów komunalnych

Wyszczególnienie	Składowisko „nowe”	Składowisko „stare”
powierzchnia	4,35 ha	3,9 ha
pojemność	536 000 m ³	280 000 m ³
rodzaj składowanych odpadów	odpady komunalne, odpady wielkogabarytowe	odpady komunalne, gruz budowlany, odpady wielkogabarytowe
sposób składowania	składowanie nadziemne do 40 m npt w warstwach o grubości 1,8 m, zagęszczanych i pokrytych warstwą materiału inertnego	składowano odpady podziemnie na głębokości około 4 m oraz nadziemnie do około 9 m, w warstwach o grubości 1,8 m, zagęszczanych i pokrytych warstwą materiału inertnego
ujęcia gazu	14 studni z kręgów żelbetowych o średnicy 1000 mm, studnie wypełnione żwirem, nie są zakończone rurą PCV	10 studni sięgających spągu składowiska, w studniach „zapuszczono” rury perforowane HDPE o średnicy 63 mm w obsypce żwirowej 16÷32 mm, wierzchowina składowiska została uszczelniona

1.3. Metodyka pomiarów

Badania jakości biogazu wykonywano w następujący sposób: w obsypce każdej studni gazowej odwiercano otwory o średnicy 30 mm i głębokości 1,7 m. Do otworów wprowadzano metalową sondę pomiarową z końcówką umożliwiającą pobieranie próbki gazów do pipet, jak również pomiar składu biogazu analizatorem przenośnym. Lokalizację punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 2.

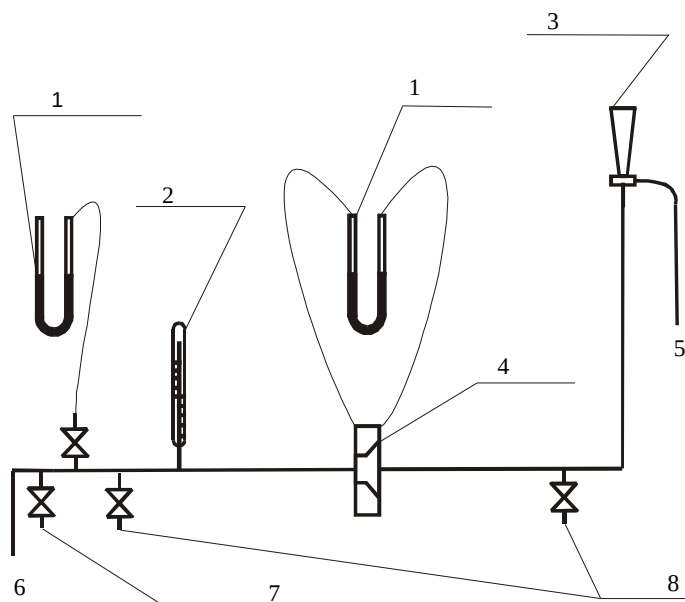


Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiarowych na składowisku: O – punkty S1-S10 studnie gazowe zlokalizowane na zrehabilitowanym starym składowisku, ● – punkty N1-N14 studnie gazowe zlokalizowane na aktualnie eksploatowanym składowisku

Fig. 2. Localisation of measuring points on the dumping ground: O – points S1-S10 – gas wells localised on a reclaimed old dumping ground, ● – points N1-N14 – gas wells localised on currently exploited dumping ground

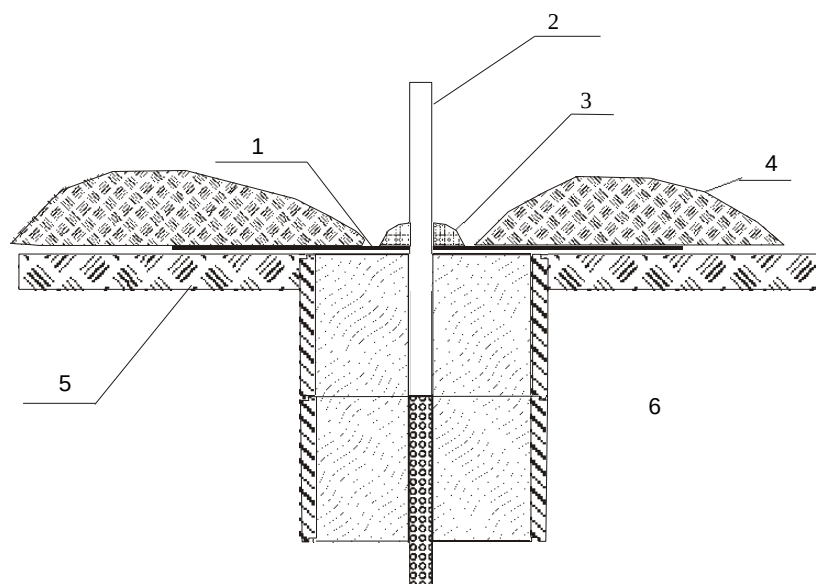
Do badań w warunkach podciśnienia wytypowano trzy otwory, których wydajność oceniono na dobrą lub bardzo dobrą (otwory 2, 4, 6).

Pomiary były wykonywane dla każdego z wytypowanych otworów na odcinkach pomiarowych o średnicy 50 mm, wyposażonych w kryzę pomiarową 49,6/25 z pomiarem przytarczowym różnicy ciśnienia według PN-93/M-53950 (rys. 3). Mierzony strumień gazu był sumą gazu wysypiskowego z wnętrza rury perforowanej i z przestrzeni pod folią (rys. 4).



Rys. 3. Układ pomiarowy: 1 – u-rurka, 2 – termometr, 3 – inżektor, 4 – kryza, 5 – wentylator, 6 – do otworu, 7 – do przestrzeni pod folią, 8 – odwodnienie

Fig. 3. Measuring system: 1 – u-tube, 2 – thermometer, 3 – injector, 4 – orifice, 5 – fan, 6 – to the hole, 7 – to the space under foil, 8 – dewatering



Rys. 4. Przygotowanie studni do ujmowania gazu: 1 – folia, 2 – rura stalowa perforowana, 3 – uszczelnienie, 4 – tłuczeń, 5 – glina, 6 – odpady

Fig. 4. Preparation of well for gas capture: 1 – foil, 2 – perforated steel rope, 3 – seal, 4 – broken stone, 5 – clay, 6 – wastes

1.4. Omówienie wyników badań

Jak wiadomo, biogaz ze składowisk odpadów komunalnych charakteryzuje się znaczną zmiennością w czasie składu chemicznego i natężenia wypływu z poszczególnych ujęć. Intensywne wydzielanie się biogazu rozpoczyna się po 1–2 latach od momentu zdeponowania odpadów. Ilość wydzielonego gazu wysypiskowego jest największa w okresie pierwszych dwóch, trzech lat i wynosi około 8 m^3 z 1 m^3 odpadów w ciągu roku, a następnie zmniejsza się do około 2 m^3 po dwudziestu latach [3, 4, 7].

Skład biogazu zależy od aktualnie przebiegającej fazy rozkładu materii organicznej, rodzaju zdeponowanych odpadów oraz warunków składowania (stopnia izolacji od otoczenia, podaży wody itp.) [6, 8]. Biogaz powstający w czasie metanogenezy zawiera głównie metan i dwutlenek węgla, które stanowią łącznie około 90% jego objętości. Prócz tego w skład biogazu wchodzi tlenek węgla, amoniak, siarkowodor oraz dziesiątki różnorodnych związków organicznych, nierzadko toksycznych (węglowodory chlorowcopochodne) i odoroczynnych (merkaptany, siarczki, aminy, aldehydy, ketony, kwasy tłuszczowe i alkohole), które pomimo małych stężeń są uciążliwe dla środowiska (tab. 2).

1.4.1. Odgazowanie bierne

Zgodnie z omówioną metodyką badania składu gazu przy jego naturalnym wpływie wykonano na „nowym” składowisku w dwóch seriach. Wyniki badań pierwszej serii z lipca 2000 roku (tab. 2) zweryfikowano drugą serią pomiarów wykonanych w grudniu 2001 roku (tab. 3). Bardziej szczegółowym badaniom składu gazu poddano próbki z wyselekcjonowanych studni 1, 6, 8, 11, 13 (tab. 4).

Tabela 2. Wyniki pomiarów wykonanych w lipcu 2000 roku na „nowym” składowisku

Nr studni	Uśrednione wyniki pomiarów, % obj.			
	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂
1	50,3	34,1	0,0	15,6
2	63,8	32,2	0,2	3,8
3	58,4	31,1	0,1	10,4
4	63,7	32,1	0,0	4,2
5	62,5	35,8	0,3	1,4
6	42,9	32,4	19,4	6,3
7	60,8	37,7	0,2	1,3
8	41,3	31,3	20,1	7,3
9	64,8	27,2	0,2	7,8
10	50,5	20,2	19,9	9,4
11	56,8	34,1	3,1	6,0
12	67,3	26,4	0,3	11,3
13	50,2	21,1	17,4	11,3
14	40,1	30,2	19,7	10,0

Tabela 3. Wyniki pomiarów wykonanych w grudniu 2001 roku na „nowym” składowisku

Nr studni	Uśrednione wyniki pomiarów (% obj.)			
	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂
1	48,1	35,1	1,1	15,6
2	61,0	33,7	0,7	4,6
3	60,1	30,3	0,2	9,4
4	60,4	34,1	0,3	5,2
5	61,5	36,3	0,4	1,8
6	42,0	34,2	16,9	6,9
7	61,8	37,2	0,2	0,8
8	36,3	33,5	22,3	7,8
9	60,0	29,5	1,2	9,3
10	45,5	23,7	20,5	10,3
11	46,4	39,5	5,1	9,0
12	65,8	27,8	0,5	5,9
13	52,4	20,1	16,2	11,3
14	36,0	33,3	19,9	10,8

Tabela 4. Wyniki analiz chromatograficznych próbek gazu pobranych w wybranych punktach pomiarowych na „nowym” składowisku

Nr studni	Uśrednione wyniki pomiarów, % obj.						
	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	C ₂ H ₆	H ₂ S	H ₂ O
1	53,50	32,73	1,20	12,12	0,51	<0,03	0,23
6	42,17	26,92	2,21	11,94	0,57	<0,03	0,34
8	46,99	30,21	11,56	10,28	0,67	<0,03	0,27
11	55,72	30,35	0,57	12,42	0,64	<0,03	0,29
13	51,35	45,24	1,35	10,45	0,65	<0,03	0,39

W celu prześledzenia zmian metanonośności złoża i uwzględnienia tego źródła gazu w koncepcji odgazowania całej powierzchni składowiska porównano wyniki pomiarów wykonanych, przez trzy niezależne instytucje, na starym, zrehabilitowanym składowisku (tab. 5).

Tabela 5. „Stare” składowisko – porównanie danych historycznych

Nr studni	Uśrednione wyniki pomiarów, % obj.								
	Obrem Łódź, 1997			Eko-Ekspert, 1998			UVP Brno, 2001		
	CH ₄	CO ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂
1	65,1	26,3	0,0	57,0	38,5	0,0	52,4	25,7	0,0
2	52,1	24,1	0,0	62,8	31,8	0,0	59,8	18,2	0,0
3	40,8	20,1	0,0	64,0	21,6	0,0	66,5	17,4	0,0
4	66,7	25,0	0,0	61,7	21,2	0,0	58,0	14,7	0,0
5	67,2	23,2	0,0	34,5	18,8	0,0	18,2	14,1	0,0
6	42,0	25,6	0,0	39,6	21,6	0,0	23,0	15,1	0,0
7	40,3	19,5	0,0	61,4	33,1	0,0	41,4	17,9	0,0
8	18,1	19,1	0,0	36,9	27,1	0,0	19,2	16,3	0,0
9	64,3	27,2	0,0	42,3	24,3	0,0	38,5	14,4	0,0
10	67,1	32,5	0,0	14,8	17,6	0,0	10,3	14,4	0,0

1.4.2. Odgazowanie aktywne

Wyniki uzyskane podczas badań wskazują na słabą przepuszczalność wypełnienia studni gazowych dla gazu wysypiskowego. Dodatkowo w otworze 2 stwierdzono zawodnienie, które znacząco wpływa na osiąganą małą wydajność własną studni.

Na podstawie uzyskanej średniej wydajności własnej studni 2, 4, 6 ich maksymalnych wydatków, prognozowany średni strumień biogazu dla 14 studni wynosi 144,2 m³/h.

W tabeli 6 przedstawiono średnią wydajność otworów uzyskaną w czasie eksploatacji w warunkach podciśnienia. Opierając się na przeprowadzonych próbach oraz doświadczeniach eksploatacyjnych, przyjęto współ-

Tabela 6. Średnie wydajności badanych otworów

Nr otworu	Strumień biogazu m ³ /h
2	8,8
4	13,3
6	10,3

czynnik ujęcia biogazu $\zeta = 0,6$; stąd możliwą do uzyskania wielkość ujęcia przy podciśnieniu ocenia się na 87 m³/h, a uwzględnia-

jąc współczynnik perforacji równy 2,0 – na $174 \text{ m}_n^3/\text{h}$.

2. CHARAKTERYSTYKA GAZU WYSYPISKOWEGO POD KĄTEM MOŻLIWOŚCI JEGO WYKORZYSTANIA

O możliwości wykorzystania analizowanego biogazu decydują następujące parametry:

Wartość opałowa gazu wysypiskowego zależy od procentowego udziału metanu w jego składzie, która wynosi średnio dla analizowanego gazu $21 \div 23 \text{ MJ/m}^3$. Jest to wartość zbliżona do wartości opałowej gazu średniokalorycznego, lecz znacznie odbiega od wartości powszechnie stosowanego gazu ziemnego (min. 32 MJ/m^3).

Gęstość gazu wysypiskowego zależy od gęstości jego głównych składników: metanu i dwutlenku węgla; $\text{CH}_4 - 0,71 \text{ kg/m}^3$, $\text{CO}_2 - 1,98 \text{ kg/m}^3$. Gęstość analizowanego gazu zmienia się w granicach $1 \div 1,28 \text{ kg/m}^3$. Od gęstości są uzależnione parametry transportowe oraz szybkość spalania charakteryzowana przez liczbę Wobbego.

Ciśnienie gazu w złożu odpadów – jest niewielkie i jest ściśle związane z intensywnością procesów rozkładu oraz stopniem uszczelnienia podłoża i powierzchni. W analizowanym przypadku ciśnienie to wynosi $2 \div 4 \text{ kPa}$.

Temperatura gazu w wysypisku – jest na ogół wyższa niż otoczenia o kilka stopni, oznaczona temperatura gazu była wyższa od temperatury otoczenia o $2 \div 5^\circ\text{C}$.

3. OCENA PRODUKTYWNOŚCI METANOWEJ SKŁADOWISKA

Jednym z kryterium pozwalającym na podjęcie decyzji o gospodarczym wykorzystaniu biogazu jest ocena produktywności gazowej składowiska.

W przypadku analizowanego składowiska zapelnienie całej jego objętości, przy założeniu około 50% zawartości odpadów organicznych w całej masie składowanych odpadów, spowoduje nagromadzenie:

- w „starym” składowisku $V_{\text{odp}} = 140\,000 \text{ m}^3$ odpadów,
- w „nowym” składowisku $V_{\text{odp}} = 268\,000 \text{ m}^3$ odpadów.

Zakładając ich gęstość odpowiednio $0,75 \text{ Mg/m}^3$ oraz $0,85 \text{ Mg/m}^3$ otrzyma się łączną szacunkową ich masę około $333\,000 \text{ Mg}$, przy czym dla starego składowiska $105\,000 \text{ Mg}(Q_1)$, a dla nowego $227\,800 \text{ Mg}(Q_2)$.

Przyjmując średnią dziesięcioletnią wartość jednostkowego strumienia gazu w przedziale $[10] K = 7,96 \cdot 10^{-3} \div 1,64 \cdot 10^{-2}$ metr sześcienny CH_4 na kilogram masy odpadów na rok, zakres produktywności gazowej składowiska w przeliczeniu na metan wyniesie:

- dla starej części $Q_g = KQ_1 = 0,84 \div 1,72 \text{ mln m}^3/\text{rok}$,
- dla nowej części $Q_g = KQ_2 = 1,81 \div 3,74 \text{ mln m}^3/\text{rok}$,

a emisja metanu ze skarp starego składowiska – $0,12 \text{ mln m}^3/\text{rok}$.

Do dalszych rozważań przyjęto średnią wartość produkcji metanu na obu składowiskach wynoszącą 2,5 mln m³/rok, tj. 285 m³/h, tj. 4,7 m³/min, tj. 0,08 m³/sek.

W przypadku prawidłowo zaprojektowanego i wykonanego systemu odgazowania wraz z uszczelnieniem składowiska możliwe jest uzyskanie ponad 70% sprawności odgazowania. Studnie odgazowujące zakończone zaworem regulacyjnym pozwolą (nawet w przypadku podjęcia decyzji o braku gospodarczego wykorzystania biogazu) na pełną kontrolę emisji metanu.

Należy podkreślić, że w przypadku braku systemu zagospodarowania ujętego biogazu, nastąpi emisja do atmosfery całego metanu [2, 10, 11].

4. PROGNOZOWANIE ZASOBNOŚCI GAZOWEJ ZŁOŻA

Zbadanie składu biogazu i upewnienie się, że w składowisku rozpoczęła się stabilna fermentacja metanowa, nie świadczy jeszcze o przydatności złoża gazowego do zagospodarowania energetycznego. Konieczna jest prognoza zasobności złoża w funkcji czasu. Wykonanie takiej prognozy okazało się zadaniem trudnym, ponieważ brak jest danych dotyczących składu odpadów, warunków składowania i parametrów geochemicznych złoża od momentu rozpoczęcia składowania. Prace mające na celu ustalenie morfologii składowanych odpadów prowadzone są dopiero od dwóch lat. Do celów inżynierskich opracowano różne modele opisujące z różną dokładnością procesy zachodzące w składowisku i pozwalające na obliczenie zasobności złoża z dokładnością dostateczną do oceny opłacalności budowy instalacji wydobywczej i do jej zaprojektowania. Zdaniem autorów wyniki badań, najbardziej zbliżone do rzeczywistych, można otrzymać stosując model z wykorzystaniem krzywej wzrostu populacji bakterii metanogennych w złożu odpadów komunalnych, zawierającym materię organiczną.

Na bazie przeprowadzonych badań opracowano krzywą produkcji jednostkowej biogazu w funkcji czasu [3, 4, 7, 8, 10].

Krzywą tę opisuje w przybliżeniu równanie

$$G_{st} = 25,15 t^{0,109} e^{-0,123t}, \text{ m}^3/(\text{Mg} \cdot \text{rok})$$

gdzie:

G_{st} – jednostkowa produkcja biogazu, przyjęto średnią zawartość 50%,

t – czas w latach od początku składowania danego rocznego wypadu odpadów.

Sumując jednostkową produkcję biogazu w poszczególnych latach otrzymuje się krzywą skumulowaną jednostkowej produkcji biogazu z Mg odpadów po t latach.

Maksymalna skumulowana wydajność jednostkowa będzie wynosiła

$$G_{st} = 25,15 t^{0,109} e^{-0,123t} dt = 25,15 (\Gamma(0,109+1)/0,123(0,109+1)) = 205 \text{ m}^3/\text{Mg}$$

Krzywą skumulowanej jednostkowej produkcji biogazu po czasie t opisuje równanie empiryczne

$$G_{sk} = G_{skk}(1-e^{-kt}), \text{ m}^3/\text{Mg}$$

gdzie:

- G_{sk} – skumulowana jednostkowa produkcja biogazu po czasie t , m^3/Mg ;
 t – czas, lata;
 k – stała rozkładu metonogennego ($k = 0,08 \div 0,1$) przyjęto 0,092;
 G_{skk} – skumulowana produkcja jednostkowa gazu po nieskończone długim czasie, która zależy od zawartości węgla w odpadach organicznych oraz od temperatury fermentacji materii organicznej, według zależności

$$G_{sk} = 1,87 C (0,014 \cdot T_m + 0,28), m^3/Mg$$

gdzie:

- C – zawartość węgla w materii organicznej;
 T_m – temperatura w złożu, $^{\circ}C$.

Obliczenia emisji gazowej ze złoża odpadów M (w Mg) zdeponowanych w okresie t lat o zawartości frakcji wydzielającej gaz, zawierającej gaz mg %, przeprowadzono przy następujących założeniach:

Złoże powstaje z równych rocznych partii składowanych odpadów. Każda partia rozkłada się według krzywej wzrostu populacji bakteryjnej

$$G_{st} = 25,15 t^{0,109} e^{-0,123t}, m^3/(Mg \text{ rok})$$

Strumień objętości gazu ze złoża (emisja całkowita) jest sumą emisji poszczególnych rocznych partii odpadów (rys. 5). Strumień gazu ze złoża G_p w danym roku obliczany jest następująco

$$G_{pt} = G_{st} M mg / 8760, m^3/h$$

gdzie:

- G_{pt} – strumień gazu ze złoża (wydajność gazowa) w danym roku, m^3/h ;
 G_{st} – jednostkowa produkcja gazu w danym roku, $m^3/(Mg/rok)$;
 M – roczna ilość składowanych odpadów, Mg ;
 mg – frakcja wydzielająca gaz, %.

Krzywa wydajności gazowej dla analizowanego składowiska ma dwie gałęzie (rys. 5 i 6). Część wykresu od 0 do maksimum, które jest osiągane po $(t + 1)$ roku składowania, zwana jest gałęzią wzrostu, a część od maksimum do 0 zwana jest gałęzią wyczerpywania złoża.

W przybliżeniu dla gałęzi wzrostu słuszny jest wzór

$$G_{p1t} = G_{sk}(1 - e^{-0,096t})Mmg/8760, m^3/h$$

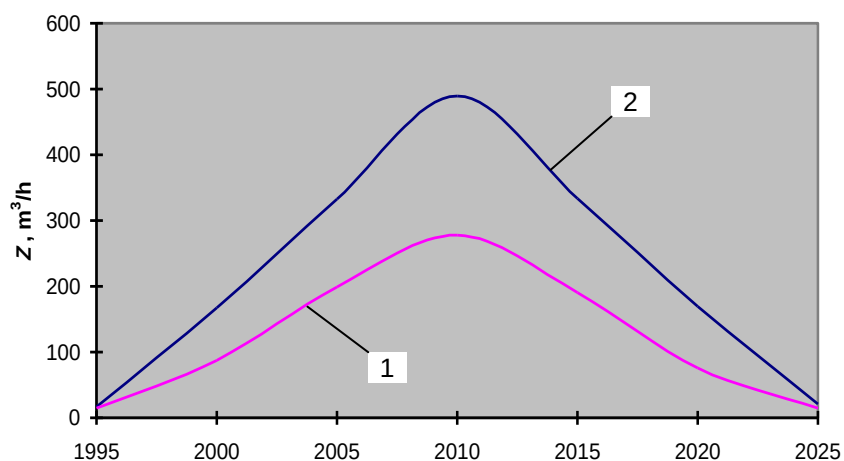
a dla gałęzi wyczerpywania

$$G_{p2t} = G_{p1max} (e^{-0,105t}), m^3/h$$

gdzie:

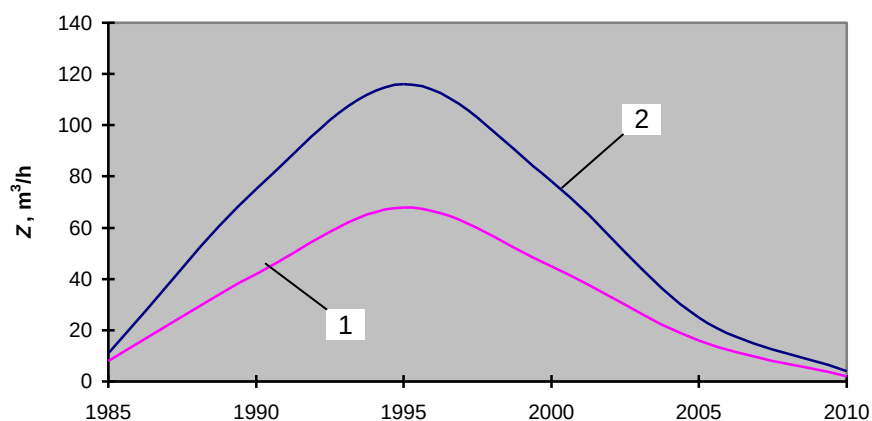
- G_{p1max} – maksymalna wydajność dla gałęzi wzrostu po czasie $(t_z + 1)$,
 t_z – rok zamknięcia składowiska.

Opracowane wykresy wydajności gazowej wysypiska w funkcji czasu jego życia mogą być pomocne przy opracowywaniu wykresów potencjalnej energii cieplnej lub elektrycznej gazu.



Rys. 5. Prognoza zasobności gazowej złoża odpadów Z, zdeponowanych na nowej części analizowanego składowiska, w latach 1995–2025 (opracowano na bazie danych aktualnych): 1 – metan, 2 – biogaz

Fig. 5. Prediction of deposit gas abundance of disposed wastes Z in the new part of the analysed dumping ground in 1995–2025 (prepared on the basis of current data): 1 – methane , 2 – biogas



Rys. 6. Prognoza zasobności gazowej złoża odpadów Z, zdeponowanych na starej części analizowanego składowiska, w latach 1985–2010 (opracowano na bazie danych archiwalnych): 1 – metan, 2 – biogaz

Fig. 6. Prediction of deposit gas abundance of disposed wastes Z in the old part of the analysed dumping ground in 1985–2010 (prepared on the basis of archival data): 1 – methane, 2 – biogas

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że przydatność obliczeń zasobności gazowej składowiska jest ograniczona i każdorazowo musi być weryfikowana eksperymentalnie. Dopiero na tej podstawie można podejmować decyzje inwestycyjne dotyczące kierunków wykorzystania biogazu.

W analizowanym przypadku wartość produktywności gazowej obliczona teoretycznie ponad dwukrotnie przewyższa wyniki uzyskane na drodze empirycznej.

Przykładowo, obliczony sumaryczny strumień gazu wynosi średnio, zgodnie z przeprowadzonym szacunkiem, w roku 2002 około 240 m³/h. Strumień ten będzie wzrastał do około 500 m³/h w 2010 roku, by około roku 2030 osiągnąć niskie wartości około 10 m³/h.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz przyjętej zawartości metanu wynoszącej 50% wielkości przewidywanego ujęcia biogazu ocenia się na około 174 nm³/h w ciągu 2 lat od zakończenia składowania. (W przeliczeniu na czysty metan daje to ujęcie 1,45 nm³/min.). W praktyce należy przyjąć wahania ujęcia w granicach 1,2÷1,6 nm³/min. Wielkość ujęcia zakłada wypełnienie kwatery obecnie eksploatowanej. W okresie kolejnych trzech lat należy się liczyć ze spadkiem ujęcia. Spowodowane jest to postępującym naturalnym zamulaniem warstw gazonośnych w korpusie składowiska, jego osiadaniem i malejącą produkcją biogazu. W przypadku gospodarczego ujmowania biogazu ważna jest właściwa eksploatacja otworów oraz zapewnienie wilgotności złoża odpadów.

Dostępność gazu i zapewnienie jego odpowiedniej jakości jest czynnikiem decydującym o podjęciu decyzji odnośnie do jego wykorzystania.

Przeprowadzone analizy składu gazu wysypiskowego pozwalają na następujące stwierdzenia:

- wysoka zawartość metanu, wynosząca ponad 50%, dla 11 analizowanych otworów, eliminuje konieczność mieszania (wzbogacania) gazu przed jego wykorzystaniem,
- mała ilość zanieczyszczeń (między innymi związków siarki <0,03%) eliminuje konieczność oczyszczania gazu,
- znaczny stopień uwodnienia gazu 0,2÷0,4% powoduje konieczność jego odwodnienia.

Z uwagi na ochronę środowiska odgazowanie składowiska i unieszkodliwienie lub energetyczne wykorzystanie gazu wysypiskowego jest koniecznością, przy czym istotna jest utylizacja biogazu przez cały okres jego produkcji [1, 2, 12].

Literatura

1. Białecka B.: *Analiza możliwości wzbogacania gazu wysypiskowego*. Archiwum Ochrony Środowiska 2002 nr 1.

2. Bogнар J., Meadows M., Repa E.: *A new perspective – measuring and modeling landfill methane emissions*. Waste Age 1998 nr 6.
3. Dudek J., Rachwalski J.: *Badania i pomiary mające na celu uzyskanie danych do projektowania instalacji odgazowania wysypisk odpadów komunalnych*. Nafta i Gaz 1995 nr 3.
4. Dudek J., Rachwalski J.: *Pozyskiwanie i utylizacja gazu wysypiskowego*. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów 1997 nr 4.
5. Dyrektywa Rady 75/442/EWG z dnia 15 lipca 1975 roku w sprawie odpadów, ze zmianami wprowadzonymi dyrektywą Rady 91/156/EWG, jak również z decyzjami Komisji 94/3/WE i 96/350/WE.
6. Gaj K.: *Składowiska odpadów komunalnych jako źródła emisji zanieczyszczeń powietrza*. Archiwum Ochrony Środowiska 1997 nr 2.
7. Nowakowski S.: *Prognozowanie zasobności gazowej wysypiska na podstawie próbnego pompowania gazu*. Wrocław, Wydaw. Ekotechnika 1997.
8. Opęchowski S., Maksymowicz B.: *Badanie gazu wysypiskowego*. Ekopartner 1999 nr 3.
9. Pomiary jakościowe i wydajnościowe biogazu ze studni odgazowujących na składowisku odpadów komunalnych (ZOK – Usługi Mechaniczne Spółka z o.o. w Jastrzębiu Zdroju), W: Dokumentacja GIG nr 42238621. Katowice 2001 (niepublikowana).
10. Scheepers M.J.J., Hagen M., Holtrop R.: *Gas quality measurement and control at landfill gas treatment plants*. Mediolan, International Gas Union 1994.
11. Stępiak S.: *Pozyskiwanie gazu ze składowisk odpadów komunalnych*. Gospodarka Materiałowa i Logistyka 1999 nr 3.
12. Winiarski J.: *Gospodarcze wykorzystanie metanu czynnikiem poprawy środowiska naturalnego*. Gospodarki Paliwami i Energią 1999 nr 3.
13. Wykonanie prac badawczo-rozwojowych związanych z badaniem składu i ilości wytwarzającego się biogazu w 14 studniach odgazowujących na składowisku odpadów komunalnych.... Dokumentacja GIG nr 42238621 Katowice 2001 (niepublikowana).

Recenzent: dr inż. Eugeniusz Krause

Antoni Magdziorz, Ryszard Lach

ANALIZA MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA ZASOLENIA BIERAWKI I ODRY PRZEZ WODY KOPALNIA NE

Streszczenie

Bierawka, prawobrzeżny dopływ Odry, jest jedną z najbardziej zasolonych rzek na Górnym Śląsku. Istotny wpływ na poziom jej zasolenia mają kopalnie Gliwickiej Spółki Węglowej S.A. (GSW S.A.) oraz KWK Budryk. Problem zasolonych wód, odprowadzanych z tych kopalń, wymaga więc efektywnego i realistycznego rozwiązania.

W artykule przedstawiono wielowariantową analizę, realnych ekonomicznie i technicznie, opcji ograniczenia negatywnego wpływu zrzutu słonych wód kopalnianych na rzeki. Analizowano następujące opcje:

- działania górniczo-geologiczne prowadzone w kopalniach GSW S.A. i KWK Budryk,
- możliwość magazynowania wód słonych w KWK Dębieńsko i ich zrzut w warunkach wysokich przepływów w rzekach,
- ewentualną likwidację kopalń zrzucających słone wody do odbiorników powierzchniowych,
- możliwości wtłaczania słonych wód do górotworu,
- połączenie kopalń kolektorem i przesył wód do rzeki Odry w odpowiednim przekroju – hydro-techniczna metoda ochrony rzeki Bierawki,
- kontynuację działania Zakładu Odsalania „Dębieńsko” bez dodatkowych inwestycji usprawniających,
- kontynuację działania Zakładu Odsalania „Dębieńsko” uzupełnionego o odzysk soli z ługów pokrzystalizacyjnych,
- kontynuację działania Zakładu Odsalania „Dębieńsko” uzupełnionego o odzysk soli z ługów pokrzystalizacyjnych wraz z odzyskiem bromu i jodu.

Aby ocenić przydatność poszczególnych rozwiązań przeprowadzono analizę mocnych i słabych stron oraz szans i zagrożeń (analiza SWOT). Stwierdzono, że optymalne, ze względów ekonomicznych i ochrony środowiska, jest:

- kontynuowanie i rozszerzanie zakresu stosowania metod górniczo-geologicznych ograniczających dopływ wód słonych do wyrobisk (tzw. redukcja dopływów „u źródła”) w kopalniach GSW i KWK Budryk,
- odsalanie wszystkich solanek z kopalń: „Knurów”, „Budryk”, „Szczygłowice” i „Dębieńsko” (w likwidacji) w zmodernizowanym Zakładzie Odsalania „Dębieńsko”, umożliwiającym dodatkowy odzysk soli z częściowej utylizacji ługów pokrzystalizacyjnych.

Ponieważ działalność Zakładu Odsalania znacząco ogranicza zrzut ładunku chlorków i siarczanów do Bierawki i ma zasadniczy wpływ na stan czystości wód w tej rzece, dokonano szczegółowej analizy wpływu pracy Zakładu Odsalania, przy zastosowaniu różnych rozwiązań, na jakość wód Bierawki i Odry.

Utrzymanie Zakładu Odsalania w ruchu i jego rozbudowa pozwoli na trwałą eliminację ładunku chlorków i siarczanów ze słonych wód kopalnianych, a wówczas zasolenie Bierawki, przy ujściu do Odry, będzie się mieściło w granicach dopuszczalnych dla III klasy czystości rzek.

Analysis of reduction possibilities of Bierawka and Oder river salinity through mine waters

Summary

The Bierawka river, a right-bank tributary of the Oder river, is one of the most salined rivers in Upper Silesia. An essential impact on its salinity level have the mines of the Gliwice Coal Company (GSW S.A.) and "Budryk" Colliery.

The problem of salined wasters, discharged from these mines, requires thus an efficient and realistic solution.

The publication presents a multi-variant analysis of reduction options of the negative impact of discharge of salt mine waters into rivers, real from the view-point of economics and technology. The following options were analysed:

- mining and geological activities conducted in the mines of the Gliwice Coal Company (GWS S.A.) and "Budryk" Colliery,
- possibility to storage salty wasters from "Dębieńsko" Colliery and their discharge in conditions of high flows in rivers,
- possible closure of mines discharging salty waters into surface receivers,
- possibilities of injection of salty waters to the rock mass,
- connection of mines by means of a collector and transmission of waters of Oder river in the suitable cross-section – hydrotechnical method of Bierawka river protection,
- continuation of activities of the "Dębieńsko" Desalination Plant without additional improving investments,
- continuation of activities of the "Dębieńsko" Desalination Plant supplemented by salt recovery from post-crystallisation lyes,
- continuation of activities of the "Dębieńsko" Desalination Plant supplemented by salt recovery from post-crystallisation lyes along with bromine and iodine recovery.

In order to assess the usefulness of individual solutions, an analysis of strong and weak sides as well as chances and hazards was carried out (SWOT analysis). It has been ascertained, that the optimum solution, from the view-point of economics and environmental protection, is:

- continuation and extension of the scope of use of mining and geological methods reducing the inflow of salty waters to mine workings (the so-called reduction of inflows "at the source") in the mines of the Gliwice Coal Company (GSW S.A.) and "Budryk" Colliery,
- desalination of all brines from mines: "Knurów", "Budryk", "Szczygłowice" and "Dębieńsko" (under closure procedure) in the modernised Desalination Plant "Dębieńsko", enabling additional salt recovery from partial utilisation of post-crystallisation lyes.

Because the activity of the Desalination Plant significantly reduces the discharge of the chloride and sulfate loads into the Bierawka river and has essential influence on the water purity state in this river, a detailed analysis of work impact of the Desalination Plant on the Bierawka and Oder water quality has been performed, using different solutions.

Maintaining of the Desalination Plant in operation and its development will allow a durable elimination of chlorine and sulfate loads from salty mine waters; then the salinity of the Bierawka river at the estuary to the Oder river will be contained within limits admissible in relation to waters of third class purity.

1. WPROWADZENIE

Bierawka, prawobrzeżny dopływ Odry, jest jedną z najbardziej zasolonych rzek na Górnym Śląsku. Do jej zlewni w 2000 roku zrzucały swoje wody dołowe cztery kopalnie węgla kamiennego: „Budryk”, „Dębieńsko” (w likwidacji), „Szczygłowice” i „Knurów”, należące (z wyjątkiem kopalni „Budryk”) do Gliwickiej Spółki Węglowej (GSW S.A.). Wody dołowe z wymienionych kopalń odprowadzane są do

Bierawki bezpośrednio (kopalnia „Budryk” i „Dębieńsko”), bądź poprzez lokalne ciek: potok Knurówka (kopalnia „Knurów”) i Potok Książenicki (kopalnia „Szczygłowice”). Słone wody kopalniane zrzucają się głównie do prawobrzeżnych dopływów Odry, Bierawki i Kłodnicy [1, 4].

Na terenie zlewni Bierawki działa Zakład Odsalania „Dębieńsko” S.A. Aktualnie Zakład ten, oprócz zasolonych wód likwidowanej kopalni „Dębieńsko”, utylizuje wody zasolone kopalni „Budryk” S.A. oraz w ograniczonych ilościach zasolone wody z kopalń GSW S.A. – „Bolesław Śmiały” i „Knurów”. Zdolności produkcyjne Zakładu w przypadku wód miernie zasolonych wynoszą 5800 m³/d, a silnie zasolonych 6300 m³/d [2].

Do Bierawki w roku 2000 odprowadzonych zostało 10 137 m³/d dołowych wód kopalnianych niosących ładunek 135 t/d jonów Cl⁻ i SO₄²⁻ [3].

W artykule przeanalizowano rozwiązania umożliwiające ograniczenie zrzutów ładunków soli w wodach kopalnianych do rzeki Bierawki. Dla poszczególnych rozwiązań przeprowadzono analizy SWOT, określając ich mocne i słabe strony, zagrożenia oraz szanse ich zastosowania.

Celem przeprowadzonych analiz był wybór optymalnych, pod względem ekologicznym i ekonomicznym, rozwiązań pozwalających kopalniom usytuowanym w zlewni Bierawki na zminimalizowanie negatywnego oddziaływania słonych wód na Bierawkę i Odrę.

2. GŁÓWNE ZANIECZYSZCZENIA BIERAWKI I ODRY

Analizie poddano jakość wód Bierawki wraz z głównymi dopływami (Rów Knurowski i Potok Sierakowski) oraz wód Odry: od ujścia Bierawki w dół i w górę rzeki, aż po strefę, gdzie nie zaznaczają się wpływy zanieczyszczonych wód Bierawki na wody Odry [6, 12].

Usytuowanie kopalń w dorzeczu Bierawki oraz wyniki monitoringu zasolenia przedstawiono na rysunku 1.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że:

- Bierawka, mimo zaliczenia do III klasy czystości rzek, na całej długości prowadzi wody pozaklasowe, zawierające wiele zanieczyszczeń. Największe przekroczenia wskaźników zanieczyszczeń spowodowane są przez zrzuty zasolonych wód z kopalń węgla kamiennego (wartości maksymalne chlorków i siarczanów przy ujściu do Odry osiągają 4000 mg/dm³).
- Zasolenie jest priorytetem jakości wód w rzece Bierawce na odcinku około 40 km (od ppk. poniżej Dębieńska – km 30,3), aż do ujścia do Odry (km 0). Na odcinku tym zaznacza się wpływ zasolonych wód z kopalń węgla kamiennego: „Dębieńsko” (w likwidacji), „Budryk”, „Szczygłowice” i „Knurów”. Przekroczenia średnich stężeń wybranych wskaźników zasolenia rzeki, w porównaniu ze stężeniem odpowiadającym III klasie czystości, wynoszą:
 - chlorków od 8,5 po KWK Knurów (km 32,0) do 3,5 (przy ujściu),
 - substancji rozp. od 6,2 po KWK Knurów do 3,3 (przy ujściu),
 - siarczanów od 2,3 po KWK Knurów do 1,3 (przy ujściu).

Punkty pomiarowe WIOŚ (K-ce; Opole)

Odra

1 – pow. ujścia Rudy – 65,7 km

3 – pon. ujścia Rudy (Przewóz) – 74,3 km (po zrzucie słonych wód z kopalń RSW SA i JSW SA)

13 – pon. ujścia Kłodnicy (Zdzieszowice) – 115,0 km (po zrzucie słonych wód z kopalń GSW SA i BSW SA)

Ruda

2 – ujście do Odry – 0,1 km

Bierawka

4 – ujście do Odry – 1,6 km

5 – pon. Pot. Sierakowskiego – 17,0 km

7 – pon. Knurówki – 32,0 km

9 – pon. Dębieńska – 39,342 km

10 – pon. Orzesza – 55,5 km

Knurówka

8 – ujście do Bierawki – 0,2 km

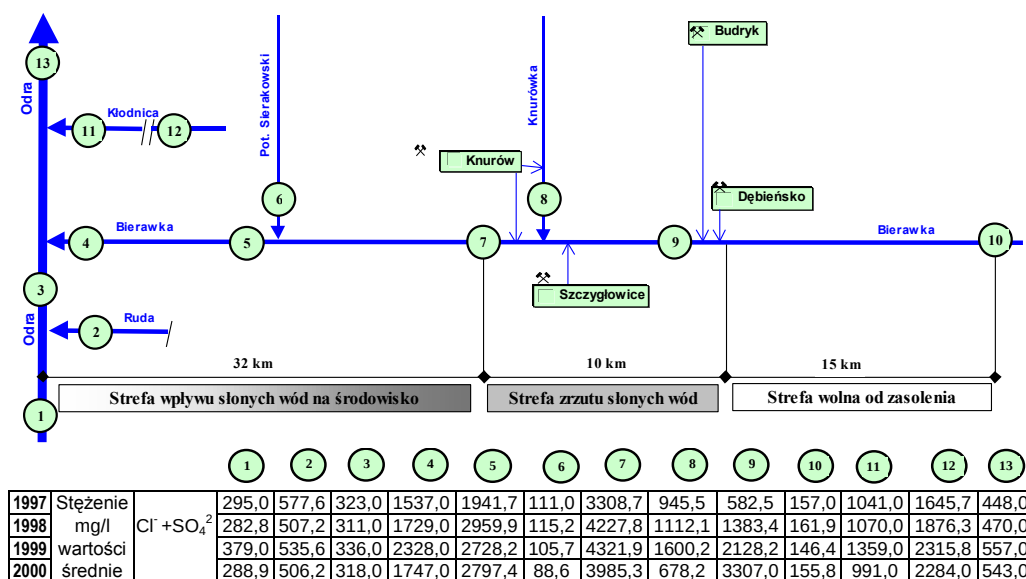
Potok Sierakowski

6 – ujście do Bierawki – 0,4 km

Kłodnica

11 – ujście do Odry (Kłodnica) – 1,8 km

12 – poniżej Bytomki – 50,0 km



Rys. 1. Usytuowanie kopalń w dorzeczu rzeki Bierawki oraz wyniki monitoringu zasolenia w latach 1997–2000

Fig. 1. Localisation of mines in the Bierawka river basin and salinity monitoring results within the period 1997–2000

- Zrzut zasolonych wód kopalnianych z GSW S.A. powoduje w Bierawce przekroczenie chłonności w stosunku do zasolenia ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) o około 100% przy przepływie średnioniskim (SNQ).
- Priorytetem jakości wód w Odrze na całym analizowanym odcinku rzeki, od punktu pomiarowego kontrolnego (ppk). „Przewóz” (poniżej ujścia Rudy km

74,3), aż po ppk. „Zdzieszowice” (poniżej ujścia Bierawki i Kłodnicy km 115) są związki biogenne, a w szczególności azot azotynowy. Wpływ na podwyższone wartości stężeń wymienionych wskaźników zanieczyszczeń w rzece mają nieoczyszczane ścieki komunalne z aglomeracji miejskich zlokalizowanych na terenie Górnej Odry i jej dopływów, a także działalność agrotechniczna. Przekroczenia średnich stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń związkami biogennymi w Górnej Odrze w 2000 roku, w porównaniu ze stężeniami odpowiadającymi II klasie czystości, wynosiły:

- azotem azotynowym – od 3,13 poniżej ujścia Rudy do 3,09 poniżej ujścia Bierawki i 3,0 poniżej ujścia Kłodnicy,
- fosforem ogólnym – od 1,24 poniżej ujścia Rudy do 1,22 poniżej ujścia Kłodnicy; poniżej ujścia Bierawki wskaźnik ten utrzymywał się w granicach normy dla II klasy czystości.
- Chłonność Odry (w stosunku do zasolenia $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) za ujściem Bierawki, odprowadzającej zasolone wody z kopalń GSW S.A., przekroczona jest o około 23%, przy przepływie SNQ. Powyższe obliczenia znalazły potwierdzenie w wynikach monitoringu stanu zasolenia Bierawki i Odry, realizowanego przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska w Katowicach i Opolu [6, 12].

3. ANALIZA REALNYCH EKONOMICZNIE I TECHNICZNIE OPCJI ZMNIEJSZANIA ZRZUTU WÓD SŁONYCH Z KOPALŃ GSW S.A. I KOPALNI „BUDRYK”

Do ograniczania zasalania rzek wodami kopalnianymi stosowane są przez kopalnie różne rozwiązania i działania [11]. W przypadku kopalń zrzucających zasolone wody do Bierawki przeanalizowano następujące opcje [5]:

- działania górniczo-geologiczne prowadzone w kopalniach GSW S.A. i kopalni „Budryk”,
- możliwość magazynowania wód słonych w kopalni „Dębieńsko” i ich zrzut w warunkach wysokich przepływów w rzekach, w tym:
 - sposób likwidacji kopalni „Dębieńsko”,
 - zagrożenia wodne dla kopalni „Szczygłowice”,
 - sposób odwadniania kopalni zapewniający wyselekcjonowanie wód dla Zakładu Odsalania;
- możliwości ewentualnej likwidacji kopalń zrzucających słone wody do odbiorników powierzchniowych, w tym:
 - analiza hydrogeologiczna kopalń: „Knurów”, „Budryk”, „Dębieńsko” (w likwidacji), „Szczygłowice”, „Makoszowy” i „Sośnica”,
 - połączenia hydrauliczne między kopalniami;
- możliwości wtłaczania słonych wód do górotworu, w tym:
 - możliwości wtłaczania słonych wód kopalnianych na obszarze kopalni „Budryk”,
 - analiza możliwości wtłaczania słonych wód w rejonie kopalni „Knurów”;

- połączenie kopalń kolektorem i przesył wód do Odry w odpowiednim jej przekroju – hydrotechniczna metoda ochrony Bierawki;
- możliwości zmniejszenia zrzutów słonych wód z kopalń GSW S.A. i kopalni „Budryk” w wyniku działalności Zakładu Odsalania „Dębieńsko”, przy wykorzystaniu realnych technicznie i ekonomicznie wariantów, a mianowicie:

Wariant I – Zakład Odsalania „Dębieńsko” zamknięty;

Wariant II – kontynuacja działania Zakładu Odsalania bez dodatkowych inwestycji usprawniających;

Wariant III – kontynuacja działania Zakładu Odsalania uzupełnionego o odzysk soli z ługów pokrystalizacyjnych;

Wariant IV – Zakład Odsalania pracuje z optymalną wydajnością, wykorzystując instalację odwróconej osmozy i instalację wyparną „Dębieńsko I” (instalacja według technologii GIG) i „Dębieńsko II” (według technologii amerykańskiej RCC – Resources Conservation Company), bez odzysku soli z ługów pokrystalizacyjnych; do Zakładu kierowane byłyby wszystkie zasolone wody z kopalń w zlewni Bierawki;

Wariant V – Zakład Odsalania pracuje jak w przypadku wariantu IV, przy założeniu odzysku soli z ługów pokrystalizacyjnych. Do Zakładu kierowane byłyby wszystkie zasolone wody z kopalń w zlewni Bierawki.

3.1. Działania górniczo-geologiczne prowadzone w kopalniach GSW S.A. i kopalni „Budryk”, ograniczające dopływ wód słonych (tzw. redukcja dopływów „u źródła”)

W celu zmniejszenia ilości wód słonych odprowadzanych do wód powierzchniowych w kopalniach GSW S.A. są prowadzone działania górniczo-hydrogeologiczne, tzw. działania „u źródła”, polegające na [7, 13]:

- wykorzystaniu wód słonych do lokowania pyłów dymnicowych i odpadów poflotacyjnych w wyrobiskach dołowych,
- deponowaniu wód słonych na dole,
- selekcji wód dołowych i ich wykorzystaniu w celach technologicznych na dole kopalni i na powierzchni (p.poż., obiegi wodno-mułowe itp.),
- izolowaniu punktowych wypływów wód słonych w zrobach i wyrobiskach górniczych metodą klejenia żywicami.

Łącznie w kopalniach GSW S.A. oraz kopalni „Budryk” na działania górniczo-hydrogeologiczne przewiduje się wydanie w latach 2001–2007 przeszło 15 mln zł (ok. 2,18 mln zł/rok). W wyniku tych działań ograniczenie zrzutu ładunku chlorków i siarczanów do Bierawki i Kłodnicy powinno wynieść o około 44,6 t/d, to jest o około 16 280 t/rok. Stąd koszt usunięcia jednego kilograma ładunku chlorków i siarczanów stanowić będzie 0,13 zł.

W celu oceny wyżej wymienionych działań górniczo-hydrogeologicznych przeprowadzono analizę SWOT, na podstawie której stwierdzono, że są one najbardziej efektywne i mogą doprowadzić do ograniczenia zrzutu tych wód do odbiorników powierzchniowych. Określono:

Mocne strony

- w odprowadzanych wodach kopalnianych zostaje ograniczony ładunek około 44,6 t/d chlorków i siarczanów, tj. około 15% obecnie wprowadzanego ładunku do rzek przez kopalnie GSW S.A.,
- nakłady inwestycyjne są najniższe ze wszystkich analizowanych opcji – 15,24 mln zł,
- najniższy jest jednostkowy koszt inwestycyjny wyeliminowania ze zrzutu 1 tony ładunku chlorków i siarczanów – 133,7 zł/tonę,
- eliminuje opłaty za zrzut ładunku chlorków i siarczanów, zawartego w wodach z tych kopalń, w wysokości 3,42 mln zł/rok (według podwyższonych o 500% stawek na rok 2002).

Słabe strony – zagrożenia

- nie uda się zrealizować całego zakresu zaplanowanych przez kopalnię działań, ze względu na nieprzewidywalne zmiany, jakie mogą zajść w wyniku eksploatacji węgla i planów restrukturyzacyjnych kopalń.

Kierunek działań GSW S.A. należy uznać za prawidłowy. Ograniczenie zrzutu ładunku chlorków i siarczanów do rzek o około 15%, może nie zostać zrealizowane w całości, niemniej obniżenie o około 10% jest realne.

Porównując wyliczony koszt ograniczenia zrzutu 1 kg ładunku chlorków i siarczanów poprzez działania „u źródła” kopalń GSW S.A. (13 gr) z aktualną stawką opłat za odprowadzanie 1 kg ładunku chlorków i siarczanów do odbiorników powierzchniowych (21 gr) stwierdzić można, że działania kopalń węgla kamiennego GSW S.A. w zakresie prac górniczych, w celu zminimalizowania dopływu wód zasolonych, są wysoko efektywne i powinny być kontynuowane i preferowane.

Przedstawiony, przez kopalnię GSW S.A., program ograniczenia zasolenia zlewni Odry [7, 13] uwzględnia podstawową zasadę polityki ekologicznej Unii Europejskiej, a mianowicie – zasadę likwidacji zanieczyszczeń „u źródła”. Jego zakres uwzględnia warunki górniczo-geologiczne panujące w kopalniach GSW S.A. i jest przewidziany na okres 6–7 lat. Po tym okresie będzie mógł być kontynuowany, ale w mniejszym zakresie ze względu na uwarunkowania wodne, geologiczne i hydrogeologiczne.

3.2. Możliwość magazynowania wód słonych w likwidowanej kopalni „Dębieńsko” i ich zrzut w warunkach wysokich przepływów w rzekach

Z wyrobiskami kopalni „Dębieńsko” graniczą wyrobiska kopalni „Szczygłowice” poprzez filar węglowy w pokładzie 401/1 o szerokości od 25 do 40 m, na głębokości około 695 m (–445 m). Filar ten może być spękany, osłabiony i nieszczelny w wyniku słabego górotworu oraz oddziaływania robót górniczych. W przypadku spiętrzenia wody w wyrobiskach kopalni „Dębieńsko” powyżej rzędnej –445 m, możliwa będzie filtracja wody do kopalni „Szczygłowice” i wystąpienie zagrożenia wodnego dla tej kopalni. Wynika z tego, że konieczne jest kontynuowanie odwadniania kopalni „Dębieńsko” po jej likwidacji [5, 8]. Nie ma zatem możliwości magazynowania słonych wód w wyrobiskach górniczych kopalni „Dębieńsko”, a tym samym wprowa-

dzienia kontrolowanego zrzutu zasolonych wód do rzeki Bierawki, w zależności od sytuacji hydrologicznej w tej rzece.

3.3. Analiza uwarunkowań hydrogeologicznych pod kątem możliwości ewentualnej likwidacji kopalń zrzucających słone wody do odbiorników powierzchniowych

Z analizy uwarunkowań hydrogeologicznych kopalń: „Debieńsko” (w likwidacji), „Knurów”, „Budryk”, „Szczygłowice”, „Makoszowy” oraz „Sośnica” wynika, że [5]:

- Jedynie kopalnie „Knurów” i „Budryk” nie są dotychczas połączone hydraulicznie z kopalniami sąsiednimi. W przypadku ich likwidacji, na przykład ze względów ekonomicznych, możliwe będzie zaprzestanie ich odwadniania i dopuszczenie do samozatopienia wyrobisk górniczych wodami z dopływu naturalnego. W takim przypadku konieczne będzie wnikliwe przeanalizowanie wpływu zatopienia tych kopalń na środowisko wód podziemnych i powierzchniowych oraz podjęcie odpowiednich działań w celu jego ochrony.
- W pozostałych kopalniach GSW S.A. uwarunkowania hydrogeologiczne oraz związane z nimi zagrożenia wodne nie pozwalają na ich zatopienie. Konieczne będzie wypompowywanie z nich wód i ich zrzut do Bierawki i Kłodnicy. Realizacja tej opcji w takim zakresie nie znajduje jednak uzasadnienia z uwagi na ograniczenie zasolenia rzek.

3.4. Możliwości wtłaczania słonych wód do górotworu

Możliwości bezpowrotnego wtłaczania słonych wód do górotworu analizowane były w odniesieniu do wód z kopalń „Budryk” i „Knurów” [5, 9, 10]. Aby ocenić przydatność tej metody, przeprowadzono analizę mocnych i słabych stron oraz szans i zagrożeń (SWOT), którą przedstawiono poniżej.

Mocne strony

- teoretyczna możliwość wyeliminowania ze zrzutu do rzek słonych wód i zawartych w nich ładunków soli (chlorków i siarczanów) w ilości: około 90 t/d z kopalni „Budryk” i około 80 t/d z kopalni „Knurów” (razem: 170 t/d),
- umiarkowane koszty eksploatacyjne ($6\div 7$ zł/m³ zatłaczanej wody – cena z 2000 r.),
- stosunkowo prosta technologia,
- nieduża liczba niezbędnej załogi,
- ograniczone wymagania przestrzenne,
- może być zrealizowana w krótkim czasie (3 lata),
- małe zużycie energii w porównaniu z innymi metodami unieszkodliwiania ładunków soli (ok. $3\div 4$ KWh/m³),
- pozytywne rezultaty zatłaczania wód w krajach UE i USA.

Słabe strony

- próby zatłaczania w kraju ciągle są w fazie eksperymentu badawczego, (w przypadku kopalni „Budryk” – wstępne szacunki, a kopalni „Knurów” – etap początkowy),

- brak jest doświadczeń w zakresie zatłaczania wód w tej skali i na tej głębokości w Polsce,
- brak jest dobrej znajomości struktury i chłonności górotworów, a także składów chemicznych wód złożowych na tych głębokościach,
- konieczna jest budowa systemu wstępnego przygotowania i uzdatniania wody kopalnianej,
- konieczna jest budowa rurociągów przesyłowych z kopalni do projektowanych otworów tłocznych, co wiąże się z wykupem terenów, uzgodnieniami z lokalnymi władzami itp.,
- rzeczywista chłonność górotworu możliwa jest do określenia dopiero po rozpoczęciu procesu zatłaczania,
- rozwiązanie ograniczone w czasie i uzależnione od zdolności zbiornikowych warstw chłonnych,
- wysokie koszty inwestycyjne (ok. 46 mln zł – ceny z 1994 r.) zatłaczania wód z kopalni „Knurów”,
- brak, aktualnie, projektów technicznych, pozwoleń na budowę itp.

Zagrożenia

- złe oszacowanie chłonności górotworu,
- brak chemicznej zgodności wody złożowej z wtłaczaną wodą kopalnianą; w tym przypadku konieczna jest korekta składu chemicznego zatłaczanej wody, aby ograniczyć możliwość wytrącania się osadów, co w konsekwencji spowodować może kolmatację warstw chłonnych, a tym samym uniemożliwić dalsze zatłaczanie,
- silny opór i sprzeciw społeczności lokalnej co do usytuowania rurociągów, możliwości zanieczyszczenia wód gruntowych (np. stanowisko gminy Pilchovice).

Szanse

- pozytywne wyniki badań w kraju; brak takich wyników z zakresu zatłaczania słonych wód kopalnianych pozostanie w kategorii rozwiązań możliwych, lecz dostatecznie niewypróbowanych,
- rozwiązanie, polegające na odwierceniu otworu badawczo-tłocznego, kosztowne inwestycyjnie ze względu na konieczność ułożenia rurociągu doprowadzającego słone wody do otworu oraz budowy odpowiedniej instalacji oczyszczania i obróbki wody; jednak z uwagi na wartość naukową eksperymentu badawczego i umiarkowane koszty eksploatacyjne wydaje się uzasadnione.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że:

- próby zatłaczania słonych wód kopalnianych do górotworu są w kraju ciągle w fazie doświadczalnej,
- brak jest doświadczeń z zakresu zatłaczania wód w tej skali i na tej głębokości w Polsce,
- proponowane rozwiązanie dla wód z kopalni Knurów – kosztowne inwestycyjnie (46 mln zł) – tylko z uwagi na wartość naukową eksperymentu

i umiarkowane koszty eksploatacyjne (6÷7 zł/m³ wody), wydaje się uzasadnione,

- inwestycji tej sprzeciwiają się lokalne władze terenowe (gmina Pilchowice) w obawie przed zanieczyszczeniem słonymi wodami gruntów i wód powierzchniowych.

3.5. Połączenie kopalń kolektorem i przesył wód słonych do rzeki Odry w odpowiednim przekroju – hydrotechniczna metoda ochrony Bierawki

Jedną z analizowanych opcji jest zastosowanie tzw. ochrony hydrotechnicznej Bierawki i jej dopływów, w celu ograniczenia niekorzystnego oddziaływania słonych wód kopalnianych na wody powierzchniowe. Polega ona na połączeniu kopalń kolektorem i przesyłaniu zasolonych wód kopalnianych podziemnym rurociągiem transportowym długości około 40 km, wzdłuż Bierawki do Odry. Zrzut do Odry przewidziano za ujściem Bierawki [5]. Analizę SWOT dla tej opcji przedstawiono poniżej.

Mocne strony

- kolektorem są przemieszczane do Odry słone wody kopalniane i zawarty w nich ładunek soli, eliminując całkowicie ich wpływ na zasolenie cieków lokalnych,
- obniżone opłaty za zrzut ładunku chlorków i siarczanów,
- działanie proekologiczne związane z ograniczeniem niekorzystnego oddziaływania słonych wód na wody powierzchniowe i podziemne w zlewni Bierawki,
- utrzymanie zasolenia w Odrze, po zrzucie słonych wód na odcinku do ujścia Kłodnicy, w granicach określonych dla II–III klasy czystości pod względem zawartości sumy chlorków i siarczanów (500÷650 mg/l przy przepływie ŚNQ),
- uzyskanie przez kopalnie pozwoleń wodnoprawnych na zrzut zasolonych wód,
- wprowadzenie działań związanych z odbudową biologiczną zlewni w aspekcie realizacji programu ochrony zlewni Bierawki,
- umiarkowane koszty eksploatacyjne.

Słabe strony

- wysokie nakłady inwestycyjne – 33,8 mln zł (bez uwzględnienia kosztów wykupu terenu oraz automatyki i sterowania),
- stosunkowo wysokie zużycie energii elektrycznej na pompowanie wód na odległość około 40 km,
- długi okres uzgodnień związanych z realizacją inwestycji,
- realizacja inwestycji musi być przeprowadzona jednoetapowo – efekty są możliwe do uzyskania dopiero po jej całkowitym ukończeniu,
- inwestycja wymaga zabudowy wielu zabezpieczeń (np. budowa dodatkowego rurociągu na wypadek awarii, zabezpieczeń przed uderzeniami wodnymi, odwodnienia, zabezpieczeń przed szkodami górniczymi, podwójnych zabezpieczeń energetycznych, dróg dojazdowych itp.) w celu niezawodnej pracy systemu transportowego,

- możliwość występowania awarii związanych z korozją armatury, nieszczelności, uszkodzenia itd.,
- konieczność prowadzenia stałego monitoringu stanu technicznego kolektora.

Zagrożenia

- duża trudność kontroli całego systemu,
- możliwość występowania awarii trudnych do szybkiego zlokalizowania,
- opory ekologów i społeczności lokalnych,
- brak środków finansowych na realizację inwestycji.

Szanse

Szanse zastosowania takiego rozwiązania są minimalne.

W wyniku przeprowadzonej analizy SWOT można sformułować następujące uogólnienia:

- Budowa omawianego systemu rurociągów odprowadzających słone wody z kopalń węgla kamiennego Gliwickiej Spółki Węglowej S.A. do Odry jest pod względem ekonomicznym rozwiązaniem kosztownym. Inwestycja wymaga poniesienia nakładów przedinwestycyjnych, które oszacowano na około 4,1 mln zł, nakładów inwestycyjnych, które oszacowano na około 29,7 mln zł (bez uwzględnienia kosztów wykupu terenu oraz automatyki i sterowania) oraz kosztów eksploatacyjnych, które wraz z amortyzacją wyceniono na około 1,4 mln zł/rok.
- Budowa rurociągu do przesyłu słonych wód do Odry może napotkać na wiele trudności związanych z jej realizacją oraz prowadzeniem eksploatacji, która przy redukcji nakładów inwestycyjnych do jednego kolektora, nie daje wymaganej gwarancji niezawodności pracy systemu. Dodatkowo inwestycja ta może napotkać na brak akceptacji ze strony społeczności lokalnej związanej z przebiegiem trasy rurociągu (tereny zabudowy mieszkaniowej oraz użytki rolne) oraz z rodzajem przepompowywanego medium (solanki kopalniane).

4. ANALIZA WPŁYWU DZIAŁAŃ ZWIĄZANYCH Z FUNKCJONOWANIEM ZAKŁADU ODSALANIA „DĘBIEŃSKO” NA JAKOŚĆ WÓD W RZEKACH BIERAWKA I ODRA

4.1. Sytuacja prawna ZO „Dębieńsko”

Zakład Odsalania „Dębieńsko” Sp. z o.o. świadczy usługi na rzecz Gliwickiej Spółki Węglowej S.A. (na mocy umowy Nr 26/1998/SPR), polegające na kompleksowej obsłudze instalacji odsalania wód dołowych (będącej majątkiem GSW S.A.), Spółki Restrukturyzacji Kopalń – kopalni „Dębieńsko”, kopalni „Budryk” S.A. i innych kopalń. Gliwicka Spółka Węglowa S.A. w 2001 roku miała podpisaną umowę na utylizację słonych wód ze Spółką Restrukturyzacji Kopalń i kopalnią „Budryk” S.A.

Aktualnie trwają negocjacje ze Spółką Restrukturyzacji Kopalń na temat możliwości przedłużenia niniejszej umowy.

Zarząd GSW S.A. mając na uwadze aktualny stan prawny, a w szczególności fakt, że odsalanie wód dołowych prowadzone jest na rzecz likwidowanej kopalni „Dębieńsko”, będącej własnością SRK S.A. (Jednoosobowej Spółki Skarbu Państwa) i na rzecz kopalni „Budryk” S.A. (Jednoosobowej Spółki Skarbu Państwa), uznaje przekazanie zakładu odsalania Skarbowi Państwa za rozwiązanie zapewniające jego dalsze funkcjonowanie.

Starosta Powiatu Rybnickiego – reprezentujący Skarb Państwa, mając na uwadze między innymi utrzymanie około 250 miejsc pracy, a także funkcję ekologiczną zakładu odsalania, wyraził intencję przejęcia udziałów GSW S.A. w Spółce na rzecz Skarbu Państwa.

Ministerstwo Skarbu Państwa również pozytywnie zaopiniowało ten kierunek działań GSW S.A.

Obecnie jedyną przeszkodę formalną do przeprowadzenia aportu stanowią zabezpieczenia hipoteczne, ustanowione przez Zakład Ubezpieczeń Społecznych. W tej sprawie prowadzone są rozmowy z centralą ZUS w Warszawie.

4.2. Sytuacja ekonomiczna Zakładu Odsalania

Kontynuacja działania Zakładu Odsalania bez dodatkowych inwestycji usprawniających, według danych ZO Debieńsko oraz przy uwzględnieniu łącznej stawki opłat obowiązującej w 2002 roku (stawka podwyższona o 500% = 0,21 zł/kg chlorków i siarczanów), do której zobowiązane byłyby kopalnie „Budryk”, „Dębieńsko” i „Knurów”, wyglądałaby następująco:

Techniczny koszt wytwarzania	- 43 mln zł/rok,
Ilość wód przyjętych do utylizacji	- 2 mln m ³ /rok,
Ładunek chlorków i siarczanów przyjęty do utylizacji	- 60 334,5 t/rok,
Sprzedaż produktów	- 13,2 mln zł/rok (74 000 t soli/rok),
Przychód w postaci równowartości opłat za ładunek Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻ przyjęty do utylizacji	- 12,67 mln zł/rok.

Wykorzystując powyższe dane można obliczyć efektywność ekonomiczną według zależności:

strata/zysk = sprzedaż produktów + sprzedaż usług – techniczny koszt wytwarzania
stąd:

$$\text{strata} = 13,2 \text{ mln zł/rok} + 12,67 \text{ mln zł/rok} - 43 \text{ mln zł/rok} = -17,13 \text{ mln zł/rok}$$

Kopalnia „Dębieńsko” (w likwidacji) nie musi płacić za utylizację swoich wód w Zakładzie Odsalania, a taka możliwość została stworzona dla kopalń będących w likwidacji, przez obowiązujące uregulowania prawne, to jest Ustawę z dnia 27 sierpnia 1997 roku (Dz.U. nr 113, poz. 735 wraz z późniejszymi zmianami), o restrukturyzacji finansowej jednostek górnictwa węgla kamiennego oraz o wprowadzeniu opłaty węglowej, która reguluje zasady i warunki restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego. W myśl tej Ustawy jednostki likwidujące w całości lub w części zakłady górnicze wydobywające węgiel kamienny przy udziale środków z budżetu

państwa zwolnione są od obowiązku uiszczania bieżących opłat i kar (art. 2 pkt. 1 i 3), od dnia zaprzestania wydobywania węgla, w wysokościach przypadających na likwidowany zakład górniczy lub jego likwidowaną część (art. 7.1).

W tej sytuacji dofinansowanie z budżetu musiałyby wzrosnąć o równowartość opłat przypadających na kopalnię „Dębieńsko” to jest o 5,718 mln zł/rok. Łączne dofinansowanie z budżetu w tej sytuacji musiałyby wynosić około 22,8 mln zł/rok.

5. WIELOWARIANTOWA ANALIZA REALNYCH TECHNICZNIE I EKONOMICZNIE MOŻLIWOŚCI ZMNIEJSZENIA ZRZUTU SŁONYCH WÓD Z KOPALNÍ GSW S.A. I KOPALNI „BUDRYK” W WYNIKU DZIAŁALNOŚCI ZAKŁADU ODSALANIA „DĘBIEŃSKO”

Przeprowadzono analizę następujących opcji [5]:

Opcja I – Zakład Odsalania zamknięty. Zasolone wody kopalniane z kopalń GSW S.A. kierowane są bez jakichkolwiek działań do wód powierzchniowych pobliskich cieków wodnych.

Opcja II – Zakład Odsalania pracuje stosując procesy technologiczne wynikające z planów inwestycyjnych GSW S.A.

Podstawę analizy stanowiła symulacja komputerowa, w której uwzględniono:

- tło zasolenia rzek przed zrzutem wód dołowych z kopalń GSW S.A. i „Budryk”,
- ładunek chlorków i siarczanów odprowadzany z wodami kopalnianymi,
- wielkość produkcji Zakładu Odsalania „Dębieńsko” (NaCl, gips, ługi pokrzystalizacyjne),
- przepływy charakterystyczne w rzekach.

W przypadku realizacji opcji I – Zakład Odsalania zamknięty:

- Zasolone wody z kopalń „Dębieńsko” (w likwidacji), „Budryk”, „Szczygłowice” i „Knurów” w ilości średnio 15,3 tys. m³/d kierowane byłyby bezpośrednio z osadników przykopalnianych do zlewni Bierawki i dalej do Odry. Ładunek soli zawarty w tych wodach wyniósłby średnio około 460 t/d.
- Kopalnie GSW S.A. i KWK „Budryk” wprowadzałyby do Odry o około 35÷40% więcej ładunku chlorków i siarczanów, to jest łącznie około 280 t/d.
- Uogólniając, działalność Zakładu Odsalania „Dębieńsko” w sposób zasadniczy ogranicza zrzuty ładunku chlorków i siarczanów do Bierawki i ma zasadniczy wpływ na stan czystości wód w tej rzece.

W przypadku realizacji opcji II – Zakład Odsalania pracuje w sposób optymalny:

- Istnieją techniczne rozwiązania i możliwości pracy Zakładu Odsalania takie, aby deficyt w jego działalności był jak najmniejszy, a usunięty ładunek soli z wód kopalnianych największy. Uwarunkowane jest to zainwestowaniem środków finansowych w węzeł odzysku chlorku sodu z ługów pokrzystalizacyjnych, przyjęciu dodatkowych ilości wód zasolonych z sąsiednich kopalń („Szczygłowice”, „Knurów”), co wiąże się z budową rurociągów przesyłowych z tych

kopalń do Zakładu Odsalania, racjonalizacji zatrudnienia, obniżenia kosztów utylizacji itp.

- Najkorzystniejszym wariantem do zrealizowania jest wariant V (patrz punkt 3). W dalszej części artykułu przedstawiono charakterystykę takiego rozwiązania.

6. ANALIZA WARIANTU OPTYMALNEGO

6.1. Analiza techniczna

Zakład Odsalania realizuje procesy technologiczne wynikające z planów inwestycyjnych GSW S.A., wykorzystując instalację odwróconej osmozy i instalację wyparną „Dębieńsko I” (instalacja według technologii GIG) i „Dębieńsko II” (według technologii RCC) oraz przy założeniu odzysku soli z ługów pokrystalizacyjnych. Do Zakładu kierowane byłyby wszystkie zasolone wody z kopalń w zlewni Bierawki.

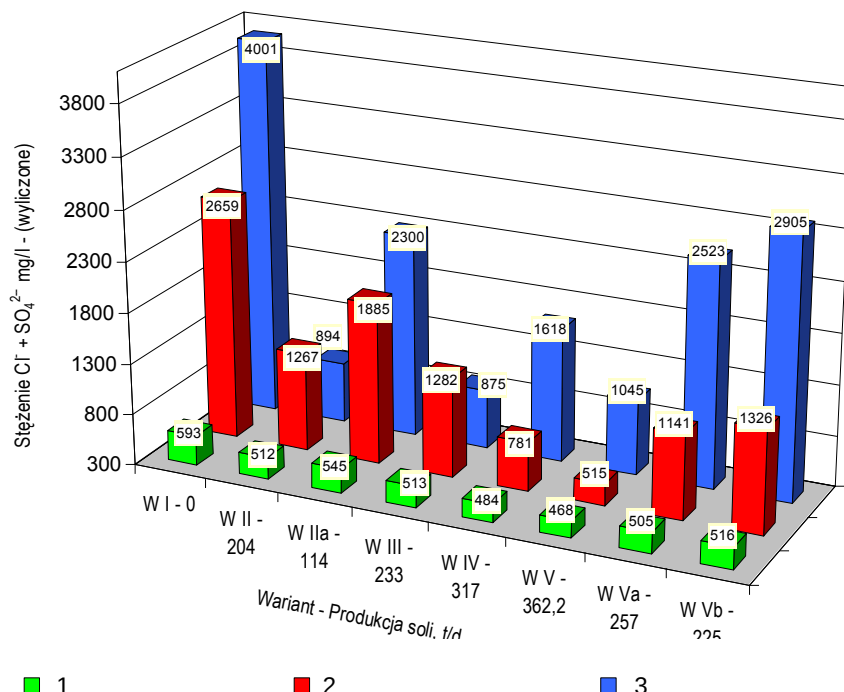
W przypadku realizacji **tego wariantu** oraz przy założeniu, że:

- Instalacja do odwróconej osmozy (RO) będzie utylizowała zadeklarowane przez kopalnię „Budryk” wody miernie zasolone w ilości 2018 m³/d i sumarycznym stężeniu chlorków i siarczanów wynoszącym 19,5 g/dm³. Wody te odsalane będą w trzech sekcjach, a uzyskanie koncentratu o mineralizacji około 65 g/dm³ wyniesie około 1009 t/d.
- Instalacja wyparna RCC będzie odsalała zadeklarowane przez kopalnie solanki z:
 - kopalni „Budryk” w ilości 1371 t/d,
 - kopalni „Szczygłowice” w ilości 438 t/d,
 - kopalni „Knurów” w ilości 1370 t/d,
 - koncentrat z instalacji odwróconej osmozy w ilości 1009 t/d,
 - razem 4188 t/d.
- Instalacja wyparna „Dębieńsko I” będzie zateższała solanki z kopalni „Dębieńsko” w ilości około 2077 t/d. Sumaryczna ilość wód silnie zasolonych kierowanych do instalacji odsalających (łącznie z koncentratem z RO) wyniesie 6265 m³/d. (Podane powyżej ilości solanek do utylizacji wynikają z możliwości utylizacyjnych instalacji RO, RCC i „Dębieńsko I”).
- Zateżzona solanka z instalacji „Dębieńsko I” będzie wprowadzona do krystalizatora RCC.
- Wytworzone ługi pokrystalizacyjne będą wprowadzane do węzła odwadniania i separacji siarczanu wapniowego, a następnie bez korygowania ich składów chemicznych chlorkiem wapnia, będą zateżane w wyparkach w celu odzysku chlorku sodowego. Wyprowadzony z wyparek chlorek sodowy rozpuszczony zostanie w gorącej i zdekarbonizowanej solance z instalacji „Dębieńsko I”, a następnie wprowadzony zostanie do krystalizatora RCC.
- Z krystalizatora wyprowadzonych zostanie 362,5 t/d soli (NaCl) oraz około 13 t/d gipsu (CaSO₄ · 2 H₂O). Przy tak prowadzonym procesie odsalania i produkcji soli (NaCl) w ilości 362,5 t/d (obecnie zakład odsalania może produkować około 200 t/d) do rzeki Bierawki i dalej do Odry trafi średnio jedynie około 53 t/d chlorków i siarczanów pochodzących z nieodsalanych wód miernie zasolonych

z kopalni „Dębieńsko” (w likwidacji) oraz pozostałych ługów pokrystalizacyjnych z Zakładu Odsalania „Dębieńsko” w przypadku, gdy wyczerpane zostaną możliwości ich deponowania.

6.2. Efekt ekologiczny

Efekt ekologiczny wynikający z realizacji proponowanej opcji przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Symulacja zanieczyszczenia rzek Bierawki i Odry pod względem zawartości chlorków i siarczanów w wybranych punktach monitoringu jakościowego w zależności od produkcji soli (NaCl) w Zakładzie Odsalania „Dębieńsko”: 1 – Odra poniżej Bierawki, 2 – Bierawka – ujście do Odry, 3 – Bierawka poniżej Dębieńska

Fig. 2. Pollution simulation of Bierawka and Oder rivers with respect to chlorine and sulfate contents in selected quality monitoring points depending on salt (NaCl) production in the “Dębieńsko” Desalination Plant: 1 – Oder river beneath Bierawka river, 2 – Bierawka – estuary to Oder river, 3 – Bierawka river beneath Dębieńsko

Na rysunku tym przedstawiono zbiorcze zestawienie wyników symulacji komputerowej zanieczyszczenia Bierawki i Odry pod względem zawartości chlorków i siarczanów w wybranych punktach monitoringu jakościowego w przypadku:

- zamknięcia Zakładu Odsalania „Dębieńsko” – Wariant I (produkcja soli – 0 [t/d])
- działalności Zakładu Odsalania „Dębieńsko”, przy różnej produkcji soli – Warianty II–IV.

- optymalnej, możliwej do realizacji działalności Zakładu Odsalania „Dębieńsko”
- Wariant V.

W przypadku realizacji wariantu optymalnego (Wariant V), tj. gdy łączny ładunek chlorków i siarczanów wprowadzany przez nieodsalone pozostałe wody z kopalń w zlewni rzeki Bierawki wyniósłby tylko 54,3 t/dobę, sytuacja uległaby dalszej znacznej poprawie powodując, że **zasolenie Bierawki przy ujściu do rzeki Odry mieściłoby się w granicach dopuszczalnych dla III klasy czystości rzek.**

6.3. Analiza ekonomiczna

Analizę finansową projektu modernizacji i rozbudowy Zakładu Odsalania „Dębieńsko” Sp. z o.o. przeprowadzono przy zastosowaniu metod dyskontowych.

Analizę przeprowadzono według metodyki UNIDO w cenach stałych, przyjmując ceny i koszty bazowe z końca roku 2001. Analiza objęła okres od 2001 do 2016 roku. Obliczenia dla całej analizy były prowadzone przy założeniu, że saldo gotówkowe skumulowane w zadanym analizowanym roku nie może przyjmować wartości ujemnych [5].

Analizę wykonano dla dwóch wersji realizacji modernizacji instalacji odsalającej w Zakładzie Odsalania „Dębieńsko”, w których wydzielono dwa warianty, tj.:

Wersja 1, wariant V i Vc – z odzyskiem soli z ługów pokrystalizacyjnych i bez budowy instalacji odjodowania i odbromowania w przypadku, gdy likwidowana kopalnia „Dębieńsko” uiszcza opłaty za utylizację swoich wód zasolonych (wariant V) oraz, gdy tego nie robi (wariant Vc).

Wersja 2, wariant V i Vc – z odzyskiem soli z ługów pokrystalizacyjnych i z budową instalacji odjodowania i odbromowania w przypadku, gdy likwidowana kopalnia „Dębieńsko” uiszcza opłaty za utylizację swoich wód zasolonych (wariant V) oraz, gdy tego nie robi (wariant Vc).

W każdej wersji uwzględniono nakłady inwestycyjne na budowę i modernizację rurociągów przesyłowych dla słonych wód z kopalń „Knurów”, „Szczygłowice” i „Budryk”.

Wnioski z przeprowadzonej analizy ekonomicznej:

1. Rozbudowa Zakładu Odsalania może być zaprojektowana:
 - z odzyskiem soli z ługów pokrystalizacyjnych i bez budowy instalacji odjodowania i odbromowania – łączne nakłady inwestycyjne wyniosą 24 201,4 tys. zł,
 - z odzyskiem soli z ługów pokrystalizacyjnych i z budową instalacji odjodowania i odbromowania – łączne nakłady inwestycyjne wyniosą 29 080,9 tys. zł.
2. Założono, że źródła finansowania inwestycji będą się przedstawiały następująco:
 - dla wersji 1 realizacji inwestycji przyjęto następującą strukturę źródeł finansowania:

- środki własne	2 420,1 tys. zł, tj. 10,0%,
- dotacja z NFOŚiGW	21 781,3 tys. zł, tj. 90,0%,
RAZEM	24 201,4 tys. zł, tj. 100,0%;

- dla wersji 2 realizacji inwestycji przyjęto następującą strukturę źródeł finansowania:

- środki własne	2 908,1 tys. zł, tj. 10,0%,
- dotacja z NFOŚiGW	26 172,8 tys. zł, tj. 90,0%,
RAZEM	29 080,9 tys. zł, tj. 100,0%.

Przy tych założeniach, z przeprowadzonej analizy ekonomicznej wynika, że:

- w zakładanym czasie (do roku 2016), niezależnie od wersji realizowanej inwestycji, nakłady poniesione **nie zwrócą się**, z powodu nieuzyskiwania nadwyżki przychodów nad kosztami,
- jedynym sposobem na zrównoważenie strumienia pieniężnego pozostaje dotowanie działalności Zakładu Odsalania.

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że wszystkie inwestycje są nieopłacalne finansowo, jednakże biorąc pod uwagę społeczne i ekologiczne aspekty, i z ekonomicznego punktu widzenia, można zarekomendować wersję 1 wariant V, jako tę, która charakteryzuje się najlepszymi wskaźnikami spośród zbadanych, najniższymi nakładami i drugą co do wysokości dotacją na dofinansowanie działalności [5].

7. PROPOZYCJA DOFINANSOWANIA DZIAŁALNOŚCI ZAKŁADU ODSALANIA Z PODWYŻSZONEJ AKCYZY NA SÓL

Jak już wspomniano jedynym sposobem na zrównoważenie deficytowej działalności Zakładu Odsalania jest jego dotowanie.

Jedną z możliwości dofinansowania proekologicznej działalności zakładów jest wprowadzenie podwyższonej akcyzy na produkty, powodując zmniejszenie ich negatywnego wpływu na środowisko. Do takich produktów zalicza się wyprodukowaną sól z zasolonych wód kopalnianych. Wyeliminowanie ze zrzutu do rzek tej soli polepsza stan środowiska wodnego. Ponieważ działalność Zakładu Odsalania jest deficytowa, wymaga on dofinansowania, aby zakład mógł istnieć i pracować w optymalnej zaproponowanej wersji; konieczne dofinansowanie wynosi około 12,8 mln zł/rok.

Zaproponowano, aby dotacja ta pochodziła ze **zwiększonej akcyzy** nałożonej na cały rynek soli w kraju i zwrotnie przekazywanej jednostce (np. do Zakładu Odsalania), w celu pokrycia strat w działalności operacyjnej, poprzez ujednolicenie i zwiększenie podatku akcyzowego (Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 19 grudnia 2001 roku (Dz.U. z 2001 nr 12) w sprawie podatku akcyzowego).

Z przeprowadzonych analiz ekonomicznych wynika, że:

- aby zrównoważyć stratę w ZO „Dębieńsko” (w przypadku wariantu optymalnego) w wysokości około 12,8 mln zł/rok, należałoby nałożyć zwiększoną akcyzę na produkowaną sól kamienną i warzoną, w wyniku czego cena jednej tony soli wzrosłaby o około 8,12 zł,
- dochód do budżetu państwa, z podwyższonej akcyzy, umożliwiłby dofinansowanie utylizacji zasolonych wód w Zakładzie Odsalania „Dębieńsko”,

umożliwiają ograniczenie zasolenia w Bierawce i Odrze o 40%. Byłaby to akcja na dofinansowanie działań proekologicznych – to jest produkcji soli z zasolonych wód kopalnianych, w celu ochrony rzek przed zasalaniem wodami kopalnianymi.

Zgodnie z przeprowadzonymi kalkulacjami zaproponowano, aby stawka podatku akcyzowego dla soli została podniesiona o około 2%.

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Rzeka Bierawka, mimo zaliczenia do III klasy czystości rzek, na całej długości prowadzi wody pozaklasowe zawierające wiele zanieczyszczeń. Największe przekroczenia wskaźników zanieczyszczeń spowodowane są przez zrzuty zasolonych wód z kopalń węgla kamiennego (wartości maksymalne chlorków i siarczanów przy ujściu do Odry osiągają 4 000 mg/dm³).
2. Zasolenie jest priorytetem jakości wód w rzece Bierawce na odcinku około 40 km (od ppk. poniżej Dębieńska – km 30,3), aż do ujścia do Odry (km 0). Na odcinku tym zaznacza się wpływ zasolonych wód z kopalń węgla kamiennego: „Dębieńsko” (w likwidacji), „Budryk”, „Szczygłowice” i „Knurów”.
3. Zrzut zasolonych wód kopalnianych z GSW S.A. powoduje w Bierawce przekroczenie chłonności w stosunku do zasolenia ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) o około 100%, przy przepływie średnioniskim (SNQ).
4. Chłonność Odry (w stosunku do zasolenia $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) po ujściu Bierawki, odprowadzającej zasolone wody z kopalń GSW S.A., przekroczona jest o około 23%, przy przepływie SNQ. Powyższe obliczenia znalazły potwierdzenie w wynikach monitoringu stanu zasolenia rzeki Bierawki i Odry, realizowanego przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach i Opolu.
5. Bez Zakładu Odsalania kopalnie GSW S.A. i kopalnia „Budryk” wprowadzałyby do rzeki Odry o około 35÷40% więcej ładunku chlorków i siarczanów, to jest łącznie około 280 t/d.
6. Działalność Zakładu Odsalania „Dębieńsko” w sposób zasadniczy ogranicza już zrzuty ładunku chlorków i siarczanów do Bierawki i ma zasadniczy wpływ na stan czystości wód w tej rzece.
7. Dalsze funkcjonowanie Zakładu Odsalania „Dębieńsko” jest celowe i uzasadnione ze względów ekologicznych i społeczno-ekonomicznych.
8. Za optymalne, ze względów ekonomicznych i wymagań ochrony środowiska, uważa się:
 - kontynuowanie i rozszerzenie zakresu stosowania metod górniczo-geologicznych ograniczających dopływ wód słonych (tzw. redukcja dopływów „u źródła”) w kopalniach GSW S.A. oraz kopalni „Budryk”,
 - odsalanie wszystkich solanek z kopalń „Knurów”, „Budryk”, „Szczygłowice” i „Dębieńsko” (w likwidacji) w zmodernizowanym Zakładzie Odsalania „Dębieńsko”, umożliwiającym dodatkowy odzysk soli z częściowej utylizacji ługów pokrzystalizacyjnych.

9. Zastosowanie innych przeanalizowanych opcji, takich jak: zatopienie kopalni „Dębieńsko”, likwidacja kopalń, zatłaczanie wód do górotworu wodami z kopalń „Knurów” i „Budryk”, przesył wód z kopalń rurociągiem do Odry (ochrona hydrotechniczna Bierawki) jest, ze względów technicznych, ekonomicznych i społecznych, niemożliwe do zastosowania lub nieefektywne.
10. Zakład odsalania wód pracujący jako oczyszczalnia ścieków kopalnianych, a za takie uważane są słone wody kopalniane, nie jest rentowny. Z tego względu podstawą jego działalności nie powinno być prawo handlowe.
11. Jedynym sposobem na pokrycie deficytowej działalności Zakładu Odsalania jest jej dofinansowanie. Można to zrealizować, na przykład nakładając na sól w kraju podwyższoną akcyzę o około 2%, która będzie przeznaczana na dofinansowanie działalności proekologicznej.
12. Utrzymanie Zakładu w ruchu i jego rozbudowa pozwoli na trwałą eliminację ładunku chlorków i siarczanów ze słonych wód kopalnianych (do maksymalnie 226 t/d, gdy mineralizacja wód utrzyma się na poziomie 65g/l. Spowoduje to poprawę czystości wód Bierawki pod względem zasolenia o około 40%, a zasolenie tej rzeki, przy ujściu do rzeki Odry, będzie się mieściło w granicach dopuszczalnych dla III klasy czystości rzek.
13. Rozbudowa Zakładu Odsalania Wód Kopalnianych „Dębieńsko” pozwoli na utrzymanie 430 miejsc pracy (w tym 250 wysoko wykwalifikowanych pracowników zatrudnionych przy eksploatacji instalacji odsalania oraz 180 pracowników Zakładu Energetycznego zaopatrującego Zakład Odsalania w energię), a co za tym idzie odprowadzanie podatków do budżetu państwa i budżetów lokalnych oraz zaniechanie wypłacania zasiłków dla bezrobotnych.

Literatura

1. Atlas posterunków wodowskazowych dla potrzeb Państwowego Monitoringu Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa, PIOŚ 1997.
2. Iskrzycki I., Klimek R., Owsiak A.: *Plan działalności Zakładu Odsalania „Dębieńsko” Spółka z o.o. na lata 2001–2002*. Czerwionka-Leszczyny, luty 2001.
3. Magdziorz A., Lach R.: *Zrzuty wód kopalnianych do wód powierzchniowych dorzeczy Odry i Wisły w województwie śląskim – Charakterystyka stanu i prognozy*. Dokumentacja GIG nr 42207441-344. Katowice 2001 (niepublikowana).
4. Magdziorz A., Lach R. i inni: *Analiza i selekcja lokalnego i państwowego monitoringu cieków powierzchniowych I, II i III rzędu z uwzględnieniem indywidualnego oddziaływania podmiotów gospodarczych na jakość wody*. Dokumentacja GIG nr 1530600-344. Katowice 2001 (niepublikowana).
5. Magdziorz A., Lach R., Seweryński J., Szuta A., Trząski L., Frolik A., Rogoż M. i inni: *Analiza kosztów i korzyści dla alternatywnych rozwiązań problemu zasolonych wód kopalnianych z Gliwickiej Spółki Węglowej – Raport Końcowy*. Dokumentacja Prochem – GIG. Warszawa 2001 (niepublikowana).
6. *Monitoring powierzchniowych wód płynących w województwie katowickim*. Katowice, OBiKŚ 1997–2001.
7. Program naprawczy w zakresie ograniczenia wpływu działalności kopalń z Gliwickiej Spółki Węglowej na środowisko (kopalnie „Knurów”, „Szczygłowice”, „Makoszowy”,

- „Bolesław Śmiały”, „Sośnica”) oraz Gliwickiej Grupy Kapitałowej – „Zakład Produkcji i Wzbogacania Miałów Węglowych Łaziska” Sp. z o.o. 2001 (niepublikowana).
8. Rogoż M., Frolik A., Bukowski P., Augustyniak I.: *Opracowanie eksperckie dotyczące koncepcji pompowania wody dołowej po zakończeniu likwidacji KWK „Dębieńsko” w aspekcie zagrożeń dla kopalń sąsiednich oraz funkcjonowania Zakładu Odsalania Wód Dołowych*. Dokumentacja GIG nr 41118150-122. Katowice 2000 (niepublikowana).
 9. Rogoż M., Posyłek E.: *Ocena oddziaływania na środowisko instalacji do zatłaczania wód słonych z kopalni „Knurów” do górotworu*. Katowice, GIG 1995 (niepublikowana).
 10. Rogoż M., Posyłek E., Kotyrba A.: *Wstępna ocena chłonności piaskowców karbońskich pod kątem możliwości wtłaczania w nie słonych wód kopalnianych na obszarze KWK „Budryk”*. Katowice, GIG 1993 (niepublikowana).
 11. Sektorowa ocena stanu środowiska w górnictwie węgla kamiennego – kontynuacja: Długofalowy plan przedsięwzięć proekologicznych w sektorze górnictwa węgla kamiennego zapewniający spełnienie wymagań ochrony środowiska przez spółki węglowe i samodzielne kopalnie do roku 2005. Dokumentacja GIG nr 31200121-340. Katowice 2002 (niepublikowana).
 12. Stan środowiska w województwie opolskim w roku 2000. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Opolu maj 2001.
 13. Zadania w zakresie ochrony środowiska KWK „Budryk” S.A. – na lata 2001–2007; 2001 (niepublikowana).

Recenzent: prof. dr hab. Jerzy Sablik

KRONIKA WYDARZEŃ –

POLSKIE FORUM NAUKI I TECHNOLOGII W LONDYNIE (POLISH SCIENCE AND TECHNOLOGY FORUM) 20 MAJA 2002 ROKU

W dniu 20 maja 2002 roku z inicjatywy Ambasady Polskiej w Wielkiej Brytanii, Komitet Badań Naukowych zorganizował w siedzibie brytyjskiego Ministerstwa Przemysłu i Handlu w Londynie „Polskie Forum Nauki i Technologii”. Delegacji polskiej przewodniczył Minister Nauki, Przewodniczący KBN prof. dr hab. inż. Michał Kleiber. Do udziału w Forum KBN zaprosił przedstawicieli instytucji naukowych, takich jak: Uniwersytet Warszawski, Politechnika Poznańska, Politechnika Gdańska, Centrum Wysokich Ciśnień PAN w Warszawie, Politechnika Świętokrzyska, Politechnika Warszawska, Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN w Warszawie, Instytut Chemii Bioorganicznej PAN w Warszawie, Międzynarodowy Instytut Biologii Molekularnej i Komórkowej UNESCO PAN w Warszawie, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie oraz Główny Instytut Górnictwa w Katowicach.

GIG reprezentowali prof. dr hab. inż. Józef Dubiński – Naczelny Dyrektor GIG oraz prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan – Przewodniczący Rady Naukowej GIG. W przeddzień właściwych obrad Forum odbyło się spotkanie dyskusyjne w Stowarzyszeniu Polskich Inżynierów i Techników w Wielkiej Brytanii (19.05.2002); rozpoczęło się ono od zwiedzania Muzeum – Instytutu im. Gen. W. Sikorskiego, następnie w Klubie Stowarzyszenia odbyło się spotkanie z zarządem i członkami, na którym poinformowano o historii i o obecnych celach działania Stowarzyszenia, z których najważniejszymi są: integracja polskiego środowiska technicznego w Wielkiej Brytanii i innych krajach oraz inicjowanie współpracy z krajowymi stowarzyszeniami inżynieryjno-technicznymi i polskimi organizacjami gospodarczymi.

W obszernym wystąpieniu Minister Nauki, Przewodniczący Komitetu Badań Naukowych prof. dr hab. inż. Michał Kleiber omówił aktualne problemy polityki naukowej w Polsce. Podkreślił ewolucyjną zmianę w kreowaniu tematów badań naukowych, z których najważniejszą jest przewidywane wprowadzenie zmian w zasadach opiniowania projektów badawczych poprzez kierowanie wybranych projektów do oceny przez zagranicznych specjalistów, pośród których mogą być także członkowie Stowarzyszenia. Projekty mogą być przygotowane zarówno w angielskiej, jak i polskiej wersji językowej. Celem tych zmian jest bardziej skuteczne wprowadzenie polskich instytucji naukowych do realizacji programów badawczych Unii Europejskiej. W dyskusji podkreślano chęć włączenia się Stowarzyszenia zarówno w plany KBN, jak i szerzej w zagadnienia gospodarcze w kraju.

W drugim dniu pobytu odbyło się w salach konferencyjnych Ministerstwa Przemysłu i Handlu (DTI), Forum Nauki Polskiej. Przewodniczyli, ze strony brytyjskiej, Minister Nauki Lord Sainsbury of Turville, ze strony polskiej, Minister Michał Kleiber (fot. 1). W pierwszej części wysłuchano referatu brytyjskiego dotyczącego



Fot. 1. Prezydium obrad Forum, od prawej: Minister Nauki i Innowacji Wielkiej Brytanii Lord Sainsbury of Turville, Allan Mayo przedstawiciel Ministerstwa Przemysłu i Handlu WB, Minister Nauki, Przewodniczący Komitetu Badań Naukowych RP prof. dr hab. inż. Michał Kleiber, ambasador RP w Wielkiej Brytanii dr Stanisław Komorowski, Dyrektor Departamentu Współpracy z Zagranicą KBN mgr Marek Kępka

aktualnych zadań badań naukowych w zintegrowanej Europie, ogłoszonego przez brytyjskiego Ministra Nauki, a następnie Minister Kleiber (fot. 2) i Dyrektor Departamentu Współpracy z Zagranicą KBN Marek Kępka przedstawili zagadnienia dotyczące badań naukowych w Polsce. Omówili szczegółowe dane statystyczne



Fot. 2. Minister Nauki, Przewodniczący Komitetu Badań Naukowych prof. dr hab. inż. Michał Kleiber wygłasza przemówienie na Forum

o nakładach na badania naukowe i, wspomniane już wyżej, zmiany w polityce naukowej. Ważnym elementem obydwu wystąpień była ocena dotychczasowego udziału Polski w programach badawczych UE, w tym zwłaszcza w programie EUREKA i V. Programie Ramowym. Stwierdzono, że obecnie, mimo początkowych trudności, Polska odnosi sukcesy (około 30% projektów jest akceptowanych), ale nadal zbyt mało polskich instytucji pełni funkcje koordynacyjno-kierownicze. KBN bardzo poważnie przygotowuje się do startu w VI. Programie Ramowym i w tym zakresie liczy na współpracę z brytyjskimi ośrodkami naukowymi.

Drugą część programu naukowego rozpoczęła się od wygłoszenia, przez przedstawiciela Uniwersytetu Warszawskiego, wykładu plenarnego na temat osiągnięć polskich uczonych w odkrywaniu układów planetarnych poza Układem Słonecznym oraz wystąpienia przedstawiciela British Petroleum, dotyczącego współpracy z Instytutem Dróg i Mostów w Warszawie, w zakresie opracowania i wdrożenia technologii produkcji mas bitumicznych do wykonywania ścieralnych nawierzchni dróg.

W drugiej części Forum odbyły się obrady w czterech sekcjach tematycznych:

- Information Society Technologies,
- Laser and optoelectronics technologies; new materials technologies (including nanotechnologies),
- Biotechnology and biomedicine,
- Environmental Protection.

Zgodnie z ustaleniami KBN GIG został zaproszony do udziału w czwartej sekcji tematycznej. W obradach sekcji wzięło udział około 50 osób. Strona polska przedstawiła 5 referatów:

1. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Prof. Marek Gromiec – o zanieczyszczeniach wód na obszarze Warmińsko-Mazurskim.
2. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie – dr inż. Joanna Kulczycka – Ocena czasu życia i jej zastosowanie w polskim przemyśle metali nieżelaznych; dr inż. Krzysztof Czajka – Program zarządzania odpadami – nowe wezwania dla polskich władz.
3. Główny Instytut Górnictwa – prof. J. Dubliński – Technologia oczyszczania wód dołowych z radu na przykładzie instalacji w KWK Piast; prof. A. Lipowczan – Laserowy czujnik wychylenia budowli na terenach eksploatacji górniczej.

Referaty wzbudziły duże zainteresowanie wśród uczestników, zadano wiele pytań dotyczących zarówno merytorycznych zagadnień badawczych, jak i możliwości aplikacyjnych (fot. 3). Dyskutowano także w kulisach.

Forum towarzyszyła sesja plakatowa oraz ciągłe multimedialne prezentacje tematyczne dotyczące instytucji uczestniczących w Forum (fot. 4). Na sesji posterowej przedstawiliśmy plakat na temat technologii oczyszczania wód z radu.

KBN wydał drukiem materiały zawierające informacje o polskich instytucjach naukowych uczestniczących w Forum oraz streszczenia omawianych zagadnień naukowych, a także oddzielne ulotki dotyczące wybranych tematów.



Fot. 3. Dyrektor Naczelny GIG prof. dr hab. inż. Józef Dubiński (stoi pierwszy z lewej) odpowiada na pytania w dyskusji, obok przewodnicząca obradom sekcji „Ochrona środowiska” dr inż. Joanna Kulczycka z Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie, siedzi – pierwszy od lewej – prof. dr hab. inż. Marek Gromiec z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie



Fot. 4. Obradom towarzyszyła ciągła prezentacja, na wielkowymiarowych ekranach plazmowych, polskich instytucji naukowych uczestniczących w obradach

Zarówno samą formę przygotowania FORUM, jak i merytoryczny udział delegacji GIG (fot. 5) można ocenić za udane i celowe, mimo pewnych uchybień w przygotowaniu materiałów drukowanych przez OPI – KBN w Warszawie.



Fot. 5. W przerwie obrad rozmawiają: od prawej: Naczelny Dyrektor GIG prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, Minister Nauki, Przewodniczący KBN prof. dr hab. inż. Michał Kleiber i prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan