

PRACE NAUKOWE GIG

GÓRNICTWO I ŚRODOWISKO MINING & ENVIRONMENT

RESEARCH
REPORTS

Quarterly

KWARTALNIK

2



GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA
CENTRAL MINING INSTITUTE

KATOWICE 2003

Rada Programowa: *prof. dr hab. inż. Jakub Siemek (przewodniczący), prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak, prof. dr hab. inż. Bernard Drzęźła, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, prof. dr hab. inż. Korneliusz Miksch, prof. dr hab. inż. Joanna Pinińska, prof. dr hab. inż. Janusz Roszkowski, prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś, 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 Rułka, 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

Nakład 100 egz.

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

ALEKSANDRA SARATOWICZ, ALINA REJMAN-BURZYŃSKA, JACEK BOBA wdrażanie regionalnego systemu zarządzania środowiskowego w powiecie tarnogórskim 5 The Experience Gained During Implementation of the Regional Environmental Management System in the Tarnowskie Góry Region	5
JERZY KORNOWSKI Estymacja energii emisji sejsmoakustycznej w ścianie na podstawie „energii umownej” rejestrowanej aparaturą ARES 19 Estimation of seismoacoustic energy in the longwall on a basis of "conventional energy" recorded by the ARED equipment	19
WITALIJ SKOROPACKI Modelowanie fizyczne toru przewodowego przy ocenie iskrobezpieczeństwa obwodów i systemów elektrycznych 33 Metallic Circuit Physical Modeling for Spark-Proof Safety Assessment of Electric Circuits	33
STANISŁAW CHALUPNIK, MAŁGORZATA WYSOCKA Wpływ odprowadzania wód radowych z kopalń na skażenie środowiska naturalnego 49 Influence of the discharge of radium-bearing waters from coal mines on the contamination of the natural environment	49
ANDRZEJ KROWIAK, DAMIAN GREŁA, KRYSZYNA NOWAKOWSKA Model ekonomiczny szacowania nakładów, kosztów i korzyści z zastosowania selektywnej zbiórki odpadów komunalnych 59 Economic model for assessment of outlays, costs and benefits arising from selective communal waste collection	59
HENRYK PASSIA Anemometria laserowa do stosowania w atmosferze wybuchowej 75 Laser anemometry in application for explosive atmosphere	75
Działalność biblioteki naukowej Głównego Instytutu Górnictwa 83 Activities of the Scientific Library of the Central Mining Institute	83

Aleksandra Saratowicz, Alina Rejman-Burzyńska, Jacek Boba

WDRAŻANIE REGIONALNEGO SYSTEMU ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKOWEGO W POWIECIE TARNOGÓRSKIM

Streszczenie

Zasada zrównoważonego rozwoju jest jedną z podstawowych zasad zapisanych w Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej. Przez zrównoważony rozwój rozumie się kompleksowe działania powodujące wzrost gospodarczy, przy jednoczesnym uwzględnieniu wymagań z zakresu ochrony środowiska. Istnieje wiele niesformalizowanych (np. Czystsza Produkcja), jak i sformalizowanych (ISO 14001, EMAS) systemów zarządzania środowiskowego, które służą do realizacji zasady zrównoważonego rozwoju. Wdrażanie systemów zarządzania środowiskowego w pojedynczych organizacjach stanowi bardzo ważny krok na drodze do zachowania lub poprawy stanu środowiska. Jednak dopiero wdrożenie zarządzania środowiskowego w skali regionalnej pozwala na pełne wykorzystanie atutów systemowego podejścia do zagadnień ochrony środowiska.

W artykule przedstawiono, opracowany w Krajowym Centrum Wdrożeń Czystszej Produkcji GIG, model regionalnego systemu zarządzania środowiskowego. Podstawę modelu systemu stanowią dwie sprzężone ze sobą procedury operacyjne. Procedury opracowano wykorzystując podstawowe zasady Czystszej Produkcji oraz wymagania i zalecenia wybranych norm ISO, dotyczących zarządzania środowiskowego (ISO 14001, ISO 14031).

Na podstawie opracowanego modelu, w ramach działalności statutowej GIG, wdrożono regionalny system zarządzania środowiskowego w powiecie oraz miastach i gminach powiatu tarnogórskiego w województwie śląskim. Proces wdrażania systemu obejmował serię interaktywnych modułów szkoleniowych, w których brali udział przedstawiciele powiatu oraz miast i gmin wchodzących w skład powiatu tarnogórskiego. Pomiędzy kolejnymi modułami szkoleniowymi, przedstawiciele powiatu oraz miast i gmin opracowywali sukcesywnie dokumenty systemu zarządzania środowiskowego. Opracowano, między innymi, takie elementy systemu, jak: wstępny przegląd środowiskowy, rejestr aspektów środowiskowych, polityka środowiskowa, zestawienie wskaźników środowiskowych, rejestr celów i zadań środowiskowych oraz program zarządzania środowiskowego. Funkcjonowanie regionalnego systemu zarządzania środowiskowego, zainicjowanego w powiecie tarnogórskim wiąże się z realizacją konkretnych zadań, ujętych w programie zarządzania środowiskowego. Efekty działalności środowiskowej w powiecie oraz miastach i gminach powiatu tarnogórskiego będą monitorowane przez Krajowe Centrum Wdrożeń Czystszej Produkcji GIG po roku, od chwili wdrożenia regionalnego systemu zarządzania środowiskowego.

Implementation of the Regional Environmental Management System in the Tarnowskie Góry Region

Summary

The principle of sustainable development is one of the basic notions mentioned in the Polish Constitution. The sustainable development stands for implementation of complex of procedures stimulating economic growth without compromising environmental safety requirements. There are formalized environmental management systems (ISO 14001, EMAS) as well as many not that formalized such as Cleaner Production.

Implementation of environmental management systems in separate organizations constitutes an important step towards improvement of environmental safety. However, the benefits of the system approach to environmental issues can be achieved in full only when an environmental management system is applied in a regional scale.

In this paper the regional model of environmental management system is presented, elaborated in the National Center for Implementation of Cleaner Production. The basis of the system is formed by two coupled operational procedures. These procedures were elaborated basing on key rules of Cleaner Production as well as on requirements and recommendations of some chosen ISO standards concerning environmental management (ISO 1401, 1431).

On the basis of that model an environmental management system was implemented in cities and communes of the Tarnowskie Góry region in the Silesia voivodeship. The implementation process involved a series of interactive training modules carried out for the representatives of the region, its cities and communes. The documents of the regional system were prepared by the participants after each training module. Among others the following elements of the system were elaborated: initial environmental survey, environmental aspects register, environmental policy, set of environmental indications, roster of environmental aims and tasks and environmental management program.

The regional environmental management system initiated in the Tarnowskie Góry region is being realized as a series of concrete tasks set out in the environmental management program. Twelve months after the full implementation of the system the results of environmental activity in the region and its communes will be checked by the National Center for Implementation of Cleaner Production.

1. WPROWADZENIE

W Polsce, od wielu lat, zagadnienia dotyczące ochrony środowiska na szczeblu państwowym i regionalnym są regulowane przez odpowiednie dokumenty. Już w obowiązującej od 1997 roku Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej istnieją zapisy dotyczące ochrony środowiska. Zgodnie z nimi Rzeczpospolita Polska zapewnia ochronę środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju. Ponadto, zostało ustalone, że ochrona środowiska jest obowiązkiem między innymi władz publicznych, które przez swą politykę powinny zapewnić bezpieczeństwo ekologiczne współczesnemu i przyszłym pokoleniom. Zapisy konstytucyjne stały się podstawą przygotowania nowej Polityki ekologicznej państwa. Jej celem jest stworzenie podstaw do opracowania i realizacji strategii zrównoważonego rozwoju kraju. W ramach działań związanych z szeroko pojętą ochroną środowiska powstają, dostosowane do tej Polityki, strategie i plany działania na wszystkich szczeblach administracji państwowej i terytorialnej. Jednym z ważnych zagadnień Polityki ekologicznej jest między innymi zalecenie doskonalenia struktur zarządzania środowiskowego na wszystkich szczeblach, administracji państwowej i samorządowej oraz promowanie zasad i systemów zarządzania środowiskowego [6].

Wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju powinno wiązać się z działaniami nie tylko na szczeblu państwowym, ale przede wszystkim wojewódzkim i samorządowym. Dzięki odpowiednim przepisom prawnym powstają warunki do rozwoju prośrodowiskowych systemów zarządzania, ukierunkowanych na systematyczne eliminowanie, a jeżeli nie jest to możliwe, na minimalizowanie niekorzystnych oddziaływań na środowisko i jego zasoby naturalne. Zalecane, a nawet nakazane, są działania zgodne z zasadami Czystszej Produkcji, która może być traktowana jako skuteczny, pod względem ekologicznym i ekonomicznym, niesformalizowany system zarządzania środowiskowego. Jej rozwinięciem jest system zarządzania środowiskowego zgodny z wymaganiami międzynarodowej normy ISO 14001. Działania zmierzające do wdrażania systemów zarządzania środowiskowego nie powinny być ograniczane tylko do poszczególnych dużych, średnich czy małych przedsiębiorstw, ale rozszerzone na inne organizacje. Ponadto powinny mieć zasięg regionalny.

Znowelizowana Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska, a następnie obowiązująca od 1 października 2001 roku „Prawo ochrony środowiska” [5] znacznie rozszerzyły zakres kompetencyjny organów administracji samorządowej, zajmujących się ochroną środowiska. Powszechne wprowadzenie zasady zrównoważonego rozwoju niesie ze sobą określone konsekwencje. Najważniejsza z nich oznacza, że obecnie zagadnienia ochrony środowiska należy rozpatrywać systemowo, w powiązaniu z działaniami politycznymi, społecznymi i gospodarczymi [5]. Dlatego też, uwzględniając powyższe oraz doświadczenia związane z wdrażaniem niesformalizowanych i sformalizowanych systemów zarządzania środowiskowego w wielu różnych organizacjach z terenu całego kraju, w Krajowym Centrum Wdrożeń Czystszej Produkcji GIG opracowano model regionalnego systemu zarządzania środowiskowego. Zasady zaproponowanego systemu wdrożono w pilotowym powiecie województwa śląskiego – w powiecie tarnogórskim.

1. REGIONALNY SYSTEM ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKOWEGO

1.1. Zapisy ustawy „Prawo ochrony środowiska” dotyczące programów ochrony środowiska

Ustawa „Prawo ochrony środowiska” nakłada na jednostki administracji lokalnej obowiązek opracowania programów ochrony środowiska. Mówią o tym następujące artykuły ustawy [5]:

Art. 14.

1. Polityka ekologiczna państwa, na podstawie aktualnego stanu środowiska, określa w szczególności:

- 1) cele ekologiczne,
 - 2) priorytety ekologiczne,
 - 3) rodzaj i harmonogram działań proekologicznych,
 - 4) środki niezbędne do osiągnięcia celów, w tym mechanizmy prawno-ekonomiczne i środki finansowe.
2. Politykę ekologiczną państwa przyjmuje się na 4 lata, z tym że przewidziane w niej działania w perspektywie obejmują kolejne 4 lata.

Art.17.

1. Zarząd województwa, powiatu i gminy, w celu realizacji Polityki ekologicznej Państwa, sporządza odpowiednio wojewódzkie, powiatowe i gminne programy ochrony środowiska, uwzględniając wymagania, o których mowa w art.14.
2. Projekty programów ochrony środowiska są opiniowane odpowiednio przez zarząd jednostki wyższego szczebla lub ministra właściwego do spraw środowiska.

Art.18.

1. Programy, o których mowa w art. 17. Ust. 1, uchwała odpowiednio sejmik województwa, rada powiatu albo rada gminy.
2. Z wykonania programów zarząd województwa, powiatu i gminy sporządza co 2 lata raporty, które przedstawia się odpowiednio sejmikowi województwa, radzie powiatu lub radzie gminy.

Ważne jest, aby istniał ścisły związek między powiatowymi i gminnymi oraz wojewódzkimi programami ochrony środowiska. Powinny być one od początku tworzone i realizowane w sposób systemowy, świadczący o świadomym dążeniu do stałego i konsekwentnego obniżania negatywnego wpływu na środowisko, wynikającego z działalności prowadzonej na terenach gmin i miast. Ułatwia to wdrożony w pilotowym powiecie województwa śląskiego – w powiecie tarnogórskim – lokalny system zarządzania środowiskowego. System wdrożono na podstawie modelu opracowanego w GIG – Krajowym Centrum Wdrożeń Czystszej Produkcji.

1.2. Model zintegrowanego systemu zarządzania środowiskowego w powiecie i gminach

W Głównym Instytucie Górnictwa w Krajowym Centrum Wdrożeń Czystszej Produkcji od wielu lat prowadzone są prace związane z szeroko pojętymi systemami zarządzania środowiskowego. Wdrożono niesformalizowany system zarządzania środowiskowego zgodny z zasadami Czystszej Produkcji w wielu organizacjach z terenu całego kraju. Doprowadzono do wdrożenia, w kilku organizacjach, sformalizowanego systemu zarządzania środowiskowego, zgodnego z wymaganiami normy ISO 14001. Opracowano strategię zrównoważonego rozwoju w byłym województwie nowosądeckim, program ekorozwoju dla Związku Komunalnego Gmin Bełchatowskich oraz program restrukturyzacji regionu częstochowskiego.

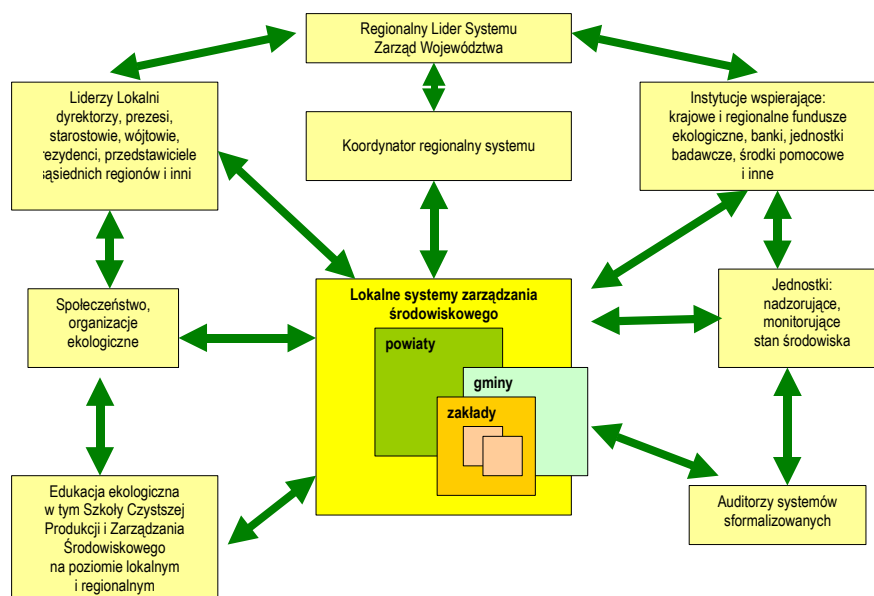
Doświadczenia te doprowadziły do stworzenia zasad i modelu systemu zarządzania środowiskowego w skali regionalnej. Podstawą koncepcji tego systemu jest funkcjonowanie lokalnych systemów zarządzania środowiskowego [2, 3, 9]. Ogólny schemat funkcjonowania regionalnego systemu przedstawia rysunek 1 [7].

W gminach i powiatach powinny funkcjonować lokalne systemy zarządzania środowiskowego jako integralne elementy regionalnego systemu zarządzania środowiskowego. Model lokalnego systemu zarządzania środowiskowego, który ma funkcjonować na zasadzie dobrowolności, stanowią dwie proste, wzajemnie powiązane procedury operacyjne:

Procedura 1: „Zarządzanie środowiskowe” – stanowiąca poszerzenie Procedury Minimalizacji Odpadów, która jest narzędziem wdrażania Czystszej Produkcji (wdrożonej już w Polsce przez GIG w około 80 różnych organizacjach), o najistotniejsze elementy normy PN-EN ISO 14001:1998 „Systemy zarządzania środowiskowego. Specyfikacja i wytyczne stosowania”.

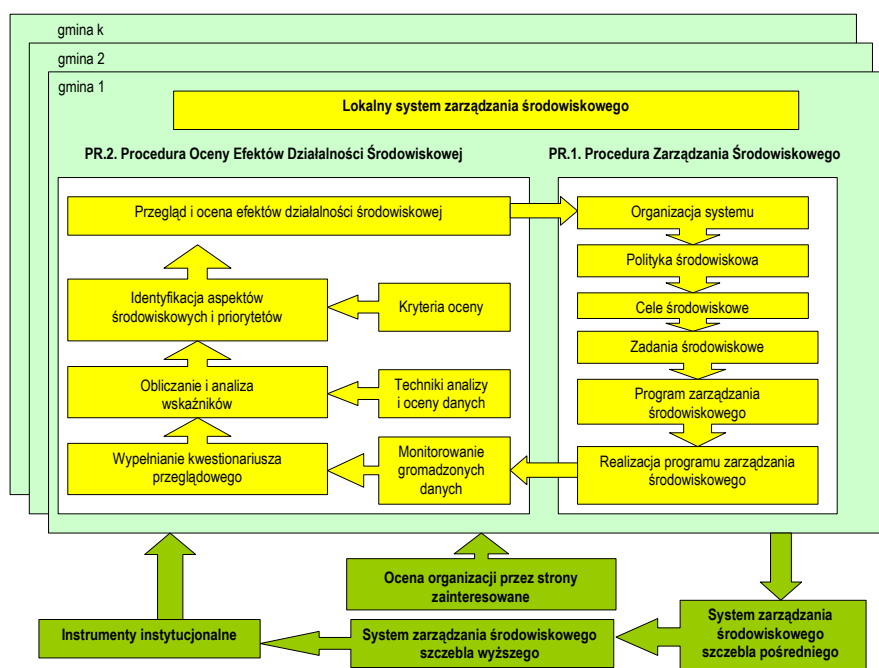
Procedura 2: „Ocena efektów działalności środowiskowej” – wykorzystująca wybrane zalecenia międzynarodowej normy EN ISO 14031:1999, „Zarządzanie środowiskowe. Ocena efektów działalności środowiskowej. Wytyczne”, normy PN-EN ISO 14001:1998 oraz zaproponowane narzędzia monitorowania, przeglądu i oceny wpływu organizacji (powiatu, gminy, przedsiębiorstwa) na środowisko z zastosowaniem jednolitych kryteriów i wskaźników oceny efektów działalności środowiskowej.

Model lokalnego wielopoziomowego systemu zarządzania środowiskowego proponowany do realizacji regionalnego systemu pokazano na rysunku 2 [9]. Funkcjonują w skali lokalnej lub regionalnej systemy zarządzania środowiskowego stanowi dobrą podstawę do opracowania gminnego, powiatowego lub wojewódzkiego programu ochrony środowiska.



Rys. 1. Ogólny schemat regionalnego systemu zarządzania środowiskowego w województwie

Fig. 1. General scheme of regional environmental management system



Rys. 2. Model wielopoziomowego systemu proponowany do realizacji regionalnego systemu zarządzania środowiskowego

Fig. 2. Multi-layer model proposed for regional environmental management system realization

2. CEL I ZAKRES WDROŻENIA LOKALNEGO SYSTEMU ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKOWEGO

Konieczność opracowywania programów ochrony środowiska przez jednostki administracji lokalnej wzbudziła zainteresowanie regionalnym systemem zarządzania środowiskowego w powiatach woj. śląskiego, w którym jako pilotowym, przedstawiono ogólne założenia proponowanego systemu. Były to powiaty: tarnogórski, cieszyński i lubliniecki. Pierwszym, w którym rozpoczęto działania zmierzające do wdrożenia lokalnego systemu zarządzania środowiskowego był powiat tarnogórski.

Celem wdrożenia lokalnego systemu zarządzania środowiskowego w powiecie i gminach jest doprowadzenie do opracowywania, w sposób systemowy, programów ochrony środowiska w poszczególnych jednostkach administracji lokalnej. Przygotowane systemowo i realizowane w sposób ciągły, spójne dla wszystkich szczebli samorządów lokalnych, programy ochrony środowiska stanowią element strategii i programów zrównoważonego rozwoju. Wdrożone lokalne systemy zarządzania środowiskowego są podstawą funkcjonowania regionalnych systemów zarządzania środowiskowego w województwach.

W ramach wdrożonego systemu dla każdej gminy, miasta i powiatu należało określić politykę środowiskową, ustalić cele i zadania środowiskowe oraz szczegółowe programy zarządzania środowiskowego. Proponowany system zapewnia:

- powiązania pomiędzy poszczególnymi szczeblami zarządzania,
- informacje o osiągniętych efektach działalności środowiskowej i możliwościach ich porównywania,
- możliwość kreowania zmian regionalnych i krajowych instrumentów instytucjonalnych: prawnych, finansowych i organizacyjnych, zachęcających do osiągania celów środowiskowych, przyjętych w strategiach rozwoju lokalnego i wojewódzkiego.

Wynikiem funkcjonowania regionalnego systemu zarządzania środowiskowego jest dążenie do stopniowego ograniczania obciążenia środowiska przez wszelkie źródła zanieczyszczeń w danym regionie. Wdrażanie lokalnego systemu zarządzania środowiskowego obejmowało działania dotyczące powiatu tarnogórskiego wraz z gminami wymienionymi w tablicy 1.

Tablica 1. Gminy powiatu tarnogórskiego uczestniczące we wdrażaniu lokalnego systemu zarządzania środowiskowego

Gmina (G)/miasto(M)	Liczba mieszkańców	Charakter gminy
Krupski Młyn (G)	3 700	wiejski
Ożarówice (G)	5 269	wiejski
Świerklaniec (G)	10 850	wiejski
Tworóg (G)	8 420	wiejski
Zbrośławice (G)	15 689	wiejski, rolniczy
Kalety (M)	8 900	turystyczny
Miasteczko Śląskie (M)	7 527	miejski
Radzionków (M)	17 421	przemysłowo-miejski
Tarnowskie Góry (M)	65 855	miejski, turystyczny

3. ZASTOSOWANA METODYKA

Wdrażając zaproponowany model lokalnego systemu zarządzania środowiskowego przyjęto metodykę polegającą na zorganizowaniu i przeprowadzeniu serii interaktywnych modułów szkoleniowych dla przedstawicieli powiatu oraz miast i gmin wchodzących w skład powiatu tarnogórskiego. Eksperci z Głównego Instytutu Górnictwa opracowali dokumenty i materiały szkoleniowe, wyszczególnione poniżej:

- harmonogram wdrażania lokalnego systemu zarządzania środowiskowego,
- wzór zarządzenia w sprawie wdrożenia w powiecie/gminie systemu zarządzania środowiskowego,
- wzór kwestionariusza przeglądowego, stanowiącego podstawę wstępnego przeglądu środowiskowego jednostki administracji lokalnej,
- zakres wstępnego przeglądu środowiskowego,
- procedury systemowe wraz ze wzorami odpowiednich formularzy.

Przeprowadzono:

- seminarium wprowadzające, dotyczące zasad funkcjonowania regionalnego systemu zarządzania środowiskowego,
- szkolenia dotyczące wdrażania kolejnych elementów systemu zarządzania środowiskowego,
- konsultacje związane z budową systemu i przygotowaniem dokumentów systemowych w poszczególnych gminach i miastach,
- weryfikację opracowanych dokumentów systemowych,
- seminarium podsumowujące wdrożenie systemu zarządzania środowiskowego.

Organizacja szkoleń przebiegała w ścisłej i owocnej współpracy z przedstawicielami Starostwa Powiatowego w Tarnowskich Górach. W niektórych modułach szkoleniowych wykłady prowadził również przedstawiciel Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach.

Cykliczne szkolenia odbywały się w formie wykładów oraz ćwiczeń interaktywnych, łączących szkolenie, ćwiczenia praktyczne oraz umiejętność zastosowania nabytych wiadomości do wdrożenia lokalnego systemu zarządzania środowiskowego. Każdorazowo, po wykładzie omawiającym kolejne elementy systemu zarządzania środowiskowego, przeprowadzano ćwiczenia interaktywne, mające na celu praktyczne utrwalenie informacji przekazanych w czasie szkolenia.

Po każdym szkoleniu przedstawiciele miast i gmin powiatu tarnogórskiego, pod kierunkiem ekspertów z GIG, opracowywali kolejne dokumenty systemowe. Przygotowane materiały były konsultowane i weryfikowane przez zespół ekspertów. Integralną częścią każdego szkolenia była prezentacja, opracowywanych w każdej gminie i mieście, kolejnych dokumentów systemowych. Prezentacja wiązała się z dyskusją wnoszącą uwagi do sposobu przygotowywania dokumentów i funkcjonowania wdrażanego systemu. Skuteczność funkcjonowania systemu wdrożonego w danej jednostce administracyjnej ma być oceniana przez przedstawicieli jednostki nadrzędnej.

4. DOŚWIADCZENIA Z WDRAŻANIA LOKALNEGO SYSTEMU ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKOWEGO I UZYSKANE EFEKTY

4.1. Decyzja o wdrożeniu systemu

Zainicjowanie wdrażania lokalnego systemu zarządzania środowiskowego w powiecie tarnogórskim i jego gminach/miastach wiązało się przede wszystkim z przekonaniem najwyższych władz administracji lokalnej do podjęcia decyzji o wdrożeniu systemu zarządzania środowiskowego według zaproponowanego modelu.

Na wstępie więc zorganizowano wprowadzające seminarium szkoleniowe dla reprezentantów władz lokalnych powiatu tarnogórskiego. W efekcie starosta powiatu oraz burmistrzowie i wójtowie miast i gmin zadeklarowali swój udział we wdrażaniu lokalnego systemu zarządzania środowiskowego.

Prace nad systemem rozpoczęto od działań związanych z fazą organizacji. Wydane zostały zarządzenia (odpowiednio: starosty, burmistrzów i wójtów) w sprawie wdrożenia w powiecie/gminie systemu zarządzania środowiskowego. Były one wyrazem poparcia najwyższego kierownictwa jednostki administracji lokalnej dla działań zmierzających do wdrożenia zaproponowanego systemu.

Powołani zostali Pełnomocnicy oraz Zespoły ds. systemu zarządzania środowiskowego, którym przydzielono stosowne zadania, związane z wdrożeniem i funkcjonowaniem lokalnego systemu zarządzania środowiskowego.

Pełnomocnikami zostały na ogół osoby reprezentujące w urzędach jednostki zajmujące się ochroną środowiska. Byli to: kierownicy referatów: Ocen i Kształtowania Środowiska, Gospodarki Gruntami i Ochrony Środowiska, naczelnicy wydziałów: Gospodarki Środowiskiem i Zasobami Naturalnymi, inspektorzy ds.: ochrony środowiska, komunalnych. W jednym z miast Pełnomocnikiem został zastępca Burmistrza, a w jednej z gmin zastępca Wójta. W skład zespołów ds. systemu zarządzania środowiskowego weszli naczelnicy lub przedstawiciele (inspektorzy) wydziałów: ochrony środowiska, architektury, gospodarki nieruchomościami, rolnictwa i leśnictwa, gospodarki komunalnej, inwestycji, gospodarki miejskiej, geodezji i gospodarki gruntami, inwestycji i remontów, infrastruktury gminnej, gospodarki mieszkaniowej.

Działalność wymienionych komórek organizacyjnych wiąże się z dostępem do informacji, na podstawie których można określić wpływ działalności prowadzonej na terenie gmin i miast na środowisko.

4.2. Opracowanie i wdrożenie systemu w cyklu szkoleń i konsultacji

Opracowanie dokumentów systemowych i wdrażanie systemu w gminach/powiecie odbyło się przy ścisłej współpracy Zespołów ds. systemu zarządzania środowiskowego z zespołem ekspertów GIG, którzy zaproponowali pracę w cyklu: szkolenie – praca w gminie – konsultacje.

Pełnomocnicy i członkowie zespołów ds. systemu zarządzania środowiskowego brali czynny udział w kolejnych szkoleniach i przygotowywaniu dokumentów systemowych. Uczestnicy szkoleń poznali podstawowe pojęcia dotyczące wdrażanego

systemu, zgodne z definicjami zawartymi w normie PN-EN ISO 14001 „Systemy zarządzania środowiskowego. Specyfikacja i wytyczne stosowania”.

Po każdym szkoleniu opracowywane były kolejne dokumenty systemu, a następnie przeprowadzane konsultacje z ekspertami. W wyniku szkoleń i konsultacji, zespoły wdrażające system w gminach i miastach opracowały, pod kierunkiem ekspertów GIG, dokumenty systemowe:

- Kwestionariusz przeglądowy
- Wstępny przegląd środowiskowy
- Rejestr aspektów środowiskowych
- Formularz oceny aspektów
- Polityka środowiskowa
- Zestawienie wskaźników środowiskowych
- Rejestr celów i zadań
- Program zarządzania środowiskowego.

4.3. Wstępny przegląd środowiskowy i aspekty środowiskowe

W celu ułatwienia gminom przeprowadzenia wstępnego przeglądu środowiskowego został sporządzony, przez ekspertów GIG, kwestionariusz przeglądowy stanowiący bazę informacyjną do opracowania wstępnego przeglądu środowiskowego poszczególnych gmin i miast. Analiza informacji zawartych w kwestionariuszu wykazała, że najwięcej dostępnych informacji wiąże się z gospodarką wodno-ściekową oraz z gospodarką odpadami, zwłaszcza komunalnymi, mniej z gospodarowaniem energią. Natomiast dane dotyczące zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, związane głównie z działalnością produkcyjną, są dla urzędów gmin i miast trudno lub wcale nieosiągalne. Mało jest również informacji związanych z emisją hałasu do środowiska.

Wyznaczone, w wyniku przeprowadzenia wstępnego przeglądu środowiskowego, znaczące aspekty środowiskowe związane z działalnością prowadzoną na terenie gmin i miast to głównie: wytwarzanie ścieków, wytwarzanie odpadów komunalnych oraz (szczególnie w miastach) niska emisja, emisja hałasu komunikacyjnego i wytwarzanie odpadów przemysłowych.

4.4. Polityka środowiskowa gminy

Opracowanie polityki środowiskowej gminy jest zadaniem skomplikowanym. Politykę środowiskową określa najwyższe kierownictwo gminy /powiatu i zawiera w niej zobowiązania do ciągłego doskonalenia oraz do spełniania odpowiednich wymagań, wynikających z przepisów prawnych dotyczących środowiska.

Podstawą do opracowania polityki środowiskowej gminy jest identyfikacja aspektów środowiskowych oraz określenie aspektów znaczących. W realiach funkcjonowania gminy identyfikacja wszystkich aspektów środowiskowych występujących na jej terenie napotyka na wiele trudności. O ile pozyskanie informacji odnoszących się do aspektów środowiskowych związanych z działalnością wszelkiego

rodzaju urzędów, placówek oświatowych oraz przedsiębiorstw gospodarki komunalnej nie nastrocza poważniejszych problemów, o tyle otrzymanie rzetelnych informacji od zakładów przemysłowych lub usługowych, znajdujących się na terenie gminy, jest trudne, a czasem wręcz niemożliwe.

Polityka środowiskowa opracowana bez uwzględnienia informacji dotyczących zakładów przemysłowych jest niewiarygodna i w praktyce mało przydatna dla gminy, szczególnie w przypadku gminy o charakterze przemysłowym, gdzie informacja dotycząca wpływów środowiskowych wynikających z funkcjonowania zakładów produkcyjnych jest szczególnie ważna.

Opracowanie polityki środowiskowej gminy, a w konsekwencji wdrożenie regionalnego systemu zarządzania środowiskowego w znacznym stopniu ułatwia certyfikowany system zarządzania środowiskowego zgodny z wymaganiami normy PN – EN ISO 14001:1998, istniejący w zakładach przemysłowych, działających na terenie gminy.

Polityka środowiskowa opracowana przez biorących udział w szkoleniach przedstawicieli miast i gmin powiatu tarnogórskiego w większości przypadków odpowiadała w pełni wymaganiom zawartym w normie PN–EN ISO 14001.

Prezentowane podczas szkoleń przykłady polityki środowiskowej odzwierciedlają charakter miasta lub gminy, określają znaczące aspekty środowiskowe, na które miasto lub gmina ma wpływ oraz zawierają kierunki działań podejmowanych w celu zmniejszenia ich negatywnego wpływu na środowisko. Polityka środowiskowa opracowana przez uczestników szkolenia zawiera również niezwykle ważne dla wdrażanego systemu zobowiązanie do zapobiegania powstawaniu zanieczyszczeń. Można sądzić, że polityka środowiskowa opracowana dla poszczególnych miast i gmin powiatu tarnogórskiego stanowić będzie w przyszłości podstawę do wdrożenia systemu zarządzania środowiskowego zgodnego z wymaganiami normy PN – EN ISO 14001.

4.5. Ustalenie celów środowiskowych i programu działania

Z zapisów zawartych w polityce środowiskowej wynikają cele środowiskowe. Przygotowane rejestry celów i zadań środowiskowych wykazują, że w gminach i miastach powiatu tarnogórskiego szczególny nacisk kładzie się na:

- zmniejszenie ilości odprowadzanych ścieków przez: zmniejszenie zużycia wody, zwiększenie ilości ścieków oczyszczonych,
- zmniejszenie ilości deponowanych odpadów, głównie przez selektywną zbiórkę i recykling, likwidację dzikich wysypisk,
- zmniejszenie emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych do powietrza przez: wymianę systemów ogrzewania na niskoemisyjne, termo-modernizację budynków,
- zmniejszenie emisji hałasu wynikającego głównie z ruchu samochodowego.

Z celami środowiskowymi wiążą się szczegółowe zadania. Poszczególnym zadaniom, których realizacja ma doprowadzić do osiągnięcia celu środowiskowego, przyporządkowano szacunkowe koszty i terminy realizacji.

Na podstawie rejestru celów i zadań środowiskowych przygotowane zostały programy zarządzania środowiskowego zawierające również, oprócz zapisanych celów i zadań środowiskowych, terminów ich realizacji i szacunkowych kosztów, nazwiska osób odpowiedzialnych za ich realizację oraz przewidywane efekty ekologiczne i ekonomiczne. Do programów wprowadzano również zadania dotyczące edukacji ekologicznej. Koszty realizacji zadań zawartych w programach zarządzania środowiskowego wymagają, w większości przypadków, dofinansowania zewnętrznego. Należy podkreślić, że w programach zarządzania środowiskowego, opracowanych dla poszczególnych gmin i miast ujęto tylko te zagadnienia, na które urzędy gmin i miast mają wpływ.

W czasie przeprowadzanych szkoleń i konsultacji zalecano, aby przy opracowywaniu programu zarządzania środowiskowego uwzględniać również dokumenty przyjęte na szczeblu regionalnym, takie jak: „Strategia rozwoju województwa śląskiego na lata 2000–2015”, „Program ochrony środowiska województwa śląskiego” oraz na szczeblu lokalnym – „Strategię powiatu”.

Ponadto, należy również brać pod uwagę dane, wnioski i analizy zawarte w: „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego”, dokumentach strategicznych, koncepcjach i programach związanych z ochroną środowiska na terenie gminy lub powiatu, na przykład przy opracowywaniu wprowadzanych do programu celów i zadań związanych z ochroną powietrza przydatne są zatwierdzone założenia do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną, paliwa gazowe [7].

Zgodność z tymi dokumentami istotna jest zarówno ze względu na zapis o opiniowaniu projektu programu przez zarządy jednostek wyższego szczebla, jak i ze względu na proces pozyskiwania środków zewnętrznych na zaplanowane w programie inwestycje. Cele programów lokalnych muszą być zgodne z celami ponadlokalnymi.

Informacje zawarte w dokumentach systemowych, opracowanych przez Zespoły ds. systemów zarządzania środowiskowego w poszczególnych jednostkach administracji lokalnej, zostały zweryfikowane przez ekspertów GIG.

Przy opracowywaniu dokumentów systemowych dotyczących powiatu przedstawiciele Starostwa Powiatowego korzystali między innymi z danych zawartych w dokumentach systemowych przygotowanych dla poszczególnych gmin i miast należących do powiatu.

4.6. Monitorowanie efektów realizacji programów zarządzania środowiskowego

Funkcjonowanie lokalnego systemu zarządzania środowiskowego wiąże się ściśle z koniecznością monitorowania efektów, wynikających z realizacji opracowanego rocznego programu zarządzania środowiskowego. Raz w roku wymagane jest przeprowadzenie takiego monitorowania. Na jego podstawie dokonywana jest okresowo ocena realizacji programu zarządzania środowiskowego oraz ocena efektów działalności środowiskowej z zastosowaniem między innymi zestawu wskaźników. Wskaźniki oceny efektów działalności środowiskowej powinny być takie same dla każdego szczebla zarządzania – powiatu czy gminy. Po roku funkcjonowania systemu w gminach przygotowane będą kolejne dokumenty, których wzory dołączono do

procedur systemowych i omówiono szczegółowo w czasie szkoleń. Są to następujące formularze:

- Ocena stanu realizacji programu zarządzania środowiskowego.
- Zestawienie wskaźników efektywności działalności środowiskowej gminy.
- Ocena efektów działalności środowiskowej.

Będą one podstawą do wprowadzania działań korygujących i doskonalenia wdrożonego systemu, jak również mogą wpłynąć na zmiany w polityce środowiskowej gminy czy powiatu.

Wynikiem funkcjonowania systemu jest dążenie do sukcesywnego zmniejszania szkodliwego oddziaływania na środowisko wszelkiej działalności odbywającej się na terenie każdej gminy. Samorządy nie są w stanie z własnych środków zrealizować zidentyfikowanych potrzeb inwestycyjnych wynikających z opracowanych programów ochrony środowiska. W większości przypadków zadania środowiskowe wymagają dofinansowania między innymi przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Zadania te, zawarte w programach ochrony środowiska przygotowanych w sposób systemowy, powinny być dofinansowywane w pierwszej kolejności.

5. PODSUMOWANIE

1. Wdrożenie lokalnego systemu zarządzania środowiskowego, stanowiącego element regionalnego systemu zarządzania środowiskowego, w pierwszym, pilotowym, powiecie województwa śląskiego – w powiecie tarnogórskim – jest efektem działań rozpoczętych w Krajowym Centrum Wdrożeń Czystszej Produkcji GIG w ramach realizacji „Programu Czystszej Produkcji w Polsce w 2000 r.” Zaproponowany system zarządzania środowiskowego, zgodny z normą ISO 14001 i zasadami Czystszej Produkcji, umożliwia jednostkom administracji lokalnej opracowanie programu zarządzania środowiskowego. Systemowe opracowywanie programów ochrony środowiska ułatwia przygotowanie stosownych dokumentów przy występowaniu o finansowanie działań i inwestycji proekologicznych. Wdrożony system pozwala na ciągłe, zaplanowane i kontrolowane zmniejszanie szkodliwego oddziaływania na środowisko, wynikającego z działalności prowadzonej na terenie gmin i miast powiatu tarnogórskiego – w zakresie tych aspektów środowiskowych, na które jednostka administracyjna ma wpływ i może je aktualnie nadzorować. Ostateczny sukces funkcjonowania zaproponowanego systemu uzależniony jest od zaangażowania wszystkich służb na wszystkich szczeblach w poszczególnych urzędach, a w szczególności najwyższego kierownictwa Starostwa Powiatowego oraz Urzędów Miast i Gmin.
2. Wdrażający system stwierdzili jednoznacznie, że podstawą sprawnego funkcjonowania lokalnych, a w konsekwencji regionalnych systemów zarządzania środowiskowego jest dostęp do informacji o wszelkiej działalności na terenie gmin i miast oraz sprawne ich przekazywanie. Gmina powinna mieć rzetelne i kompletne dane o działalności przedsiębiorstw i innych jednostek organizacyjnych, mających wpływ na stan środowiska na jej terenie. Pozwoli to na

prawidłowy rejestr, właściwą ocenę oraz możliwość zarządzania wszystkimi aspektami środowiskowymi związanymi z każdą działalnością gospodarczą i przemysłową prowadzoną na jej terenie. Sprawne funkcjonowanie systemu zarządzania środowiskowego w gminach wiąże się więc bezpośrednio z koniecznością rozwijania i ciągłego doskonalenia zarządzania informacją.

3. Konieczne jest rozpowszechnianie zaproponowanego, stosunkowo prostego, systemu zarządzania środowiskowego w pozostałych powiatach województwa, co umożliwi właściwe funkcjonowanie regionalnego systemu zarządzania środowiskowego. Ponadto, wdrożony w gminach i miastach powiatu tarnogórskiego uproszczony system zarządzania środowiskowego stanowi dobrą podstawę do wdrożenia w przyszłości systemu zgodnego z wymaganiami normy ISO 14001.

Literatura

1. Praca zbiorowa: *Szkolenia przedstawicieli samorządów szczebla gminnego, powiatowego, wojewódzkiego i kluczowych zakładów związane z wdrażaniem REMAS w pilotowym województwie śląskim. Program Czystszej Produkcji w Polsce w 2000 r.* Katowice, GIG 2000.
2. Praca zbiorowa: *Zarządzania środowiskowe w skali regionalnej.* Dokumentacja działalności statutowej GIG, wrzesień 2000.
3. Praca zbiorowa: *Wdrażanie regionalnego systemu zarządzania środowiskowego w pilotowym województwie wraz z analizą ekonomiczno-ekologiczną wdrażania nowoczesnych systemów gospodarki odpadami komunalnymi w gminach.* Dokumentacja działalności statutowej GIG, grudzień 2001.
4. Praca zbiorowa: *Szkolenia przedstawicieli samorządów szczebla gminnego, powiatowego, wojewódzkiego i kluczowych zakładów związane z wdrażaniem REMAS w pilotowym województwie śląskim.* Sprawozdanie dla WFOŚiGW w Katowicach, Katowice, GIG 2001.
5. Prawo ochrony środowiska. Dz. U. Nr 62, poz. 627 z 27.04.2001 r.
6. Rada Ministrów: *II Polityka Ekologiczna Państwa.* Warszawa, czerwiec 2000.
7. Skucha M.: *Programy ochrony środowiska i ich rola w rozwoju gmin i powiatów.* I Seminarium „Czysta i zielona energia – czyste powietrze w województwie śląskim” materiały seminaryjne, Katowice marzec 2002. Beskidzki Fundusz Ekorozwoju S.A. w Bielsku Białej, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze, Katowice, 2002.
8. Sokół W.A.: *Regionalny System Zarządzania Ochroną Środowiska (Regional Environmental Management System) – opis koncepcji.* Program Czystszej Produkcji w Polsce w 1998 r. Katowice, GIG 1999.
9. Sokół W.A.: *Zintegrowany system zarządzania środowiskowego powiatem i gminami ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki odpadami komunalnymi.* – opis projektu. Katowice, WFOŚiGW 2001.

Recenzent: mgr inż. Elżbieta Gruszka

Jerzy Kornowski

ESTYMACJA ENERGII EMISJI SEJSMOAKUSTYCZNEJ W ŚCIANIE NA PODSTAWIE „ENERGII UMOWNEJ” REJESTROWANEJ APARATURĄ ARES

Streszczenie

Energia emisji sejsmoakustycznej – wyrażona w tych samych fizycznych jednostkach (dżulach, J), w których wyrażana jest energia wstrząsów sejsmicznych – stanowi ważną część informacji wejściowej niezbędnej w metodach prognozy zagrożenia sejsmicznego w górnictwie. Stosowane aparatury sejsmoakustyczne zwykle umożliwiają tylko ocenę gęstości pola energii w otoczeniu czujnika (czyli tak zwanej „energii umownej”). W pracy przedstawiono kilka wariantów metody szacowania (czyli estymatorów), wyrażonej w dżulach (J) fizycznej energii zdarzeń sejsmoakustycznych o źródłach w rejonie czoła eksploatowanej ściany, na podstawie „energii umownej”, na przykład rejestrowanej przez popularną w polskim górnictwie sejsmoakustyczną aparaturę ARES – i zarekomendowano aktualnie najlepszy z tych sposobów. Opisane estymatory zależne są od przyjętych założeń (idealizujących górotwór i układ pomiarowy): dostarczając więcej i lepszej informacji wejściowej, oczekiwać można bardziej wiarygodnych wyników, lecz zdobycie tej dodatkowej lub lepszej informacji obciążone jest kosztami. Celowe jest więc zapewnienie użytkownikowi możliwości wyboru. Różnice między wynikami, które otrzymuje się stosując różne estymatory, mogą jednak być bardzo duże, warto więc i należy stosować te sposoby, które są najlepiej uzasadnione. Wprowadzono też podstawowe w sejsmoakustyce górniczej pojęcie pola (intensywności) emisji i pokazano, w jaki sposób zagadnienie estymacji energii emitowanej ze ściany wiąże się z zagadnieniem estymacji parametrów tego pola.

Estimation of seismoacoustic energy in the longwall on a basis of "conventional energy" recorded by the ARES equipment

Summary

Energy of acoustic emission (also called „seismoacoustics” or „microseismics”, abbreviated: AE) events, observed in constant (e.g. hourly) time intervals makes an important part of the input information used by some of our methods of seismic hazard prediction. To be useful, this energy should be aggregated with energies of seismic events (mining-induced tremors) – at the same space segment and time interval – so it must be expressed with the same physical units of energy (J). But AE observation systems measure only the density of wavefield energy nearby its sensors so, to estimate the energy of AE, a few estimators of AE energy emitted from a longwall face – given the so called „conventional energy” registered with popular in Polish coal mines AE-system ARES – have been discussed and the currently best and most realistic estimator has been recommended. The estimators depend on assumptions and on the input information – more or better information always costs, but can result in better estimates: as the estimated energy values can differ – for different estimators – strongly, the best, in theory, justified (and realistic) method is advised. The fundamental notion of emission field has been introduced and connection between the estimation of energy emitted from a longwall and a general task – of estimation of the emission field’s parameters – has been demonstrated.

1. WPROWADZENIE

W ciągu minionych kilku lat opublikowano wiele prac (np. Kornowski i Kurzeja 2000; Kornowski 2002; Kornowski i Kurzeja 2002; Surma i Kornowski 2002) dotyczących możliwości użytecznej prognozy całkowitej (czyli sejsmoakustycznej + sejsmicznej) energii emitowanej w postaci fal sejsmicznych z eksploatowanej ściany w kolejnych, jednakowych (np. godzinowych) przedziałach czasu. Równocześnie zaproponowano wykorzystanie tej informacji do prognozy zagrożenia sejsmicznego w obserwowanym obszarze.

Danymi wejściowymi w metodzie prognozy, opisywanej w tych publikacjach, są godzinowe wartości tej samej całkowitej energii. Zatem znając z obserwacji (np. o godz. 18⁰⁰) energię wyemitowaną w minionej godzinie (np. między godz. 17⁰⁰ a 18⁰⁰) – a także w godzinach wcześniejszych – prognozować można wartość średnią oraz wariancję rozkładu energii, która wyemitowana będzie w godzinie nadchodzącej (np. między godz. 18⁰⁰ a 19⁰⁰). W kolejnych godzinach prognoza jest obliczana ponownie w taki sam sposób.

Wykazano też (np. Surma i Kornowski, 2002), że – średnio w dłuższym czasie – wariancja błędu prognozy godzinowej energii nie jest mniejsza od wariancji błędu obserwacji, skąd wynika, że jeśli chce się otrzymywać użyteczne prognozy, to obserwacje energii powinny być tak dokładne jak to możliwe oraz, że określenie energii całkowitej ($E = E_w + E_{AE}$, gdzie E_w to energia wstrząsów, E_{AE} – energia impulsów w przedziale czasu Δt) wymaga, by energia wstrząsów E_w oraz impulsów sejsmoakustycznych E_{AE} były energiami fizycznymi wyrażonymi w tych samych jednostkach (dżulach, J).

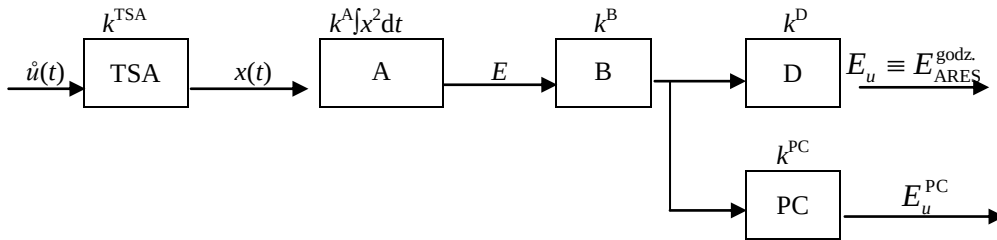
W praktyce, w polskich kopalniach, energia wstrząsów jest określana w dżulach i może być traktowana jako ocena energii fizycznej, natomiast energia impulsów sejsmoakustycznych, zwana „energią umowną”, nie może być bezpośrednio dodawana do energii wstrząsów. Nie można zatem bezpośrednio (dodając energie) tworzyć zbiorów danych niezbędnych do prognozy. W niniejszym opracowaniu opisano kilka przybliżonych wersji sposobów przekształcania (za pomocą funkcji korygującej $F(d, L, \alpha, \theta)$) godzinowych wartości – określanej przez sejsmoakustyczną aparaturę ARES – „energii umownej” w energię fizyczną, wyrażoną w dżulach. Umożliwi to tworzenie bazy informacyjnej do prognozowania energii i zagrożenia sejsmicznego (Surma i Kornowski, 2002). Wykazano, jak zagadnienie to wiąże się ze znacznie ogólniejszym – i zapewne ważniejszym – zagadnieniem estymacji (zmiennego w czasie i w przestrzeni) pola emisji. (Pole to opisywane jest funkcją $e = e(x, y)$, dwu zmiennych przestrzennych, definiującą intensywność e energii emitowanej przez źródła AE z tego obszaru). Pole emisji jest podstawowym pojęciem w sejsmoakustyce. Znaczenie pola emisji wynika między innymi z faktu, że może ono być interpretowane w kategoriach (także zmiennego w czasie i w przestrzeni) natężenia procesu niszczenia skały.

Skrótem AE (od ang.: acoustic emission) określana jest zarówno sejsmoakustyka, jak i emisja sejsmoakustyczna (a kontekst umożliwia rozróżnienie). Do obserwacji sejsmoakustycznych stosuje się czujniki często zwane geofonami. Pojęcia: impuls

(sejsmoakustyczny) i zdarzenie (sejsmoakustyczne) traktowane są jako synonimy i używane zamiennie. „Instrukcja”, oznacza zawsze pracę (Kornowski i inni 1996), zwykle w przemyśle nazywaną instrukcją stosowania metody sejsmoakustycznej. Przez energię AE, rozumieć należy – analogiczną do określonej w seismologii górniczej (np. Dubiński i Konopko 2000) energii wstrząsów – energię dalekiego pola fal, ekstrapolowaną do źródła lub źródeł, określaną na podstawie pomiaru gęstości energii (tego pola) w otoczeniu czujnika. W celu odróżnienia od energii umownej E_u , energię fizyczną oznacza się symbolem E_{AE} . Gęstość przestrzenną emitowanej energii (lub intensywność emisji) oznacza się małą literą e . Symbol e_g oznacza gęstość energii w otoczeniu czujnika, ogólnie jednak e jest funkcją zmiennych przestrzennych (np. $e(x)$).

2. SCHEMAT ZASTĘPCZY APARATURY ARES 3/4 DO POMIARU GĘSTOŚCI ENERGII

Badania, które w czerwcu 2002 r. przeprowadzili dr inż. A. Waśko i mgr H. Sołowski (GIG) na zlecenie kopalni „Wesoła” umożliwiają przedstawienie toru transmisyjnego TSA oraz aparatury ARES-3 (lub ARES-4) w uproszczony sposób (rys. 1).



Rys. 1. Schemat zastępczy aparatury ARES: TSA – tor transmisji sygnałów, A – właściwa aparatura ARES, B – program (w aparaturze ARES) uwzględniający deklarowane przez użytkownika wartości wzmocnienia toru i odległości czujnika od źródeł, D – program edycji wyników, PC – komputer, k – współczynnik liniowego wzmocnienia odpowiedniego bloku

Fig. 1. Simplified diagram of the ARES seismoacoustic system: TSA – signal transmission channel, A – the measurement system, B – interaction software, D – output editing software, PC – computer, k – linear amplification coefficient

W pokazanym schemacie (rys. 1) występują następujące wielkości i zależności:
 $\dot{u}(t)$ – prędkość drgań cząstek ośrodka,
 $x(t)$ – napięcie sygnału na wejściu konwertera A/C

$$x(t) = k^{\text{TSA}} \dot{u}(t) \quad (1)$$

k^{TSA} – „wzmocnienie” (dokładniej: moduł transmitancji) toru TSA

$$k^{\text{TSA}} = k_{\text{kier}}^{\text{G}} k_0^{\text{TSA}} \quad (2)$$

$$k_0^{\text{TSA}} = k^G k^N k^O k^{\text{OA}} \quad (3)$$

gdzie: $k_{\text{kier}}^G \equiv k_{\text{kier}}^G(\varphi)$ – charakterystyka kierunkowa czujnika, zależna od kąta φ między normalną do czoła fali a osią czujnika,
 $k^G, k^N, k^O, k^{\text{OA}}$ – „wzmocnienia” odpowiednio, czujnika, nadajnika, odbiornika oraz regulowanego wzmacniacza (OA) w odbiorniku.

Zgodnie z obowiązującą Instrukcją optymalna wartość wzmocnienia k_0^{TSA} wynosi

$$k_{\text{opt}}^{\text{TSA}} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Vs/m} \quad (4)$$

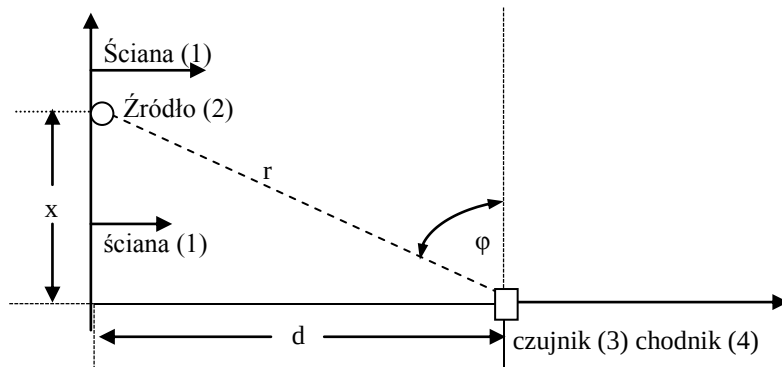
Wartość rzeczywista k_0^{TSA} jest w praktyce niemal zawsze różna od wartości optymalnej i aktualna, rzeczywista wartość wzmocnienia k_0^{TSA} (dla każdego toru TSA osobno) musi być zawsze znana (co najmniej inżynierowi elektronikowi). Można ją zawsze – niezależnie od wymiany elementów – łatwo obliczyć, znając numery fabryczne elementów aktualnie tworzących dany tor TSA i ich wzmocnienia określone w dokumentacji kalibracyjnej oraz biorąc pod uwagę aktualne położenie przełącznika w paneli OA. Ponadto

$$k_{\text{kier}}^G = 0,9(0,111 + |\cos \varphi|) \quad (5a)$$

$$k_{\text{kier}}^G = 0,9(0,111 + |x|/r) \quad (5b)$$

$$r = \sqrt{d^2 + x^2} \quad (5c)$$

gdzie r jest odległością źródło-czujnik i założona jest pokazana na rysunku 2 geometrią pomiaru, przy czym: d – odległość czujnika (w chodniku) od skrzyżowania, x – odległość źródła (w ścianie) od skrzyżowania; oś x pokrywa się z czołem ściany, skrzyżowanie jest w punkcie $P(0, 0)$, czujnik w $P(d, 0)$, źródło w $P(0, x)$.



Rys. 2. Geometria układu czujnik-źródło: skrzyżowanie znajduje się w punkcie $P(0, 0)$, czujnik w $P(d, 0)$, źródło w $P(0, x)$: 1 – ściana, 2 – źródło, 3 – czujnik, 4 – chodnik

Fig. 2. Geometry of sensor and (AE) source arrangement. Longwall/gallery crossing in $P(0, 0)$, sensor in $P(d, 0)$, AE – source in $P(0, x)$: 1 – longwall, 2 – AE source, 3 – sensor, 4 – gallery

Zakłada się, że zdecydowana większość źródeł znajduje się w pobliżu czoła ścian, co oznacza że źródła określone są współrzędnymi $P(0, x)$ ($0 \leq x \leq L$, gdzie L jest długością ściany). Założenie to jest oczywistą idealizacją, użyteczną gdy nie lokalizuje się źródeł.

W schemacie zastępczym aparatury (rys. 1) występują też dalsze zależności i związki

$$E = k^A (k^{TSA})^2 \int \dot{u}^2 dt \quad (6)$$

gdzie:

k^A – wzmocnienie właściwej aparatury ARES,

E – niewyskalowana gęstość energii pola falowego w otoczeniu czujnika.

Całkowanie, występujące w równaniu (6), faktycznie wykonywane jest numerycznie, w cyfrowej części aparatury ARES, dla każdego impulsu AE osobno.

$$E_u = E k^B k^D \quad (7a)$$

$$E_u = k^A k^B k^D (k^{TSA})^2 e_g \quad (7b)$$

$$e_g = \int \dot{u}^2 dt \quad (7c)$$

Wielkość e_g interpretuje się jako gęstość (intensywność) energii pola falowego w ośrodku znormalizowanym (gdzie $V = 1$ m/s, $\varsigma = 1$ kg/m³), określoną w otoczeniu czujnika, natomiast E_u to tak zwana „energia umowna”.

Wspomniane na początku rozdziału pomiary wskazują, że wartości liczbowe współczynników k^A i k^D mogą być różne dla każdego egzemplarza aparatury ARES, zatem muszą być określane pomiarowo (najlepiej przy okazji badań kalibracyjnych; laboratorium Sejsmoakustyki GIG dysponuje metodą pomiaru tych parametrów).

Parametr k^B narzucony jest Instrukcją i określony równaniem

$$k^B = \frac{d}{50 k^2} \quad (8)$$

gdzie d jest odległością czujnika od skrzyżowania i przybliżeniem (nieznanej bez lokalizacji źródeł) odległości czujnika od źródła (tzn. $d \approx r$). Przybliżenie to jest poprawne, gdy $x = 0$ (rys. 2). Odległość d czujnika od skrzyżowania zmienia się z każdym skrawem kombajnu i tak też powinna być aktualizowana. Współczynnik k w równaniu (8) jest to deklarowana przez obsługę Stacji wartość wzmocnienia toru TSA, k_o^{TSA} . Ponieważ k_o^{TSA} jest dużą liczbą (np. $2,5 \cdot 10^4$), w praktyce deklaruje się tę wartość po podzieleniu przez 10^4 (np. $k = 2,5$). Zatem gdy wzmocnienie to deklarowane jest rzetelnie, $k_o^{TSA}/k = 10^4$. Deklarować należy wzmocnienie rzeczywiste (podzielone przez 10^4) – określone na podstawie dokumentacji kalibracyjnej dla aktualnej konfiguracji toru TSA.

Wprowadźmy oznaczenia:

$$k^* = \left(\frac{k_o^{TSA}}{10^4 k} \right)^2 \quad (9a)$$

(dla poprawnie deklarowanej wartości k otrzymuje się $k^* = 1$, lecz każdy błąd w określeniu k podnoszony jest do kwadratu), a także

$$k_e^w = (k_{kier}^G)^2 k_e^v \quad (9b)$$

$$k_e^v = (k_o^{TSA})^2 k^A k^B k^D \quad (9c)$$

Równanie (7b) przyjmuje teraz postać

$$E_u = k_e^w e_g \quad (10a)$$

lub – pomijając wpływ charakterystyki kierunkowej

$$E_u \approx k_e^v e_g \quad (10b)$$

W kopalni „Wesoła” wyznaczono następujące wartości parametrów k^A i k^D :

- dla aparatury obsługującej ścianę 37: $k^A \approx 500$, $k^D = 1/7$,
- dla aparatury obsługującej ścianę 45: $k^A \approx 500$, $k^D = 1/12$.

3. OSZACOWANIE ENERGII AE EMITOWANEJ ZE ŹRÓDŁA PUNKTOWEGO

W rozdziale zostały przedstawione trzy (coraz bardziej złożone) estymatory energii E_{AE} emitowanej z punktowego źródła znajdującego się w znanej odległości r od czujnika, w pokładzie węgla o miąższości h , leżącym między powierzchniami odbijającymi – gdy aparatura ARES zarejestrowała (wydrukowała/wyświetliła) „energię umowną” E_u . Estymatory (oznaczone indeksami a, b, c) różnią się założeniami upraszczającymi, zatem i wymaganą na wejściu informacją. Kolejne estymatory (w kolejności: a, b, c) umożliwiają – co najmniej w teorii – coraz lepsze oszacowanie energii E_{AE} , lecz wymagają od użytkownika coraz bardziej szczegółowej informacji.

Dla uproszczenia dalszych obliczeń wprowadzono symbol

$$C_1 = \frac{k_e^v}{C_o \pi h v \varsigma} \quad (11)$$

gdzie:

h , ς , v – odpowiednio: miąższość pokładu, gęstość ośrodka i prędkość fal będących zasadniczym nośnikiem energii,

C_o – współczynnik wynikający z geometrii ośrodka:

$C_o = 2$ w pokładzie bez granic,

$C_o = 1$ w przypadku źródeł na ociosie.

Założono, że źródło i ośrodek w płaszczyźnie pokładu są izotropowe. Kolejne założenia i związane z nimi estymatory są następujące:

a) Pomija się absorpcję energii fal w pokładzie, charakterystykę kierunkową czujnika oraz obecność fal poprzecznych, natomiast zakłada się, że to fale bezpośrednie są

nośnikiem energii drgań (co umożliwia korzystanie z dobrze zdefiniowanej odległości r czujnika od źródła). Na podstawie równań (10b), (11) oraz znanych zależności (np. Kornowski, 2002, str. 75 równanie (3.4c)) wiążących energię pola fal z jej gęstością, można zapisać:

$$E_{AE}^a \approx r E_u / C_1 \quad (12a)$$

$$E_u \approx C_1 E_{AE}^a / r \quad (12b)$$

gdzie:

indeks „a” wskazuje przyjęte założenia,

E_{AE} – przybliżona wartość energii wyemitowanej ze źródła punkowego,

E_u – energia umowna zarejestrowana przez ARES.

b) Bierze się pod uwagę absorpcję energii w pokładzie. Pomija się kierunkowość czujnika oraz obecność fal poprzecznych i zakłada, że to fale bezpośrednie są nośnikiem energii. (Absorpcja określona jest współczynnikiem α [m^{-1}] tłumienia amplitudy)

$$E_{AE}^b \approx r e^{2\alpha r} E_u / C_1 \quad (13a)$$

$$E_u \approx C_1 e^{-2\alpha r} E_{AE}^b / r \quad (13b)$$

Wymagana jest teraz zarówno informacja o odległości r , jak i o wartości współczynnika tłumienia α (na podstawie wcześniejszych pomiarów). Wpływ absorpcji na ocenę energii jest bardzo znaczny, więc nie powinien być pomijany.

c) Bierze się pod uwagę i absorpcję energii i charakterystykę kierunkową czujnika. Pomija się występowanie fal poprzecznych i nadal zakłada, że to fale bezpośrednie są nośnikiem energii. Wówczas:

$$E_{AE}^c \approx r e^{2\alpha r} E_u / [C_1 (k_{kier}^G)^2] \quad (14a)$$

$$E_u \approx C_1 e^{-2\alpha r} (k_{kier}^G)^2 E_{AE}^c / r \quad (14b)$$

Wykorzystanie tego przybliżenia wymaga informacji o wartościach: odległości r , tłumienia α oraz kąta φ tworzonego przez kierunek przyjscia fal z osią czujnika.

Różnice między kolejnymi przybliżeniami (a, b, c) ilustruje następujący przykład:

Przyjmijmy, że $\alpha = 0,015 m^{-1}$, $r = 89,44 m$, $\cos \varphi = 0,848$, $h = 4 m$, $C_o = 1$, $k^A = 500$, $k^D = 1/7$, $k^* = 1$, $v_p = 1800 m/s$, $\varsigma = 1300 kg/m^3$. Wówczas $C_1 = 434,4$; $k_{kier}^G = 0,863$, skąd otrzymuje się:

$$E_{AE}^a = 0,206 E_u; \quad E_{AE}^b = E_{AE}^a e^{2\alpha r} = 3,01 E_u; \quad E_{AE}^c = E_{AE}^b / (k_{kier}^G)^2 = 4,04 E_u.$$

Występują więc poważne różnice między kolejnymi oszacowaniami i widać, że szczególnie istotne jest uwzględnienie wpływu absorpcji ($E_{AE}^b / E_{AE}^a \approx 15$). Powtórzyć należy, że równania (12a), (13a), (14a) służą do oszacowania energii E_{AE} emitowanej z punkowego źródła AE i rejestrowanej jednym czujnikiem aparatury ARES.

4. OCENA ENERGII AE EMITOWANEJ Z CZOŁA ŚCIANY

Omówione w poprzednim rozdziale estymatory energii ze źródła punktowego można uogólnić i wykorzystać, gdy obserwowana jest (w okresie Δt , np. godzinowym) energia emitowana – nie z punktu, lecz – z pewnego obszaru, na przykład z czoła ściany. Załóżmy, że czujnik znajduje się w odległości d od skrzyżowania (ściany z chodnikiem) i ocios ściany usytuowany jest na osi x tak, że $0 \leq x \leq L$ (gdzie L jest długością ściany). Przyjmijmy też, że w okresie Δt źródła emisji rozłożone są w przybliżeniu równomiernie wzdłuż czoła ściany, emitując w tym okresie (z odcinka o jednostkowej długości) średnią energię $\bar{E}_{AE}$ [J/m], która nie zależy od x : jest to założenie „stałej przestrzennej intensywności emisji” (założenie to można złagodzić przyjmując, że emitowana energia określona jest rozkładem $N(\bar{E}, \sigma_E^2)$, można też przyjąć rozkład inny (rozdz. 5)).

Pamiętając, że średnia energia $\bar{E}_{AE}$ nie zależy od x , wprowadźmy oznaczenia:

$$K_a(d, x) = r^{-1} \quad (15a)$$

$$K_b(d, x, \alpha) = r^{-1} \exp(-2\alpha r) \quad (15b)$$

$$K_c(d, x, \alpha) = r^{-1} [0,9(0,111 + |x|/r)]^2 \exp(-2\alpha r) \quad (15c)$$

Indeksy a, b, c wskazują odpowiednie założenia określone w rozdziale 3 i umożliwiają rozróżnienie kolejnych, coraz bardziej złożonych oszacowań. Wstawiając te oznaczenia, równania (12b), (13b) i (14b) zapisać można w postaci:

$$E_u \approx C_1 K_a(d, x) \bar{E}_{AE} \quad (16a)$$

$$E_u \approx C_1 K_b(d, x, \alpha) \bar{E}_{AE} \quad (16b)$$

$$E_u \approx C_1 K_c(d, x, \alpha) \bar{E}_{AE} \quad (16c)$$

W równaniach powyższych E_u nadal jest energią rejestrowaną (przez ARES) w przypadku emisji energii $\bar{E}_{AE}$ z punktu $P(d, x)$. Dopiero całkowanie po x , $0 \leq x \leq L$, prawej strony każdego z równań (16a, b, c) pamiętając, że $\bar{E}_{AE}$ nie zależy od x , daje – odpowiednie dla przyjętych założeń – przybliżenie energii rejestrowanej przez ARES w przypadku obserwacji całego czoła ściany. Jeżeli wprowadzimy oznaczenia:

$$I_a = \int_0^L K_a(d, x) dx \quad (17a)$$

$$I_b = \int_0^L K_b(d, x, \alpha) dx \quad (17b)$$

$$I_c = \int_0^L K_c(d, x, \alpha) dx \quad (17c)$$

to wstawiając je do równań (16a, b, c) otrzymamy równania (18a), (19a), (20a), określające E_u energię rejestrowaną przez ARES w przypadku obserwacji czoła ściany. Z równań tych wyliczyć można wartości $\bar{E}_{AE}$, średniej energii emitowanej (w okresie Δt obserwacji, na przykład w ciągu godziny) z jednostkowej długości („z metra”) ociosu, a następnie, mnożąc $\bar{E}_{AE}$ razy L , długość ociosu, otrzymać można energię (fizyczną) E_{AEL} emitowaną z całego ociosu:

$$E_u \approx C_1 \bar{E}_{AE} I_a \quad (18a)$$

$$E_{AEL}^a \approx L E_u / C_1 I_a \quad (18b)$$

$$E_u \approx C_1 \bar{E}_{AE} I_b \quad (19a)$$

$$E_{AEL}^b \approx L E_u / C_1 I_b \quad (19b)$$

$$E_u \approx C_1 \bar{E}_{AE} I_c \quad (20a)$$

$$E_{AEL}^c \approx L E_u / C_1 I_c \quad (20b)$$

Równania (18b), (19b) i (20b) stanowią poszukiwane, kolejne przybliżenia fizycznej (wyrażonej w džulach, J) energii AE emitowanej z czoła ściany o długości L , gdy aparatura służąca do obserwacji tej ściany (kanał TSA z jednym czujnikiem + system ARES) zarejestrowała „energię umowną” E_u . Występujące w tych równaniach całki są łatwe do obliczenia numerycznego (tylko całka (17a) jest obliczalna analitycznie). Ponieważ d , odległość czujnika od skrzyżowania, zmienia się z każdym skrawem kombajnu, nie istnieje żaden niezmienny przelicznik przekształcający E_u w E_{AEL} : wartość funkcji $F(d, L, \alpha, \theta)$, gdzie θ to wektor pozostałych parametrów opisujących górotwór i aparaturę – multiplikatywnie przekształcającej E_u w E_{AEL} – obliczać należy po każdym skrawie kombajnu (pamiętając, że I jest jedną z funkcji (17a, b, c)).

$$E_{AEL} = F(d, L, \alpha, \theta) E_u \quad (21a)$$

$$F(d, L, \alpha, \theta) = L / C_1 I \quad (21b)$$

Obliczenie wartości C_1 , (11), wymaga określenia parametrów k^* , k^A , k^D związanych z aparaturą ARES i jej obsługą (rozdz. 2), a także odległości d i miąższości h pokładu w rejonie obserwacji. Wykorzystanie estymatorów (19b) i (20b) wymaga określenia wartości średniej (w rejonie obserwacji) współczynnika tłumienia α .

Istnieje prosta i skuteczna metoda automatycznej estymacji wartości α , której opis wykracza jednak poza ramy tego artykułu (chroniona jest prawem autorskim).

By zilustrować zakres liczbowych wartości przyjmowanych przez **funkcję korygującą** $F(d, L, \alpha, \theta)$ – przekształcającą energię umowną w energię fizyczną – w tablicy 1 podano jej przykładowe wartości (dla trzech aproksymacji (a, b, c)) dla ściany o długości L wynoszącej 150 lub 200 m, gdy współczynnik tłumienia $\alpha = 0,012 \text{ m}^{-1}$ lub $0,014 \text{ m}^{-1}$ i dla odległości czujnika od skrzyżowania $d = 40, 75, 110 \text{ m}$. Założono też $C_0 = 1$, $h = 4 \text{ m}$ i poprawną ($k^* = 1$) deklarację wzmocnienia toru oraz wartości k^A i k^D określone dla aparatury służącej do obserwacji ściany 37 w kopalni „Wesoła”. Porównanie przedstawionych w tablicy 1 wyników wskazuje, że estymator a nieuwzględniający absorpcji energii falowej prowadzi do wyników zdecydowanie zaniżonych (w porównaniu z pozostałymi estymatorami) i to zaniżonych tym bardziej im większa jest odległość d czujnika od skrzyżowania. Dla $L = 200 \text{ m}$, $d = 110 \text{ m}$ i $\alpha = 0,014 \text{ m}^{-1}$, energia wyznaczona estymatorem a jest, zgodnie z tablicą 1, $(53,52/0,28 = 191,14)$ niemal dwustukrotnie mniejsza od energii wyznaczonej estymatorem c . Zatem, przystępując do estymacji energii fizycznej, nie należy korzystać z metod nadmiernie uproszczonych. Autor doradza więc stosowanie estymatora określonego równaniem (20b), jeżeli ściana obserwowana jest za pomocą jednego czujnika.

Tablica 1. Przykładowe wartości funkcji $F(d, L, \alpha) = L/c_1 I$ multiplikatywnie przekształcającej, zmierzoną aparaturą ARES, „energię umowną” E_u w energię fizyczną E_{AEL} ($E_{AEL} = F(d, L, \alpha)E_u$) wyrażoną w dżulach, dla trzech aproksymacji (a, b, c) w przypadku obserwacji ściany o długości L , czujnikiem w odległości d od skrzyżowania, gdy współczynnik tłumienia wynosi $\alpha \text{ [m}^{-1}\text{]}$ (skrót APR oznacza aproksymację)

d m	L m	α APR	0,012	0,014
40	150	a	0,38	0,38
		b	1,75	2,19
		c	4,54	5,99
	200	a	0,44	0,44
		b	2,31	2,90
		c	5,91	7,85
75	150	a	0,29	0,29
		b	2,90	4,16
		c	10,04	15,25
	200	a	0,32	0,32
		b	3,79	5,49
		c	12,77	19,61
110	150	a	0,25	0,25
		b	5,62	9,06
		c	25,52	40,10
	200	a	0,28	0,28
		b	7,20	12,08
		c	28,80	53,52

5. OBSERWACJA Z ZASTOSOWANIEM WIELU CZUJNIKÓW

Załóżmy, że ściana obserwowana jest z dwu chodników przyścianowych: z zastosowaniem czujnika G^0 z chodnika, którego oś leży na prostej $x = 0$ i czujnika G^L z chodnika, którego oś leży na prostej $x = L$, przy czym G^0 znajduje się w odległości d^0 , a G^L w odległości d^L od właściwego skrzyżowania (odtąd górne indeksy „0” i „L” określają czujnik). G^0 i G^L rejestrują zwykle różne wartości „energii umownej” ($E_u^0 \neq E_u^L$) i niecelowe jest – czynione poprzednio – założenie o równomiernym rozkładzie intensywności emisji. Dysponując, po każdym okresie Δt , dwoma obserwacjami (E_u^0 i E_u^L) dopuścić można (zamiast $\bar{E}_{AE} = \text{const}$) dwuparametrowy rozkład (gęstości (przestrzennej) emitowanej energii), na przykład

$$e(x) = \beta_0 + \beta_1 x, \quad 0 \leq x \leq L \quad (22)$$

z nieznanymi wartościami β_0 i β_1 . Pole emisji (czyli intensywność (gęstość) emisji energii) określa $e(x)$, a energia emitowana z tego pola określona jest całką

$$E_{AEL} = \int_0^L e(x) dx \quad (23)$$

By nie powtarzać równań różniących się tylko indeksami (a, b, c) przyjmijmy, że indeks dolny w postaci kropki • zastępuje dowolną (lecz ustaloną) z liter (a, b, c), wskazując estymator i zbiór założeń. Pomijając też będziemy zmienne występujące w funkcji K .

Wykorzystując równanie (22), równania (16a, b, c) zapisać można, dla dwu obserwacji E_u^0 i E_u^L , w postaci

$$E_u^0 = (\beta_0 + \beta_1 x) C_1^0 K_\bullet^0 \quad (24a)$$

$$E_u^L = (\beta_0 + \beta_1 x) C_1^L K_\bullet^L \quad (24b)$$

a równania (17a, b, c) w postaci

$$I_\bullet^0 = \int_0^L K_\bullet^0 dx \quad (25a)$$

$$I_\bullet^{0,1} = \int_0^L x K_\bullet^0 dx \quad (25b)$$

(i analogicznie definiuje się $I_\bullet^L$ oraz $I_\bullet^{L,1}$: ponieważ $d^0 \neq d^L$ to $I_\bullet^0 \neq I_\bullet^L, I_\bullet^{0,1} \neq I_\bullet^{L,1}$, $C_1^0 \neq C_1^L, K_\bullet^0 = K_\bullet^L$). Po wykonaniu (numerycznie!) całkowania, równania (24a, b) – pomijając zbędny już dolny indeks „u” – przyjmują postać

$$E^o = \beta_o C_1^o I_{\bullet}^o + \beta_1 C_1^o I_{\bullet}^{o,1} \quad (26a)$$

$$E^L = \beta_o C_1^L I_{\bullet}^L - \beta_1 C_1^L I_{\bullet}^{L,1} \quad (26b)$$

lub, w zapisie macierzowym

$$E = G\beta \quad (27a)$$

gdzie

$$E^T = [E^o, E^L] \quad (27b)$$

$$G = \begin{bmatrix} C_1^o I_{\bullet}^o & C_1^o I_{\bullet}^{o,1} \\ C_1^L I_{\bullet}^L & -C_1^L I_{\bullet}^{L,1} \end{bmatrix} \quad (27c)$$

$$\beta^T = [\beta_o, \beta_1] \quad (27d)$$

(w przypadku czujnika G^L , całkowanie odbywa się w granicach $(-L, 0)$ stąd „-” w równaniach (26b) i (27c)).

Rozwiązanie równania (27a-d), ze względu na β_o, β_1 , jest znane (dla dowolnej liczby czujników $N \geq 2$) i nie musi być omawiane. Po obliczeniu wartości β_o i β_1 całkowanie zgodnie z równaniem (23) daje poszukiwaną energię fizyczną (wyrażoną w dżulach), emitowaną z czoła ściany, gdy obserwacje prowadzi się za pomocą wielu czujników.

W praktyce duże błędy pomiarowe (spowodowane, na przykład niedoskonałością kontaktu czujnika z górotworem) sprawiają, że wyliczone wartości bywają sprzeczne z podstawowymi wymogami fizyki, co łatwo rozpoznać, gdyż **$e(x)$ jako (określona w punkcie x) lokalna intensywność energii, musi być nieujemna**. W przypadku modelu (22), po obliczeniu wartości β_o i β_1 wystarczy więc sprawdzić czy $e(0) \geq 0$ oraz $e(L) \geq 0$. Program komputerowy estymujący energię pola emisji musi zatem być zaopatrzony w odpowiednie zabezpieczenia. Jest oczywiste, że energię emitowaną w okresie Δt – z którego pochodziły pomiary E^o i E^L – oblicza się wykorzystując równania (23), (22) oraz wyliczone wartości parametrów β_o i β_1 . Dysponując wystarczającą liczbą czujników ($N \geq 2$) analizę powyższą uogólnić można następująco:

A. Zachowując model (22), równanie (27a, b, c, d) i jego minimalnokwadratowe rozwiązanie $[\beta = (G^T G)^{-1} G^T E]$ pozostaje poprawne dla dowolnej liczby czujników. Gdy wyniki są fizycznie możliwe (co sprawdza się, obliczając wartości $e(0)$ i $e(L)$), otrzymane (dla $N > 2$) rozwiązanie umożliwia też ocenę dokładności (wariancji) wyników. Naruszenie warunków fizycznych jest sygnałem znacznych błędów (pomiaru i/lub modelu) i powinno skłaniać do użycia bardziej dokładnych metod estymacji.

B. Gdy istnieje racjonalne uzasadnienie ($N \gg 3$ i wiadomo, że w ścianie występuje uskok lub wyraźny wpływ krawędzi) model (22) zastąpić można modelem trójparame-

trowym (np. $(\beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2)^{-1}$), aproksymując zarówno wyniki pomiarów „energii umownej”, jak i wpływ lokalnych osobliwości.

C. Nic, oprócz liczby czujników, nie ogranicza możliwości estymacji parametrów pola emisji opartego na segmencie płaszczyzny (d, x) pokładu. W najprostszym przypadku zaproponować można modele o postaci (na przykład)

$$e(d, x) = \bar{E}_{AE} e^{-\beta_1 d} \quad (28a)$$

lub
$$e(d, x) = (\beta_0 + \beta_1 x) e^{-\beta_2 d} \quad (28b)$$

Zawsze jednak – by wyniki były wiarygodne – liczba czujników musi być dużo większa od liczby estymowanych parametrów.

Ponieważ wyniki obserwacji („energii umownej”) otrzymywane są zwyczajowo w sejsmoakustyce górniczej co godzinę, a mogą być, gdy to potrzebne, otrzymywane częściej, możliwa staje się – prócz estymacji energii generowanej w polu emisji – estymacja i graficzna (np. na ekranie komputerowym) prezentacja przestrzennego i ewoluującego w miarę upływu czasu pola (intensywności) emisji. Pole to jest ściśle związane z polem prędkości niszczenia górotworu i może być interpretowane w kategoriach – zmiennego w czasie i w przestrzeni – zagrożenia sejsmicznego. Otwiera to nową i ciekawą perspektywę sejsmoakustyki górniczej. Praktyczna realizacja takiego estymatora pola emisji wymaga – jak się dziś wydaje – wydzielenia ośmiokanałowej jednostki ARES do obserwacji pojedynczej, silnie zagrożonej tapaniami ściany.

5. WNIOSKI

1. Przedstawiono szereg estymatorów umożliwiających oszacowanie emitowanej w ścianie (w przedziale czasu Δt) energii fizycznej E_{AE} (wyrażonej w dżulach, J) zdarzeń AE, na podstawie tak zwanej „energii umownej” E_u , rejestrowanej przez aparaturę ARES. Poprawnie obliczona energia fizyczna zdarzeń AE jest addytywna względem energii wstrząsów, co umożliwia tworzenie prognozowalnych szeregów czasowych energii.
2. Kolejne estymatory odpowiadają związanym z nimi zbiorom coraz bardziej realistycznych założeń, wymagają więc od użytkownika coraz więcej informacji wejściowej (i coraz bardziej złożonych obliczeń), potencjalnie prowadzą jednak do coraz lepszych wyników.
3. Estymator określony równaniem (20b) może być zalecany do stosowania w kopalniach wyposażonych w aparaturę ARES 3/4 w przypadku pomiaru jednym czujnikiem. W przypadku pomiaru wieloma czujnikami ten sam estymator (20b) umożliwia sporządzanie równania macierzowego (np. 27a, b, c, d) i estymację jego parametrów, co pozwala na estymację energii pola emisji na podstawie równania (23). Zastosowanie wymaga pomiaru parametrów aparatury k^A i k^D

i okresowych lub automatycznych pomiarów współczynnika tłumienia α w obserwowanej ścianie.

4. Obliczenia energii E_{AE} wykonywać musi odpowiedni program komputerowy (który może być dostarczony przez Laboratorium Sejsmoakustyki GIG), a jakość wyników zależy od jakości dostarczanych danych, w tym od czynników takich jak kontakt sondy geofonowej z górotworem czy poziom zakłóceń. Zawsze warto pamiętać, że jakość końcowych wyników (prognozy energii i oceny zagrożenia) jest nie lepsza od jakości danych, na podstawie których wyniki te zostały obliczone.
5. Wprowadzono – podstawowe w sejsmoakustyce górniczej – pojęcie pola (intensywności) emisji, zilustrowano sposoby jego parametryzacji i estymacji parametrów (demonstrując związek między szczególnym zadaniem estymacji energii pola emisji a ogólnym zadaniem estymacji parametrów tego pola) oraz zaproponowano wykorzystanie go do graficznej ilustracji zmiennego w czasie i w przestrzeni zagrożenia sejsmicznego.
6. Warunkiem zwiększenia użyteczności sejsmoakustyki górniczej jest obserwacja (najbardziej zagrożonych) ścian za pomocą właściwej sieci czujników. Zdaniem autora, rozwiązaniem godzącym koszt z użytecznością jest przeznaczanie jednej ośmiokanałowej jednostki ARES do obserwacji jednej (silnie zagrożonej) ściany.

Literatura

1. Dubiński J., Konopko W.: *Tapania: ocena, prognoza, zwalczanie*. Katowice, GIG 2000.
2. Kornowski J.: *Podstawy sejsmoakustycznej oceny i prognozy zagrożenia sejsmicznego w górnictwie*. Katowice, GIG 2002.
3. Kornowski J., Cianiara B., Sadlok R., Światłoch K., Trombik M., Zuberek W.: *Metoda sejsmoakustyczna oceny stanu zagrożenia tapaniami*. W: Zasady i zakres stosowania kompleksowej metody oceny stanu zagrożenia tapaniami, Główny Instytut Górnictwa, Seria Instrukcje, nr 1. Katowice, GIG 1996.
4. Kornowski J., Kurzeja J.: *Korelacja energii wstrząsów górniczych z emisją sejsmoakustyczną i ocena możliwości jej wykorzystania w matematycznych modelach prognozy*. Materiały XXIII Zimowej Szkoły Mechaniki Górotworu. Wrocław, Politechnika Wrocławska 2000.
5. Kornowski J., Kurzeja J.: *Metoda prognozowania zagrożenia sejsmicznego w górnictwie*. Przegląd Górniczy, 2002 Nr 12, s. 15–20.
6. Surma A., Kornowski J.: *Liniowa prognoza zagrożenia sejsmicznego na podstawie sejsmoakustycznych i seismologicznych obserwacji w rejonie ściany 37 w pokładzie 501 kopalni Wesoła*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 2002 Nr 12, s. 28–31.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Dubiński

Witalij Skoropacki

MODELOWANIE FIZYCZNE TORU PRZEWODOWEGO PRZY OCENIE ISKROBEZPIECZEŃSTWA OBWODÓW I SYSTEMÓW ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie

Jedną z metod określania poziomu iskrobezpieczeństwa obwodów i systemów elektrycznych zawierających tory przewodowe (linie długie) jest metoda polegająca na wykorzystaniu iskiernika. W celu właściwego przeprowadzenia badań za pomocą iskiernika należy posługiwać się prawidłowym modelem fizycznym toru przewodowego (macierzystego), w postaci kaskadowego połączenia pasywnych symetrycznych czwórników, typu „T”, „Π” i „X”, zbudowanych ze skupionych elementów R , L , C , których wartości są równe odpowiednim parametrom toru macierzystego. Czwórniki te najczęściej symulują odcinki toru macierzystego o znanych parametrach jednostkowych R_j , L_j , C_j i G_j .

Modelowanie toru przewodowego za pomocą pasywnych czwórników wymaga spełnienia dwóch kryteriów:

- sumaryczna wartość elektromagnetycznej energii zgromadzonej w elementach reaktancyjnych czwórników zastępczych powinna być adekwatna do wartości energii zgromadzonej w naturalnym torze przewodowym,
- charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe kaskady czwórników zastępczych i toru przewodowego powinny być zbieżne w wymaganym paśmie pulsacji, tak w stanie jałowym, jak i w stanie dopasowania falowego.

Określono podstawowe warunki zastępowania toru przewodowego minimalną liczbą pasywnych czwórników, przy zachowaniu adekwatnej zdolności gromadzenia i przekazywania energii elektrycznej do punktu komutacji awaryjnej. Ocena modelu fizycznego została dokonana na podstawie określenia zbieżności charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych kaskady czwórników zastępczych i odcinka toru przewodowego w stanie jałowym i w stanie dopasowania falowego. Ustalono, że zastępowanie jednostkowego odcinka toru przewodowego jednym czwórnikiem nie odwzorowuje parametrów falowych toru macierzystego kabla w stanie jałowym i dopasowania falowego, co jest konieczne w badaniach, za pomocą iskiernika, zapalności obwodu elektrycznego z torem przewodowym, ponieważ podczas wyładowania elektrycznego rezystancja kanału wyładowania zmienia się od 0 do ∞ (przy awaryjnym rozwarciu obwodu) lub od ∞ do 0 (przy awaryjnym zwarcie).

Zakres pulsacji, dla którego wymagana jest zbieżność charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych toru przewodowego i kaskady czwórników zastępczych powinien być określany dla każdego konkretnego przypadku z uwzględnieniem parametrów źródła zasilania, zabezpieczenia przeciwybuchowego i środowiska wybuchowego.

Metallic Circuit Physical Modeling for Spark-Proof Safety Assessment of Electric Circuits

Summary

One of the methods used for determination of spark-proof safety of electric systems including metallic circuits is based on the use of spark gap. An appropriate physical model of metallic circuit is indispensable for that purpose. Such model is built in the form of a cascade of two-terminal-pair networks of “T”, “Π” and “X” type, consisting of lump R , L , C elements and having parameters equal to

the respective parameters of the metallic circuit. Usually two-terminal-pair networks emulate sections of metallic circuit whose unitary parameters R_j , L_j , C_j and G_j are known.

The two following criteria should be met in order to secure a good emulation of metallic circuit by passive two-terminal-pair networks:

- sum of electromagnetic energy accumulated in elements of two-terminal-pair networks should be adequate to the value of energy accumulated in the natural metallic circuit,
- attenuation-frequency diagrams of the cascade of two-terminal-pair networks and the diagrams of metallic circuit should converge in the requested range of pulsation both in the idle state and in the state of impedance matching,

The essential conditions were determined for metallic circuit modeling by minimal number of two-terminal-pair networks with ability preserved for accumulation of electric energy and its transfer to the emergency commutation point. The assessment of physical model was carried out by determination of convergence of diagrams of a section of the metallic circuit and a cascade of two-terminal-pair networks both the idle state and in the state of impedance matching. It has been determined that the substitution of a single section of the metallic circuit by one two-terminal-pair network in spark gap testing does not represent adequately wave parameters of metallic circuit of the cable both in the idle or impedance matching states. It is so because the resistance of the discharge channel changes from 4 to 0 (in the case of emergency circuit opening) or from 0 to 4 (in the case of emergency shorting).

The pulsation range for which convergence is required of attenuation-frequency diagrams of a cascade of two-terminal-pair networks and diagrams of a metallic circuit should be determined in each particular case.

1. WSTĘP

Iskrobezpieczeństwo obwodów i systemów elektrycznych zależy od ich elementów, które mają zdolność gromadzenia energii. Energia może być zgromadzona w elementach reaktancyjnych oraz w klasycznych źródłach energii, na przykład w bateriach akumulatorowych. Energia zgromadzona w elementach obwodu elektrycznego może się zaktywizować jako źródło zapłonu gazu palnego, na przykład w postaci iskry, co może doprowadzić do wybuchu mieszaniny gazu z powietrzem. Jest rzeczą oczywistą, że zdolność gromadzenia energii elektromagnetycznej mają również pojemności i indukcyjności torów przewodowych, które jako medium propagacji sygnałów stanowią dominującą część kopalnianej sieci telekomunikacyjnej.

Jedną z metod określania poziomu bezpieczeństwa obwodów i systemów elektrycznych zawierających tory przewodowe (linie długie) jest *metoda obiektywna* [1, 2], polegająca na wykorzystaniu iskiernika. Dlatego w celu właściwego wykonywania badań za pomocą iskiernika należy dysponować prawidłowym modelem fizycznym toru przewodowego (macierzystego).

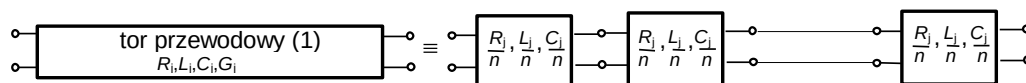
Modelowanie toru przewodowego za pomocą ogni (czwórników) zbudowanych ze skupionych elementów R , L , C , których wartości są równe odpowiednim parametrom toru macierzystego, jest szeroko stosowane w telekomunikacji, na przykład w celu zapewnienia niezbędnej wartości tłumienności niezerównoważenia dwukierunkowych wzmacniaczy dwuprzewodowych jednopasmowych kanałów transmisyjnych, w celu wyrównania poziomów odbiorczych systemów transmisyjnych, funkcjonujących w jednym wieloparowym kablu telekomunikacyjnym, w celu korekcji zniekształceń tłumieniowych itp. Czwórniki te najczęściej symulują odcinki toru macierzystego o znanych parametrach jednostkowych R_j , L_j , C_j , G_j .

Należy zauważyć, że do korekcji parametrów transmisyjnych torów przewodowych są również stosowane czworniki z regulowanymi charakterystykami transmisyjnymi, tzw. korektory regulowane, na przykład typu *Bode'a*, *Oswalda*, korektory uniwersalne kosinusoidalne i inne. Fizyczne modelowanie odcinka toru przewodowego za pomocą czwornika regulowanego pod względem oceny iskrobezpieczeństwa nie odzwierciedla naturalnego zjawiska gromadzenia energii i jej wyzwiania w punkcie wyładowania elektrycznego. Z tej przyczyny pod uwagę mogą być brane modele fizyczne toru przewodowego w postaci kaskadowego połączenia pasywnych czworników zbudowanych ze skupionych elementów R, L, C .

W niniejszym opracowaniu podano podstawowe warunki zastępowania toru przewodowego minimalną liczbę pasywnych czworników, przy zachowaniu adekwatnej zdolności gromadzenia i przekazywania energii elektrycznej do punktu komutacji awaryjnej.

2. WYBÓR KRYTERIUM OCENY MODELOWANIA FIZYCZNEGO TORU PRZEWODOWEGO

Modelowanie fizyczne toru przewodowego kabla telekomunikacyjnego jest wykonywane w celu weryfikacji parametrów funkcjonalnych i bezpieczeństwa systemów automatyki i telemechaniki, instalowanych w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Tor przewodowy z reguły jest zastępowany kaskadowym połączeniem pasywnych czworników zbudowanych ze skupionych elementów R, L, C (rys. 1).



Rys.1. Schemat blokowy zastępowania odcinka toru przewodowego (1) kaskadowym połączeniem czworników zbudowanych ze skupionych elementów R, L, C

Fig. 1. Block diagram illustrating substitution of a section of the metallic circuit (1) by the cascade of two-terminal-pair network consisting of lump R, L, C elements

Modelowanie można uznać za idealne, kiedy parametry falowe odcinka toru przewodowego i kaskady czworników zastępczych są równoważne, tzn. $e^{-\gamma(j\omega)} = g(j\omega)$ w zakresie pulsacji od 0 do ∞ (γ – tłumowność jednostkowa toru macierzystego, g – transmitancja czwornika zastępczego).

Oczywiście, jest to nieosiągalne za pomocą skończonej liczby ogniw w postaci czworników pasywnych.

Jednym z szeroko stosowanych kryteriów oceny matematycznej aproksymacji sygnałów jest błąd średni kwadratowy. Umożliwia on ocenę sumarycznego odchylenia częstotliwościowej charakterystyki czwornika zastępczego od charakterystyki odcinka toru przewodowego. Wadą tego kryterium jest, że nie pozwala ono ocenić dokładności modelowania fizycznego, kiedy odchylenie częstotliwościowej charakterystyki czwornika zastępczego od charakterystyki odcinka toru przewodowego nie przekracza

wartości dopuszczalnej w roboczym zakresie pulsacji ($0 \leq \omega \leq \omega_{gr}$) oraz ocenić wartości uchybu dla konkretnej pulsacji.

Tamowność jednostkową wyrażają parametry jednostkowe toru

$$\gamma(j\omega) = \sqrt{(R_j + j\omega L_j)(G_j + j\omega C_j)} = \alpha(\omega) + j\beta(\omega) \quad (1)$$

gdzie α, β – odpowiednio tłumienność i przesuwność jednostkowa toru przewodowego.

Transmitancja jednostkowa (jednokilometrowego) odcinka toru przewodowego $K_T(j\omega)$ w stanie jałowym wyraża się wzorem

$$K_T(j\omega) = \frac{1}{\cosh(\gamma)} = \frac{2}{e^{\gamma(j\omega)} + e^{-\gamma(j\omega)}} = \frac{2}{e^{\alpha(\omega) + j\beta(\omega)} + e^{-\alpha(\omega) - j\beta(\omega)}} \quad (2)$$

Część rzeczywista $K_T(j\omega)$

$$\operatorname{Re} K_T(j\omega) = \frac{2 \frac{e^{\alpha(\omega)} + e^{-\alpha(\omega)}}{2} \cos \beta(\omega)}{\frac{e^{\alpha(\omega)} + e^{-\alpha(\omega)}}{2} \cos^2 \beta(\omega) + \frac{e^{\alpha(\omega)} - e^{-\alpha(\omega)}}{2} \sin^2 \beta(\omega)} \quad (3)$$

Część urojona $K_T(j\omega)$

$$\operatorname{Im} K_T(j\omega) = \frac{2 \frac{e^{\alpha(\omega)} - e^{-\alpha(\omega)}}{2} \sin \beta(\omega)}{\frac{e^{\alpha(\omega)} + e^{-\alpha(\omega)}}{2} \cos^2 \beta(\omega) + \frac{e^{\alpha(\omega)} - e^{-\alpha(\omega)}}{2} \sin^2 \beta(\omega)} \quad (4)$$

W celu uproszczenia dalszych rozważań w wyrażeniu (1) można pominąć G_j . W rzeczywistości, rezystancja izolacji wynosi dziesiątki $M\Omega$, co uzasadnia przyjęcie takiego założenia, przy czym $G_j = 0$, tłumienność jednostkowa toru

$$\alpha(\omega) = \sqrt{0,5 \cdot [\sqrt{(R_j^2 + \omega^2 L_j^2) \omega^2 C_j^2} - \omega^2 L_j C_j]} \quad (5)$$

a przesuwność jednostkowa toru

$$\beta(\omega) = \sqrt{0,5 \cdot [\sqrt{(R_j^2 + \omega^2 L_j^2) \omega^2 C_j^2} + \omega^2 L_j C_j]} \quad (6)$$

Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa odcinka toru przewodowego w stanie jałowym jest równa

$$K_T(\omega) = \sqrt{[\operatorname{Re} K_T(j\omega)]^2 + [\operatorname{Im} K_T(j\omega)]^2} \quad (7)$$

Natomiast transmitancja jednostkowa (jednokilometrowego) odcinka toru przewodowego $K_T(j\omega)$ w stanie dopasowania falowego wyraża się wzorem [2]

$$K_T(j\omega) = e^{-\gamma(\omega)} = e^{-\alpha(\omega)} [\cos \beta(\omega) - j \sin \beta(\omega)] \quad (8)$$

Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa odcinka toru przewodowego w stanie dopasowania falowego jest równa

$$K_T(j\omega) = e^{-\alpha(\omega)} \quad (9)$$

Do praktycznej oceny dokładności zastępowania toru przewodowego modelem fizycznym, w paśmie roboczym pulsacji, może posłużyć równanie

$$K_T(\omega) = K_{cz}(\omega) \quad \omega \leq \omega_{gr} \quad (10)$$

gdzie $K_{cz}(\omega)$ – charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa modelu fizycznego, tzn. czwórnika zastępczego (ewentualnie kaskady z czwórników).

Równanie (10) powinno być spełnione tak w stanie dopasowania falowego, jak i w stanie jałowym.

Stopień zbieżności charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych czwórnika zastępczego i odcinka toru przewodowego kabla telekomunikacyjnego można wyrazić wzorem

$$\eta(\omega) = \frac{|K_T(\omega) - K_{cz}(\omega)|}{K_T(\omega)} \cdot 100\% \quad (11)$$

3. OKREŚLENIE ZAKRESU CZĘSTOTLIWOŚCI PRZY MODELOWANIU TORU PRZEWODOWEGO ZA POMOCĄ KASKADOWEGO POŁĄCZENIA PASYWNYCH CZWÓRNIKÓW ZBUDOWANYCH ZE SKUPIONYCH ELEMENTÓW R, L, C

Bilans energii traconej przy wyładowaniu elektrycznym można w przypadku ogólnym wyrazić za pomocą wzoru [3]

$$W_{\min} = W_B + W_K + W_T \quad (12)$$

gdzie:

- $W_{\min}$ – minimalna energia zapalenia mieszaniny wybuchowej,
- W_B – bezwzględna wartość energii zapalenia, która powinna być dostarczona z obwodu elektrycznego do punktu wyładowania,
- W_K – energia tracona na nagrzewanie kontaktów,
- W_T – energia zużyta na inne straty cieplne.

Zapalenie mieszaniny wybuchowej podczas komutacji obwodu elektrycznego następuje przy spełnieniu następujących warunków:

- źródło energii (obwód elektryczny, źródło zasilania) powinno mieć zapas energii elektrycznej o wartości większej od energii zapalenia mieszaniny wybuchowej,

- źródło energii elektrycznej powinno również mieć określoną moc w celu zapewnienia niezbędnej szybkości przetwarzania energii elektrycznej w energię cieplną,
- moc przetwornika energii elektrycznej w energię cieplną powinna być dostateczna do spełnienia nierówności

$$W_C > cm_0 T_0 \quad (13)$$

gdzie:

- W_C – energia źródła ciepła,
- c – pojemność mieszaniny wybuchowej,
- T_0 – temperatura zapłonu mieszaniny wybuchowej,
- m_0 – objętość jednostkowa mieszaniny wybuchowej.

Do zapalenia mieszaniny wymagane jest, aby $W_C \geq W_B$. Zatem moc przetwornika energii elektrycznej (punkt wyładowania) P_C powinna być dostateczna dla spełnienia nierówności

$$\int_0^{\tau_w} P_C(t) dt > W_B \quad (14)$$

gdzie τ_w – czas trwania wyładowania elektrycznego, dla którego temperatura objętości jednostkowej mieszaniny wybuchowej zdąży osiągnąć wartości T_0 .

W przypadku zwierania zacisków wyjściowych źródła zasilania w otoczeniu mieszaniny wybuchowej, dla zapobiegania możliwości jej zapalenia, powinna być spełniona nierówność

$$\int_0^{\tau_w} \left(\frac{U_\infty}{R_w + R_o} \right)^2 R_o dt < W_B \quad (15)$$

gdzie

- R_w – rezystancja wewnętrzna źródła zasilania,
- R_o – rezystancja obciążenia,
- U_∞ – napięcie na wyjściu nieobciążonego źródła zasilania.

Biorąc pod uwagę najbardziej niekorzystny, pod względem możliwości zapalenia mieszaniny wybuchowej, przypadek założmy, że rezystancja kanału wyładowania jest równa rezystancji wewnętrznej źródła zasilania, tj. $R_o = R_w$. Wtedy można zapisać

$$\frac{U_\infty^2}{4R_w} \tau_w < W_B \quad (16)$$

Jeżeli pomiędzy źródłem zasilania a punktem komutacji awaryjnej umieści się wirtualny filtr dolnoprzepustowy bez strat, to w przypadku kiedy $\tau_w \geq 1/\Delta F$

(ΔF – szerokość pasma przepuszczania filtra) proces transformacji energii elektrycznej w energię cieplną w punkcie komutacji awaryjnej nie będzie zakłócony. Z powyższego wynika, że przy zastępowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego za pomocą jednego pasywnego czwórnika lub kaskady czwórników powinna być spełniona nierówność $\Delta F_{cz} > 1/2\tau_w$ (ΔF_{cz} – pasmo przepuszczania modelu zastępczego w postaci pasywnego czwórnika lub kaskady czwórników). Jednocześnie moc maksymalna P_{max} , która może być wydzielona w kanale wyładowania elektrycznego jest równa $P_{max} = U_{\infty}^2 / 4R_w$. Energia tracona na obciążeniu jest równa $W_o = P_{max} t$. W celu uniemożliwienia zapalenia mieszaniny powinna być spełniona nierówność $W_o < W_{min}$. A więc, przy zastępowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego za pomocą jednego pasywnego czwórnika lub kaskady czwórników powinna być spełniona nierówność

$$\Delta F_{cz} \geq \frac{U_{\infty}^2}{2W_{min} R_w} \quad (17)$$

Wymagane wartości pasma przepuszczania ΔF_{cz} modelu fizycznego zastępującego macierzysty tor przewodowy w zależności od parametrów źródła zasilania i otoczenia wybuchowego przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Wartości pasma przepuszczania modelu fizycznego zastępującego macierzysty tor przewodowy w zależności od parametrów źródła i otoczenia wybuchowego

			Wymagane pasmo przepuszczania ΔF_{cz} , kHz											
			Napięcie na wyjściu nieobciążonego źródła zasilania U_{∞} , V											
			5 V	10 V	15 V	20 V	25 V	30 V	35 V	40 V	45 V	50 V	55 V	60 V
$W_{min}=0,018$ mJ	R_w	0,1 Ω	6,94	27,8	62,5	111,1	173,6	250,0	340,3	444,4	562,5	694,4	840,3	1000
		0,5 Ω	1,39	5,55	12,4	22,2	34,7	50,0	68,1	88,9	112,5	138,9	168,1	200,0
		1 Ω	0,69	2,77	6,25	11,1	17,4	25,0	34,0	44,4	56,2	69,4	84,0	100,0
		2 Ω	0,35	1,39	3,12	5,56	8,68	12,5	17,1	22,2	28,1	34,7	42,1	50,0
		4 Ω	0,17	0,694	1,56	2,78	4,34	6,25	8,50	11,1	14,1	17,4	21,1	25,0
$W_{min}=0,28$ mJ	R_w	0,1 Ω	0,45	1,78	4,01	7,14	11,2	16,1	21,9	28,6	36,2	44,6	54,0	64,3
		0,5 Ω	0,09	0,36	0,80	1,43	2,23	3,21	4,37	5,71	7,23	8,29	10,8	12,9
		1 Ω	0,04	0,18	0,40	0,71	1,12	1,61	2,19	2,86	3,62	4,46	5,40	6,43
		2 Ω	0,02	0,09	0,20	0,36	0,56	0,80	1,09	1,42	1,81	2,23	1,70	3,22
		4 Ω	0,01	0,04	0,10	0,18	0,28	0,40	0,55	0,71	0,91	1,12	1,35	1,61

Źródło zasilania (np. sucha bateria lub akumulator) z reguły jest zabezpieczone rezystorem, ograniczającym prąd zwarcia tego źródła. Z kolei na wyjściu źródła zasilającego elektryczny obwód iskrobezpieczny jest włączona bariera ochronna, mająca rezystor ograniczający, w przypadku liniowej charakterystyki wyjściowej lub

pomiarowy, w przypadku nieliniowej charakterystyki wyjściowej. Wymienione rezystory mogą być rozpatrywane jako rezystancja wewnętrzna źródła zasilania.

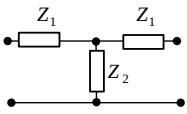
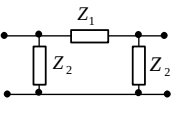
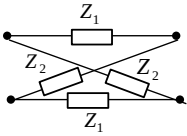
Wymagane pasmo przepuszczania modelu fizycznego zastępującego macierzysty tor przewodowy powinno być określone dla każdego konkretnego przypadku z uwzględnieniem parametrów źródła zasilania, zabezpieczenia przeciwwybuchowego i środowiska wybuchowego.

Przy badaniach zapalności za pomocą iskiernika w atmosferze metanowej obwodu elektrycznego zawierającego tor przewodowy w praktyce, w większości przypadków, pasmo przepuszczania modelu fizycznego powinno odpowiadać zakresowi pulsacji $0 \div 20 \cdot 10^3$ Hz.

4. MODELOWANIE FIZYCZNE TORU PRZEWODOWEGO

Modelowanie fizyczne toru macierzystego kabla telekomunikacyjnego będziemy realizować w postaci łańcuchowego połączenia pasywnych symetrycznych czwórników typu „T”, „Π” lub „X” w zakresie pulsacji $0 \div 500 \cdot 10^3$ Hz. W tablicy 2 przedstawiono schematy podstawowych czwórników zastępczych i wzory do ich transmitancji w stanie jałowym i dopasowania falowego.

Tablica 2. Schematy podstawowych czwórników zastępczych

Schemat czwórnika zastępczego	Transmitancja w stanie jałowym	Transmitancja w stanie dopasowania falowego	Impedancja Z
	$K_{cz_T}(p) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$	$K_{cz_T}(p) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + \sqrt{2Z_1Z_2 + Z_1^2}}$	$Z_1 = \frac{R + pL}{2n}$ $Z_2 = \frac{n}{pC}$
	$K_{cz_{\Pi}}(p) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$	$K_{cz_{\Pi}}(p) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + \sqrt{Z_1Z_2 + 2Z_1^2}}$	$Z_1 = \frac{R + pL}{n}$ $Z_2 = \frac{2n}{pC}$
	$K_{cz_X}(p) = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$	$K_{cz_X}(p) = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2 + 2\sqrt{Z_1Z_2}}$	$Z_1 = \frac{R + pL}{2n}$ $Z_2 = \frac{2n}{pC}$

Transmitancją napięciową czwórnika [4], obciążonego impedancją Z_o i zasilanego od źródła napięciowego, wyrażoną za pomocą parametrów macierzy $[A]$ określa się wzorem

$$K_{cz}(p) = \frac{Z_o}{A_{11}Z_o + A_{12}} \quad (15)$$

W stanie jałowym

$$K_{cz}(p) = \frac{1}{A_{11}} \quad (16)$$

W stanie dopasowania falowego $Z_o = \sqrt{A_{12}/A_{21}}$ i

$$K_{cz}(p) = \frac{1}{A_{11} + \sqrt{A_{12}A_{21}}} \quad (17)$$

Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa $K_{cz_T}^n(\omega)$ kaskady z n pasywnych czwórników typu „T” w stanie jałowym ma następującą postać

$$K_{cz_T}^n(\omega) = \left[\left(-T_2\omega^2 \right)^2 + T_1^2\omega^2 \right]^{-0,5n} \quad (18)$$

gdzie $T_2 = LC/2n^2$, $T_1 = RC/2n^2$.

Stopień zbieżności $K_T(\omega)$ i $K_{cz_T}^n(\omega)$ określa się jako

$$\eta(\omega) = \left| K_T(\omega) - \left[\left(-T_2\omega^2 \right)^2 + T_1^2\omega^2 \right]^{-0,5n} \right| \cdot \frac{1}{K_T(\omega)} \cdot 100\% \quad (19)$$

Przy zastępowaniu jednokilometrowego odcinka toru przewodowego za pomocą pasywnych czwórników typu „Π” charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa $K_{cz_{\Pi}}^n(\omega)$ kaskady z n czwórników i błąd modelowania $\eta(\omega)$ w stanie jałowym również określa się wzorami (18) i (19).

Przy zastępowaniu jednokilometrowego odcinka toru przewodowego za pomocą pasywnych czwórników typu „X” charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa $K_{cz_X}^n(\omega)$ kaskady z n czwórników w stanie jałowym ma postać

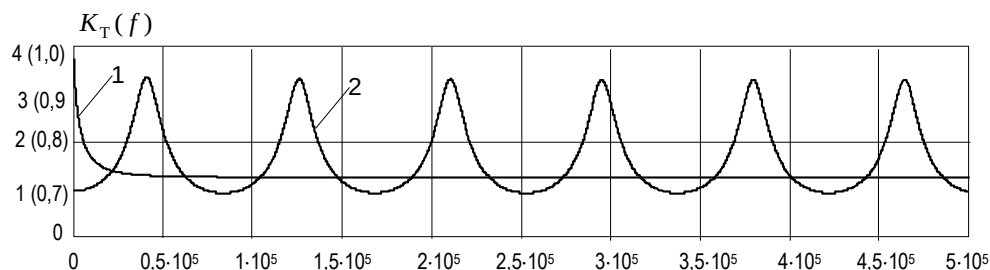
$$K_{cz_X}^n(\omega) = \left[\left(-T_2^2\omega^4 - T_1^2\omega^2 \right)^2 + 4T_1^2\omega^2 \right]^{0,5n} \cdot \left[\left(-T_2\omega^2 \right)^2 + T_1^2\omega^2 \right]^{-n} \quad (20)$$

przy czym $T_1 = RC/4n^2$, $T_2 = LC/4n^2$.

Błąd modelowania $\eta(\omega)$ w tym przypadku

$$\eta(\omega) = \left| K_T(\omega) - \left\{ \left[\left(-T_2^2 \omega^4 - T_1^2 \omega^2 \right)^2 + 4T_1^2 \omega^2 \right]^{0,5n} \left[\left(-T_2^2 \omega^2 + T_1^2 \omega^2 \right)^{-n} \right] \right\} \right| \frac{1}{K_T(\omega)} 100\% \quad (21)$$

Wykres charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej odcinka toru przewodowego w stanie jałowym i dopasowania falowego, w zakresie pulsacji $0 \div 500 \cdot 10^3$ Hz, jest przedstawiony na rysunku 2.

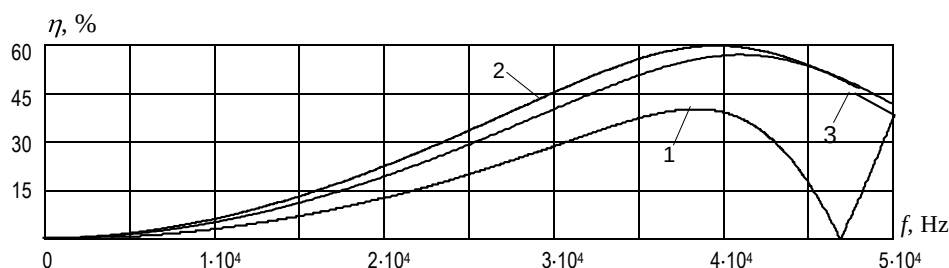


Rys. 2. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa toru przewodowego ($R_j = 70 \Omega/\text{km}$, $L_j = 0,7 \text{ mH/km}$, $C_j = 50 \text{ nF/km}$): 1 – w stanie dopasowania falowego, 2 – w stanie jałowym

Fig. 2. Attenuation-frequency diagram of a metallic circuit ($R_j = 70 \Omega/\text{km}$, $L_j = 0,7 \text{ mH/km}$, $C_j = 50 \text{ nF/km}$): 1 – in the state of impedance matching, 2 – and in the idle state

Jak widać dokładne odwzorowanie $K_T(f)$ w zakresie pulsacji $0 \div 500 \cdot 10^3$ Hz za pomocą jednego czwórnika pasywnego nie jest możliwe, szczególnie w stanie jałowym. Natomiast odwzorowanie $K_T(f)$ za pomocą kaskadowo połączonych czwórników pasywnych jest możliwe tylko przy dużej liczbie takich czwórników, idealnie przy $n \rightarrow \infty$.

Na rysunku 3 przedstawiono wykresy funkcji $\eta(f)$ przy modelowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego telekomunikacyjnego kabla górniczego, o parametrach jednostkowych $R_j = 70 \Omega/\text{km}$, $L_j = 0,7 \text{ mH/km}$, $C_j = 50 \text{ nF/km}$, w stanie jałowym w zakresie pulsacji $0 \div 50 \cdot 10^3$ Hz.



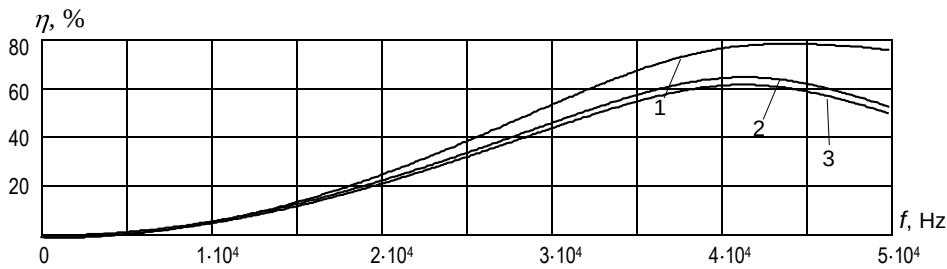
Rys. 3. Wykresy zależności $\eta(f)$ przy modelowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego w stanie jałowym za pomocą pasywnych czwórników typu „T”: 1 – $n = 10$, 2 – $n = 5$, 3 – $n = 1$

Fig. 3. Diagram of $\eta(f)$ relationship in unitary metallic circuit modeling by passive two-terminal-pair networks of “T” type in the idle state, for: 1 – $n = 10$, 2 – $n = 5$, 3 – $n = 1$

Przy zastępowaniu, w stanie jałowym, jednokilometrowego odcinka toru przewodowego jednym pasywnym czwórnikiem typu „T”, błąd modelowania fizycznego jest mniejszy od 10% tylko w zakresie $0 \div 15 \cdot 10^3$ Hz. Natomiast zwiększenie liczby czwórników zastępczych powoduje zmniejszenie dokładności modelowania fizycznego toru w stanie jałowym. W zakresie pulsacji powyżej $15 \cdot 10^3$ Hz błąd modelowania fizycznego osiąga kilkanaście procent.

Podobne wyniki uzyskuje się również w przypadku zastępowania jednokilometrowego odcinka toru przewodowego, w stanie jałowym, za pomocą pasywnych czwórników typu „Π”.

Wykresy funkcji $\eta(f)$ w przypadku modelowania jednostkowego odcinka toru przewodowego w stanie jałowym za pomocą pasywnych czwórników typu „X” są przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Wykresy zależności $\eta(f)$ przy modelowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego w stanie jałowym za pomocą pasywnych czwórników typu „X” 1 – $n = 1$, 2 – $n = 5$, 3 – $n = 10$

Fig. 4. Diagram of $\eta(f)$ relationship in unitary metallic circuit modeling by passive two-terminal-pair networks of “X” type in the impedance matching state, for: 1 – $n = 1$, 2 – $n = 5$, 3 – $n = 10$

Z powyższego wynika, że modelowanie jednostkowego odcinka toru przewodowego kabla telekomunikacyjnego w stanie jałowym za pomocą pasywnych symetrycznych czwórników typów „T”, „Π” i „X” z dokładnością powyżej 10% jest osiągalne tylko w zakresie pulsacji $0 \div 20 \cdot 10^3$ Hz. Przy czym, zwiększenie liczby kaskadowo połączonych czwórników zastępczych praktycznie nie zapewnia widocznego zwiększenia dokładności modelowania w zakresie pulsacji do $20 \cdot 10^3$ Hz, a powyżej tego zakresu w niektórych przypadkach nawet pogarsza dokładność modelowania. Wynika to z tąd, że charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa toru przewodowego w stanie jałowym jest rezonansową (rys. 2) wskutek zjawiska odbicia fal, przy czym pierwszy szczyt tej charakterystyki występuje przy pulsacji około $40 \cdot 10^3$ Hz.

Transmitancję napięciową $K_{cz_T}^n(p)$ kaskady z n jednakowych czwórników typu „T” w stanie dopasowania falowego określa się wzorem

$$K_{cz_T}^n(p) = \left[\frac{2n^2}{LCp^2 + RCp + 2n^2 + \sqrt{L^2C^2p^4 + 2RLC^2p^3 + (n^2LC + R^2C^2)p^2 + 4n^2RCp}} \right]^n \quad (22)$$

lub

$$K_{cz_T}^n(j\omega) = \left[\frac{2n^2}{\rho_1 e^{-j\frac{\varphi_1}{2}} + \sqrt{\rho_2} e^{-j\frac{\varphi_2}{2}}} \right]^n \quad (23)$$

gdzie

$$\rho_1 = \sqrt{(n^2 - LC\omega^2)^2 + (RC\omega)^2} \quad (24)$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{RC\omega}{2n^2 - LC\omega^2} \quad (25)$$

$$\rho_2 = \sqrt{(L^2C^2\omega^4 - 4n^2LC\omega^2 - R^2C^2\omega^2)^2 + (4n^2RC\omega - 2RLC^2\omega^3)^2} \quad (26)$$

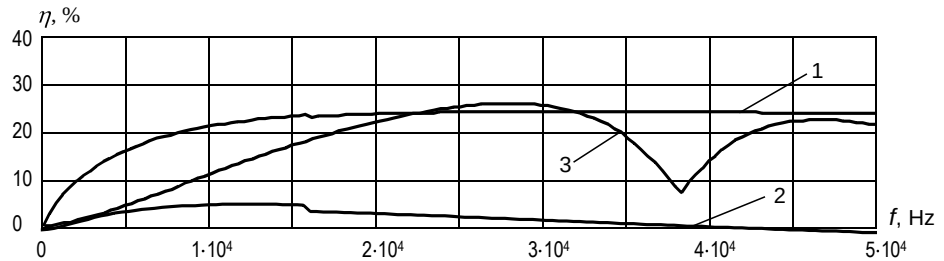
$$\varphi_2 = \arctg \frac{4n^2RC\omega - 2RLC^2\omega^3}{L^2C^2\omega^4 - 4n^2LC\omega^2 - R^2C^2\omega^2} \quad (27)$$

Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa $K_{cz_T}^n(\omega)$ kaskady z n pasywnych czwórników typu „T” w stanie dopasowania falowego wyrażona jest zależnością

$$K_{cz_T}^n(\omega) = 2n^{2n} \cdot \left[\left(\rho_1 \cos \frac{\varphi_1}{2} + \sqrt{\rho_2} \cos \frac{\varphi_2}{2} \right)^2 + \left(\rho_1 \sin \frac{\varphi_1}{2} + \sqrt{\rho_2} \sin \frac{\varphi_2}{2} \right)^2 \right]^{-0,5n} \quad (28)$$

przy czym współczynniki $\rho_1, \rho_2, \varphi_1$ i φ_2 określa się odpowiednio wzorami (24)÷(27).

Wykresy funkcji $\eta(f)$ w przypadku modelowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego w stanie dopasowania falowego za pomocą pasywnych czwórników typu „T” są przedstawione na rysunku 5.



Rys. 5. Wykresy zależności $\eta(f)$ przy modelowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego w stanie dopasowania falowego za pomocą pasywnych czwórników typu „T”: 1 – $n = 100$, 2 – $n = 25$, 3 – $n = 1$

Fig. 5. Diagram of $\eta(f)$ relationship in unitary metallic circuit modeling by passive two-terminal-pair networks of “T” type in the impedance matching state, for: 1 – $n = 100$, 2 – $n = 25$, 3 – $n = 1$

Transmitancja napięciowa $K_{cz\pi}^n(p)$ kaskady z n jednakowych czwórników typu „ Π ” w stanie dopasowania falowego określa się wzorem

$$K_{cz\pi}^n(p) = \left[\frac{2n^2}{LCp^2 + RCp + 2n^2 + \sqrt{2} \cdot \sqrt{L^2C^2p^4 + 2RLC^2p^3 + (L^2LC + R^2C^2)p^2 + n^2RCp}} \right]^n \quad (29)$$

lub

$$K_{cz\pi}^n(j\omega) = \left[\frac{2n^2}{\rho_1 e^{j\varphi_1} + \sqrt{2}\rho_2 e^{j\frac{\varphi_2}{2}}} \right]^n \quad (30)$$

gdzie

$$\rho_1 = \sqrt{(n^2 - LC\omega^2)^2 + (RC\omega)^2} \quad (31)$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{RC\omega}{2n^2 - LC\omega^2} \quad (32)$$

$$\rho_2 = \sqrt{(L^2C^2\omega^4 - n^2LC\omega^2 - R^2C^2\omega^2)^2 + (L^2RC\omega - 2RLC^2\omega^3)^2} \quad (33)$$

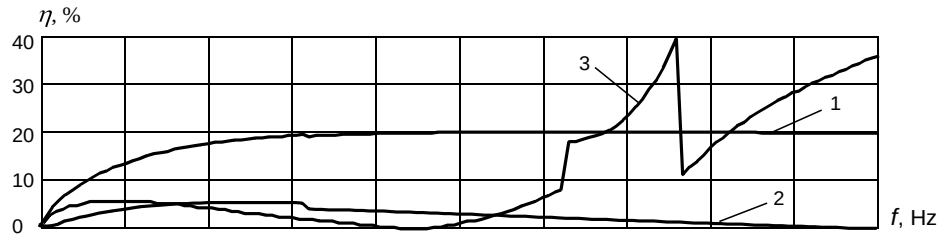
$$\varphi_2 = \arctg \frac{n^2RC\omega - 2RLC^2\omega^3}{L^2C^2\omega^4 - n^2LC\omega^2 - R^2C^2\omega^2} \quad (34)$$

Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa $K_{cz\pi}^n(\omega)$ kaskady z n pasywnych czwórników typu „ Π ” w stanie dopasowania falowego wyrażana jest zależnością

$$K_{cz\pi}^n(\omega) = 2n^{2n} \cdot \left[\left(\rho_1 \cos \varphi_1 + \sqrt{2}\rho_2 \cos \frac{\varphi_2}{2} \right)^2 + \left(\rho_1 \sin \varphi_1 + \sqrt{2}\rho_2 \sin \frac{\varphi_2}{2} \right)^2 \right]^{-0,5n} \quad (35)$$

przy czym współczynniki $\rho_1, \rho_2, \varphi_1$ i φ_2 określają się odpowiednio wzorami (31)÷(34).

Wykresy funkcji $\eta(f)$ w przypadku modelowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego w stanie dopasowania falowego za pomocą pasywnych czwórników typu „ Π ” są przedstawione na rysunku 6.



Rys. 6. Wykresy zależności $\eta(f)$ przy modelowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego w stanie dopasowania falowego za pomocą pasywnych czwórników typu „ Π ”: 1 – $n = 100$, 2 – $n = 25$, 3 – $n = 1$

Fig. 6. Diagram of $\eta(f)$ relationship in unitary metallic circuit modeling by passive two-terminal-pair networks of “ Π ” type in the impedance matching state, for: 1 – $n = 100$, 2 – $n = 25$, 3 – $n = 1$

Transmitancję napięciową $K_{cz_X}^n(p)$ kaskady z n pasywnych czwórników typu „X” w stanie dopasowania falowego opisuje wzór

$$K_{cz_X}^n(p) = \left(\frac{4n^2 - LCp^2 - RCp}{4n^2 + LCp^2 + RCp + 4n\sqrt{LCp^2 + RCp}} \right)^n \quad (36)$$

lub

$$K_{cz_X}^n(j\omega) = \left(\frac{\rho_1 e^{j\varphi_1}}{\rho_2 e^{j\varphi_2} + 4n\sqrt{\rho_3} e^{j\frac{\varphi_3}{2}}} \right)^n \quad (37)$$

gdzie:

$$\rho_1 = \sqrt{(n^2 + LC\omega^2)^2 + (RC\omega)^2} \quad (38)$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{-RC\omega}{4n^2 + LC\omega^2} \quad (39)$$

$$\rho_2 = \sqrt{(n^2 - LC\omega^2)^2 + (RC\omega)^2} \quad (40)$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{RC\omega}{4n^2 - LC\omega^2} \quad (41)$$

$$\rho_3 = \sqrt{(C\omega^2)^2 + (RC\omega)^2} \quad (42)$$

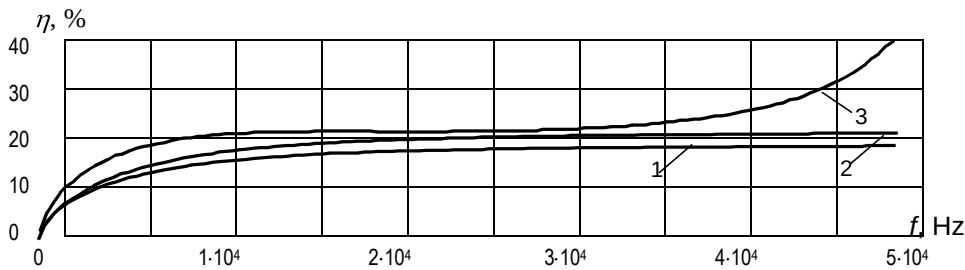
$$\varphi_3 = \arctg \frac{-R}{L\omega} \quad (43)$$

Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa $K_{cz_X}^n(\omega)$ kaskady z n pasywnych czwórników typu „X” w stanie dopasowania falowego ma postać

$$K_{cz_X}^n(\omega) = \left[\frac{\sqrt{\rho_1^2 \rho_2^2 + \rho_1^2 \rho_3^2 + 2\rho_1^2 \rho_2 \rho_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2)}}{\rho_2^2 + \rho_3^2 + 2\rho_2 \rho_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2)} \right]^n \quad (44)$$

przy czym współczynniki $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \varphi_1, \varphi_2$ i φ_3 określają się odpowiednio wzorami (38) ÷ (43).

Wykresy funkcji $\eta(f)$ w przypadku modelowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego w stanie dopasowania falowego za pomocą pasywnych czwórników typu „X” są przedstawione na rysunku 7.



Rys. 7. Wykresy funkcji $\eta(f)$ przy modelowaniu jednostkowego odcinka toru przewodowego w stanie dopasowania falowego za pomocą pasywnych czwórników typu „X”: 1 – $n = 100$, 2 – $n = 25$, 3 – $n = 1$

Fig. 7. Diagram of $\eta(f)$ relationship in unitary metallic circuit modeling by passive two-terminal-pair networks of “X” type in the impedance matching state, for: 1 – $n = 100$, 2 – $n = 25$; 3 – $n = 1$

4. WNIOSKI

Przy zastępowaniu jednostkowego (jednokilometrowego) odcinka toru przewodowego za pomocą kaskadowego połączenia pasywnych czwórników, zbudowanych ze skupionych elementów R, L, C , pod uwagę mogą być brane symetryczne czwórniki typu „T” i „Π”. Zastępowanie jednostkowego odcinka toru przewodowego jednym czwórnikiem nie odwzorowuje parametrów falowych toru macierzystego kabla w stanie jałowym i dopasowania falowego, co jest konieczne przy badaniach, za pomocą iskiernika, zapalności obwodu elektrycznego z torem przewodowym, ponieważ podczas wyładowania elektrycznego rezystancja kanału wyładowania zmienia się od 0 do ∞ (przy awaryjnym rozwarciu obwodu) lub od ∞ do 0 (przy awaryjnym zwarcu).

Modelowanie toru przewodowego za pomocą pasywnych czwórników wymaga spełnienia dwóch kryteriów:

- sumaryczna wartość elektromagnetycznej energii zgromadzonej w elementach reaktancyjnych czwórników zastępczych powinna być adekwatna do wartości energii zgromadzonej w naturalnym torze przewodowym,
- charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe kaskady czwórników zastępczych i toru przewodowego powinny być zbieżne w wymaganym paśmie pulsacji, tak w stanie jałowym, jak i w stanie dopasowania falowego.

Zakres pulsacji, dla którego wymagana jest zbieżność charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych toru przewodowego i kaskady czwórników zastępczych powinien być określany dla każdego konkretnego przypadku z uwzględnieniem parametrów źródła zasilania, zabezpieczenia przeciwwybuchowego i środowiska wybuchowego.

Literatura

1. Frączek J.: *Aparatura przeciwwybuchowa w wykonaniu iskrobezpiecznym*. Katowice, Śląskie Wydawnictwo Techniczne 1995.
2. Krzystolik P.: *Iskrobezpieczeństwo obwodów z liniami elektrycznymi w kopalniach metanowych*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa 1999.
3. Skoropacki W.: *Problemy zwielokrotnienia torów naturalnych kopalnianej sieci telekomunikacyjnej*. Prace Naukowe GIG Katowice 1999, nr 837.
4. Osowski J., Szabatin J.: *Podstawy teorii obwodów*. Warszawa, WNT 1995.

Recenzent: dr inż. Stanisław Trzcionka

Stanisław Chałupnik, Małgorzata Wysocka

WPLYW ODPROWADZANIA WÓD RADOWYCH Z KOPALŃ NA SKAŻENIE ŚRODOWISKA NATURALNEGO

Streszczenie

Wody radowe odprowadzane z kopalń węgla kamiennego do osadników powierzchniowych a stamtąd do rzek powodują czasem skażenia promieniotwórcze. Od 1986 roku obowiązują wytyczne [12], zgodnie z którymi kopalnie są zobowiązane do monitoringu naturalnych izotopów promieniotwórczych w wodach zrzutowych i w ciekach powierzchniowych poniżej punktu zrzutu. Pomimo to kontrola stężeń izotopów radu w wodach rzecznych jest prowadzona jedynie okazjonalnie. W latach 1993–1994 kontrole były prowadzone przez Laboratorium Radiometrii Głównego Instytutu Górniczego [20]. Od tego czasu sytuacja uległa znaczącej zmianie – w niektórych kopalniach wprowadzono metody ograniczania dopływów wód słonych do wyrobisk podziemnych, w innych zastosowano technologie usuwania radu z wód kopalnianych, które są prowadzone w wyrobiskach podziemnych, a część kopalń została zlikwidowana. Stąd potrzeba powtórzenia badań środowiskowych rzek na terenie Śląska. Określenie zależności między wynikami pomiarów stężeń radu w wodach rzecznych i wynikami systematycznego monitoringu wód zrzutowych kopalń, pozwoli na powtórzenie bilansu ładunku radu odprowadzanego do środowiska naturalnego. Umożliwi to ocenę efektywności działań podjętych przez kopalnie w celu obniżenia czy wręcz zaprzestania dalszego zanieczyszczania środowiska naturalnego izotopami promieniotwórczymi.

Influence of the discharge of radium-bearing waters from coal mines on the contamination of the natural environment

Summary

Saline waters from underground coal mines in Poland often contain natural radioactive isotopes, mainly ^{226}Ra from the uranium decay series and ^{228}Ra from the thorium series. Approximately 60% of the total amount of radium remains underground as radioactive deposits, but 120 MBq of ^{226}Ra and 200 MBq of ^{228}Ra are released daily into the rivers along with the other mine effluents from all Polish coal mines. Technical measures such as inducing the precipitation of radium in gobbs, decreasing the amount of meteoric inflow water into underground workings etc., have been undertaken in several coal mines, and as a result of these measures the total amount of radium released to the surface waters has diminished by about 60% during the last 5–6 years.

Mine water can have a severe impact on the natural environment, mainly due to its salinity. However associated high levels of radium concentration in river waters, bottom sediments and vegetation have also been observed. Sometimes radium concentrations in rivers exceed 0.7 kBq/m^3 , which is the permissible level for waste waters under Polish law. The extensive investigations described here were carried out for all coal mines and on this basis the total radium balance in effluents has been calculated. Measurements in the vicinity of mine settling ponds and in rivers have given us an opportunity to study radium behaviour in river waters and to assess the level of contamination.

1. WSTĘP

W wyrobiskach podziemnych kopalń głównym źródłem narażenia radiacyjnego są krótkożyciowe produkty rozpadu radonu. Dużo mniejsze zagrożenie stwarzają

radonośne wody kopalniane i wytrącające się z nich osady o podwyższonej promieniotwórczości [17]. Odmienne przedstawia się sytuacja w przypadku promieniotwórczego skażenia środowiska wokół kopalń. Radon i produkty jego rozpadu, emitowane z szybów wentylacyjnych kopalń, mogą być w zasadzie nie brane pod uwagę [21]. Podstawowe źródło skażeń stanowią bowiem wody słone o podwyższonej zawartości radu, zrzucane do cieków powierzchniowych oraz w znacznie mniejszym stopniu stałe odpady kopalniane [7].

Słone wody występujące w kopalniach węgla kamiennego na Górnym Śląsku często zawierają izotopy radu – ^{226}Ra i ^{228}Ra . O ile występowanie skażeń środowiska powodowane wydobywaniem rudy uranowej jest powszechnie znane i stosowane są metody ograniczania skażeń, o tyle w przypadku górnictwa nieuranowego, problem ten nie od razu został zauważony. A przecież stężenie ^{226}Ra w wodach dopływających do wyrobisk podziemnych może wynosić nawet 390 kBq/m^3 [18], podczas gdy stężenie tego izotopu w wodach powierzchniowych zazwyczaj nie przekracza $0,1 \text{ kBq/m}^3$ [6]. Wody o podobnym charakterze występują również w kopalniach miedzi w Zagłębiu Lubieńskim. Tak duże stężenia radu, jakie występują w polskich kopalniach, są rzadko spotykane w przyrodzie, jedynie w Iranie znaleziono naturalne wody o zbliżonych stężeniach [5]. Wody o podwyższonych stężeniach radu dość często towarzyszą wydobywaniu surowców mineralnych takich, jak: ropa naftowa, węgiel, fosforyty czy gaz. Takie wody znajdowano w USA [15], w Rumunii [14], na Ukrainie [4], w Australii [2], w Niemczech [3], w Brazylii [13] i w wielu innych krajach. W ostatnich latach badania tzw. NORM, czyli *Naturally Occurring Radioactive Materials* (naturalnie występujących materiałów promieniotwórczych) stają się coraz powszechniejsze i dotyczą różnych gałęzi przemysłu, w tym przemysłu wydobywczego.

W kopalniach węgla występują zazwyczaj solanki typu Na-Cl lub Na-Ca-Cl, o zasoleniu przekraczającym niekiedy 200 g/l [16]. Tak duże zasolenie i środowisko redukcyjne w warstwach wodonośnych powoduje, że jedynymi izotopami promieniotwórczymi występującymi w tych wodach są ^{226}Ra z szeregu uranowego i ^{228}Ra z szeregu torowego. Stężenia innych izotopów z obu szeregów (niekiedy poza radonem) są bardzo małe. Dopiero po wytrąceniu się radu w postaci osadów lub jego adsorpcji w osadach, zaczynają wzrastać aktywności innych izotopów promieniotwórczych.

Jak wspomniano, czasem radonośne wody kopalniane zawierają również jony baru, których stężenie może sięgać do 2 g/l . Wody zawierające zarówno rad, jak i bar zostały nazwane wodami radowymi typu A. Drugi typ wód radowych, dla odróżnienia nazwany typem B, nie zawiera jonów baru, ale zawiera jony siarczanowe SO_4^{2-} . Obecność baru w wodach odgrywa podstawową rolę w zachowaniu się radu [8]. Z wód typu A rad prędzej czy później ulegnie współtrąceniu wraz z barem po zmieszaniu się tych wód z wodami siarczanowymi, które są bardzo pospolite w przyrodzie. Stężenie ^{226}Ra w tworzących się w taki sposób osadach może sięgać 400000 Bq/kg , a ^{228}Ra prawie 200000 Bq/kg , podczas gdy średnie stężenia tych izotopów w glebie wynosi tylko około 25 Bq/kg . Wytrącanie się promieniotwórczych osadów może zachodzić nie tylko pod ziemią, ale także na powierzchni w osadnikach,

rurociągach, małych ciekach powierzchniowych [9, 10]. Takie osady mogą powodować skażenia promieniotwórcze środowiska naturalnego, a także trudności techniczne w eksploatacji rurociągów i kolektorów wód słonych [11].

W przypadku wód radowych niezawierających baru, z którym rad mógłby się współstrącać, cały rad transportowany jest z wodami kopalnianymi na powierzchnię do osadników kopalnianych, a stamtąd do rzek [9, 10]. Usuwanie radu polega na jego sorpcji na ilastych osadach dennych w ciekach powierzchniowych. Proces ten jest powolny, dlatego podwyższone stężenia radu w wodach obserwuje się w odległości wielu kilometrów od źródeł skażenia, podobnie jak podwyższoną promieniotwórczość osadów dennych. Stężenie izotopów radu w tego typu osadach jest znacznie mniejsze niż w osadach powstających z wód typu A i rzadko przekraczana jest wartość 1000 Bq/kg (1 kBq/kg).

Niekiedy osady o podwyższonych stężeniach radu są usuwane podczas czyszczenia chodników wodnych czy ścieków w wyrobiskach dołowych i lokowane na powierzchni. Powodować to może wtórne skażenie składowisk odpadów stałych. Jednak dzięki świadomości, że tego typu skażenia mogą się zdarzyć oraz stworzeniu zaleceń co do monitoringu odpadów lokowanych na powierzchni, rola tego źródła skażeń powierzchni jest coraz mniej znacząca.

3. SYSTEM MONITORINGU SKAŻEŃ WOKÓŁ KOPALŃ

Badania występowania wód radowych w kopalniach oraz badania skażeń środowiska naturalnego na Górnym Śląsku rozpoczęto już w latach siedemdziesiątych XX wieku [19]. Dość szybko zrozumiano znaczenie monitoringu skażeń promieniotwórczych powodowanych przez przemysł węglowy na Śląsku. Ponadto, awaria w Czarnobylu doprowadziła do zwiększenia zainteresowania tymi problemami.

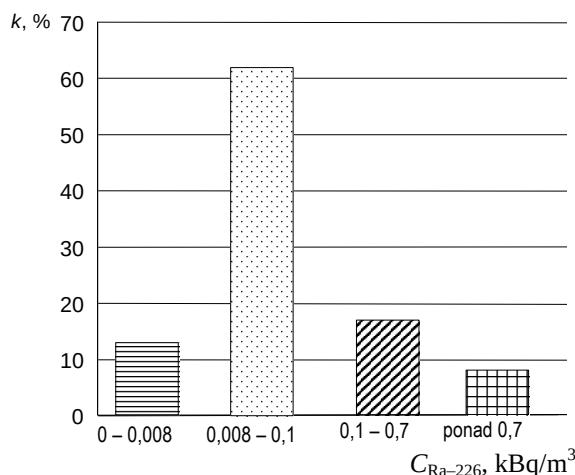
Jak już wspomniano, na Górnym Śląsku występują dwa źródła promieniotwórczych skażeń środowiska naturalnego:

- radonośne wody odprowadzane z kopalń węgla kamiennego,
- odpady stałe o podwyższonej promieniotwórczości, lokowane na składowiskach powierzchniowych.

System kontroli skażeń środowiska wokół kopalń, powodowanych przez wody radowe, został opracowany i wdrożony w 1986 we wszystkich kopalniach węgla kamiennego w Polsce [20]. Dzięki temu można nadzorować wielkość zrzutu radu do środowiska i stężenie radu w odprowadzanych przez kopalnie wodach (rys. 1).

Podstawą systemu jest kontrola stężeń izotopów radu w wodach zrzutowych z kopalń jako głównego źródła skażeń. Pomiary takie wykonuje się, z obowiązkową częstością nie mniejszą niż raz w roku, w następujących miejscach:

- w wodach zbiorczych odprowadzanych na powierzchnię,
- w osadnikach powierzchniowych,
- w rzekach powyżej i poniżej miejsc zrzutów wód kopalnianych,
- w studniach będących w zasięgu oddziaływania wód słonych z osadników i skażonych rzek.



Rys. 1. Procentowy rozkład radu w wodach zrzutowych ze śląskich kopalń węgla kamiennego (dane z roku 1998): C_{Ra-226} – stężenie, k – kopalnie

Fig. 1. Distribution of radium concentrations in discharge waters of Upper Silesian coal mines (data from 1998), C_{Ra-226} – concentration of ^{226}Ra , k – percent of coal mines

W przypadku stwierdzenia podwyższonych stężeń radu w wodach zrzutowych (powyżej $0,7 \text{ kBq/m}^3$) częstość monitoringu jest zwiększana i badania takie powinny być wykonywane raz na kwartał.

Nieobligatoryjnie wykonuje się badania stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w próbkach osadów z osadników wód dołowych, w osadach dennych z cieków powierzchniowych, w odpadach lokowanych na hałdach, a także w glebach na terenach przylegających do skażonych cieków i rzek.

W celu oszacowania dawek dla okolicznej ludności wykonywane są ponadto pomiary mocy dawki promieniowania gamma, stężeń radonu (jego produktów rozpadu) na otwartym powietrzu i w mieszkaniach w sąsiedztwie terenów o podwyższonej promieniotwórczości naturalnej. Niekiedy wykonuje się również badania skażeń roślin i zwierząt.

4. BILANS RADU ODPROWADZANEGO Z WODAMI KOPALNIANYMI NA POWIERZCHNIĘ

W Laboratorium Radiometrii Głównego Instytutu Górniczego od wielu lat są prowadzone systematyczne badania wód dołowych w kopalniach oraz wód odprowadzanych na powierzchnię. Na podstawie wyników kilkunastu tysięcy analiz radiochemicznych wód opracowano bilans całkowitej aktywności radu odprowadzanego do środowiska naturalnego z wodami słonymi z kopalń węgla na Śląsku [20]. Podstawę bilansu stanowiły:

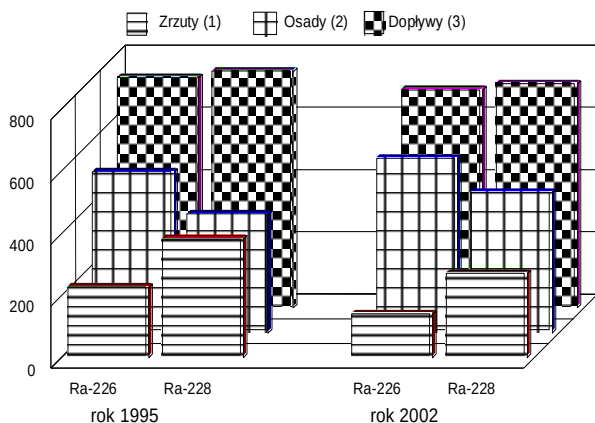
- wyniki oznaczeń stężeń izotopów radu w wodach odprowadzanych przez wszystkie kopalnie węgla kamiennego do środowiska,

- dane o ilości wód zrzucanych z poszczególnych kopalń.

Została oszacowana również całkowita aktywność izotopów radu w wyrobiskach podziemnych spowodowana wytrącaniem się osadów o podwyższonej promieniotwórczości. Osady takie powstają na skutek przypadkowego mieszania się wód radowych z innymi wodami dołowymi o różnym składzie chemicznym lub też na skutek oczyszczania wód z radu w wyrobiskach podziemnych. Całkowita aktywność pozostającego w wyrobiskach podziemnych radu została oszacowana na podstawie:

- wyników pomiarów stężeń izotopów radu w wodach dopływających do wyrobisk kopalnianych z otaczających skał,
- ilości wody w poszczególnych dopływach do poszczególnych partii różnych kopalń,
- obliczonej całkowitej aktywności izotopów radu odprowadzanych z wyrobisk podziemnych do osadników na powierzchni w poszczególnych kopalniach.

Oszacowanie takie, mimo że obarczone dużym błędem (szczególnie w przypadku wód dopływających do wyrobisk dołowych), daje pogląd na temat skali skażeń. Na przykład dane za rok 1995 wskazywały, że aktywność izotopu radu ^{226}Ra , zrzucanego ze słonymi wodami do rzek, wynosiła w przybliżeniu około 225 MBq dziennie (80 GBq/rok) natomiast dla ^{228}Ra wartość ta wynosiła około 380 MBq/dzień – czyli 140 GBq na rok [1]. W tym okresie prawie 70% ilości ^{226}Ra pozostawało w wyrobiskach podziemnych w postaci osadów siarczanu radowo-barowego, natomiast w przypadku ^{228}Ra ilość ta była znacznie mniejsza i wynosiła jedynie około 50% (rys. 2). Dane za 2000 rok są porównywalne, jednak rozpoczęcie oczyszczania wód z radu w kopalni „Piaśń” doprowadziło do zmniejszenia ładunku radu odprowadzanego z kopalni węgla do środowiska o około 150 MBq/dobę (w tym o prawie 60 MBq/dobę dla ^{226}Ra i około 90 MBq/dobę dla ^{228}Ra).



Rys. 2. Bilans radu w wodach dopływających i zrzutowych z kopalń węgla (porównanie danych z 1995 i 2002 roku): 1 – zrzuty, 2 – osady, 3 – dopływy

Fig. 2. Radium balance in inflows and outflows from coal mines (a comparison of data from 1995 and 2002): 1 – radium in outflows, 2 – radium in deposits, 3 – radium in inflows

Przyczyna różnic w procentowych ładunkach obu izotopów radu, występująca przy wytrącaniu osadów pod ziemią i zrzutach wód do środowiska naturalnego jest łatwa do wytłumaczenia. Osady wytrącają się głównie z wód typu A, w których stężenia ^{226}Ra są zazwyczaj wyższe od stężeń ^{228}Ra . Z kolei ^{228}Ra występuje w wodach radowych typu B w stężeniach wyższych niż ^{226}Ra . Wody typu B nie zawierają baru i nie wytrącają się z nich osady o podwyższonej promieniotwórczości, tym samym więcej ^{228}Ra trafia do osadników na powierzchni i do rzek. Dopiero zastosowanie technologii oczyszczania wód kopalnianych z radu zmieniło ten stan rzeczy.

Efektom odprowadzania wód radowych do cieków powierzchniowych jest na przykład znaczne podwyższenie stężeń izotopów radu w Wiśle, w której nawet w Krakowie, 80 km poniżej ostatniego punktu zrzutu wód kopalnianych, zaobserwowano podwyższone stężenie ^{226}Ra , wynoszące niekiedy $0,04 \text{ kBq/m}^3$. Średnie stężenie tego izotopu w polskich rzekach wynosi, według Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej, w przybliżeniu $0,004 \text{ kBq/m}^3$, a więc 10 razy mniej.

5. METODYKA BADAWCZA

Zebrano wyniki oznaczeń radu w wodach dołowych kopalń GZW za lata 2001–2002, jak również w wodach rzecznych za rok 2002. Wody rzeczne były pobierane w punktach regionalnej sieci monitoringu wód przez pracowników Ośrodka Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach.

5.1. Pomiar stężeń izotopów radu w próbach wody

Oznaczenia izotopów radu ^{226}Ra i ^{228}Ra w wodach prowadzi się za pomocą opracowanej w GIG metody ciekłych scyntylatorów [9]. Metoda ta polega na współstrącaniu z badanej próbki radu wraz z barem w postaci siarczanów, oczyszczaniu powstałego osadu z innych izotopów promieniotwórczych i pomiarze aktywności preparatu w ciekłym scyntylatorze żelującym. Metoda umożliwia równoczesny pomiar izotopu ^{210}Pb , który oddzielany jest od radu w końcowym etapie i mierzony [9]. Pomiar izotopów radu za pomocą spektrometru na ciekłe scyntylatory wykonuje się po upływie co najmniej 28 dni od daty spreparowania próbki, co pozwala obliczyć stężenia ^{226}Ra i ^{228}Ra . Pomiar izotopu ołowiu wykonuje się po około 24 godzinach od spreparowania próbek. Do pomiaru wód wykorzystuje się spektrometr Quantulus z osłoną antykoincydencyjną i możliwością rozróżniania cząstek alfa i beta. Dolny próg detekcji (LLD) dla opisanej metody (przy założeniu objętości próbki 1 litr i czasu pomiaru 1 godzina), przy wykorzystaniu spektrometru Quantulus wynosi odpowiednio:

$$\begin{aligned} &\text{dla } ^{226}\text{Ra} - 3 \text{ Bq/m}^3; \\ &\text{dla } ^{228}\text{Ra} - 20 \text{ Bq/m}^3. \end{aligned}$$

Jako wzorce stosowane są roztwory produkowane w firmie Amersham, oznaczone z dokładnością $\pm 8\%$.

6. WYNIKI MONITORINGU SKAŻENIA WÓD ODPROWADZANYCH NA POWIERZCHNIĘ I DO RZEK

Wyniki monitoringu wód powierzchniowych prowadzonego w latach 2001–2002 obejmują ponad 280 analiz zawartości radu w wodach odprowadzanych na powierzchnię z kopalń, zrzutów z osadników wód dołowych oraz pomiarów w ciekach powierzchniowych, powyżej oraz poniżej miejsc zrzutów wód kopalnianych. Dodatkowo wykonano analizy 40 próbek wód rzecznych w sieci monitoringu regionalnego wód powierzchniowych. Wyniki pomiarów wraz z opisem punktów poboru znajdują się w bazie danych promieniotwórczości wód, prowadzonej w Laboratorium Radiometrii w ramach wdrożonego systemu jakości.

Wyniki badań prowadzonych w ostatnich latach wykazały wyraźnie, że obecnie promieniotwórcze skażenia środowiska są przede wszystkim wynikiem odprowadzania wód typu B z kopalń „Ziemowit” oraz „Piast” (Ruch I i II). Wody te trafiają do Wisły przez Potok Goławiecki z kopalni „Ziemowit” i przez rzekę Gostynkę z obu ruchów kopalni „Piast”. Nieco mniejsze znaczenie ma odprowadzanie wód radowych z kopalni „Silesia”. Te wody są wodami typu A, czyli zawierającymi bar, i dlatego po zmieszaniu z wodami Wisły zawierającymi siarczany, następuje szybkie wytrącanie radu z barem i obniżenie stężenia radu w rzece. W przypadku pozostałych kopalń stężenia radu w wodach odprowadzanych do środowiska nie przekraczają $0,7 \text{ kBq/m}^3$.

Można stwierdzić, że ładunek radu odprowadzanego do rzek z kopalń GZW, uległ znaczącej redukcji w porównaniu z okresem 1993–1995, kiedy wykonywano poprzedni bilans. Było to spowodowane wieloma czynnikami: zamknięciem niektórych kopalń, podjęciem działań zmierzających do ograniczania dopływów do kopalń, czy wreszcie oczyszczaniem wód z radu, prowadzonym w kilku kopalniach.

Dane za 1995 rok wykazywały, że aktywność izotopu radu ^{226}Ra , zrzucanego ze słonymi wodami do rzek wynosiła w przybliżeniu około 225 MBq/dzień (80 GBq/rok) natomiast dla ^{228}Ra wartość ta wynosiła około 380 MBq/dzień – czyli 140 GBq/rok [1]. Aktualny bilans jest następujący: ładunek radu ^{226}Ra , zrzucanego ze słonymi wodami do rzek wynosi około 120 MBq/dzień (40 GBq/rok), ładunek ^{228}Ra wynosi około 200 MBq/dzień (80 GBq/rok). W porównaniu z danymi z połowy lat dziewięćdziesiątych jest to prawie dwukrotnie mniej. Jednym z głównych powodów tego spadku jest rozpoczęcie oczyszczania z radu wód w kopalni „Piast” na poziomie 650 metrów. Doprowadziło to do zmniejszenia ładunku radu odprowadzanego na powierzchnię o prawie 150 MBq/dobę ($60 \text{ MBq } ^{226}\text{Ra}$ i $90 \text{ MBq } ^{228}\text{Ra}$). Wynik bilansu wyraźnie wskazuje na efektywność metod oczyszczania wód kopalnianych z radu. Obecnie trwają prace nad projektem instalacji oczyszczania dla kopalni „Ziemowit”. Spowodowałoby to ograniczenie całkowitego ładunku radu odprowadzanego na powierzchnię o dalsze 50 GBq na rok.

Kolejnym etapem ograniczania skażeń wód powierzchniowych powinno być podjęcie prac nad oczyszczaniem wód radowych z poziomu 500 m kopalni „Piast”, co pozwoliłoby na ograniczenie ładunku radu odprowadzanego na powierzchnię o dalsze 40 GBq rocznie.

Należy pamiętać, że w miarę zwiększania głębokości, z jakich wydobywany jest węgiel na Śląsku, problem dopływów i odprowadzania wód radowych może pojawiać się w kopalniach, w których dotychczas nie występował lub występował na niewielką skalę. W związku z tym konieczny jest dalszy systematyczny monitoring wód odprowadzanych z kopalń do rzek. Rozwiązania wymaga też problem odpowiedzialności za monitoring zrzutów ze zlikwidowanych lub likwidowanych kopalń – brak jest obecnie odpowiednich uregulowań prawnych, wymuszających kontrolę skażeń na terenach pokopalnianych.

8. PODSUMOWANIE

- Eksploatacja węgla kamiennego powoduje czasami znaczne podwyższenie tła promieniowania jonizującego w środowisku naturalnym. Przyczyną skażeń jest przede wszystkim odprowadzanie do cieków powierzchniowych promieniotwórczych wód kopalnianych oraz składowanie na powierzchni stałych odpadów, zawierających podwyższone zawartości naturalnych substancji promieniotwórczych. Zjawisko takie występuje nie tylko na terenie GZW, ale także w Zagłębiu Ruhry w Niemczech i w innych krajach. Należy jednak pamiętać, że najpoważniejszym problemem, z uwagi na ochronę środowiska, było dla kopalń duże zasolenie wód zrzutowych, a nie ich promieniotwórczość.
- Na terenie GZW rocznie około 50 GBq ^{226}Ra i około 90 GBq ^{228}Ra jest odprowadzanych wraz z wodami kopalnianymi do środowiska naturalnego. Natomiast bilans radu lokowanego na powierzchni z odpadami stałymi jest trudny do oszacowania.
- Dzięki działaniom prewencyjnym, prowadzonym przez niektóre śląskie kopalnie, sytuacja uległa znacznej poprawie. Na większości terenów przyległych do kopalń poziom stężeń naturalnych substancji promieniotwórczych nie odbiega od wartości przeciętnie spotykanych w środowisku naturalnym. Dalsze działania, podjęte szczególnie w kopalniach „Ziemowit” i „Piast”, pozwolą w najbliższej przyszłości na prawie całkowite rozwiązanie tego problemu.
- Na podstawie danych uzyskiwanych z monitoringu skażeń promieniotwórczych środowiska można wskazać optymalne sposoby prowadzenia metod rekultywacji terenów skażonych. Ma to szczególne znaczenie w obliczu ograniczania wydobycia i prognoz likwidacji niektórych kopalń. Dotyczy to w szczególności małych cieków powierzchniowych, osadników kopalnianych i ich bezpośredniego sąsiedztwa:
 - przed przystąpieniem do rekultywacji terenów muszą być przeprowadzone szczegółowe badania zakresu i poziomu skażeń promieniotwórczych terenu,
 - wybrana metoda rekultywacji musi być dostosowana do wielkości i zasięgu skażeń, a ponadto musi prowadzić do minimalizacji zagrożenia dla mieszkańców skażonych terenów,
 - w czasie rekultywacji i po jej zakończeniu musi być prowadzony monitoring stanu środowiska w celu zapewnienia założonych parametrów rekultywacji i uniknięcia rozproszenia skażeń w środowisku np. podczas transportu osadów.

Dopracowania wymagają wszakże uregulowania prawne dotyczące problemów związanych z promieniotwórczymi skażeniami środowiska naturalnego, które nie zawsze są spójne i jednoznaczne.

Literatura

1. Chałupnik S., Wysocka M.: *Wstępne wyniki oczyszczania wód dołowych z radu w KWK Piast, efekty I etapu wdrożenia*. Dokumentacja Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice 1999 (niepublikowana).
2. Dickson B.L.: *Evaluation of the radioactive anomalies using radium isotopes in groundwaters*. Journal of Geochemical Exploration 1966 Vol. 19.
3. Gans I. i inni: *Radium in waste water from coal mines and other sources in FRG*. Second Symposium on Natural Radiation Environment. Bombay, India. Bethesda, DOE Symposium Series 1981.
4. Gucało L.K.: *Characteristics of radium distribution in underground waters of Dniepro-wsko-Donieckoj Basin*. Gieochimja 1964 Vol. 12.
5. Khademi A., Alemi A.A., Nasser A.: *Transfer of radium of soil to plants in an area of high natural radioactivity in Ramsar, Iran*. Conference on Natural Radiation Environment III, US DOE Report CONF-780422. Bethesda, Maryland, 1980.
6. Koster H.W., Marwitz P.A., Berger G.W., van Weers A.W., Hagel P.: ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra in aquatic ecosystems and polders, anthropogenic sources, distribution and enhanced radiation doses in the Netherlands. The Natural Radiation Environment. Nuclear Technology Publishing, 1992 Vol. 45 No. 1-4.
7. Lebecka J. i inni: *Monitoring of radiation exposure from different natural sources in Polish coal mines*. International Conference on Occupational Safety in Mining. Toronto, Canadian Nuclear Association 1985 Vol.2.
8. Lebecka J. i inni: *Influence of mining activity on distribution of radium in the natural environment*. 4th Working Meeting Isotopes in Nature. Leipzig, Academy of Sciences of the GDR 1987.
9. Lebecka J., Chałupnik S., Śliwka M.: *Wyniki badań zachowania się radu podczas transportu słonych wód rurociągami (na przykładzie kolektora wód słonych OLZA)*. Wiadomości Górnicze 1992 nr 5.
10. Lebecka J., Chałupnik S., Wysocka M.: *Radioactivity of mine waters in Upper Silesian Coal Basin, and its influence on natural environment*. 5th International Mine Water Congress. Nottingham, International Mine Water Association 1994.
11. Lebecka J., Skubacz K., Chałupnik S., Wysocka M.: *Skażenia promieniotwórcze środowiska naturalnego na Górnym Śląsku powodowane przez wody kopalniane i promieniotwórcze osady*. Wiadomości Górnicze 1991 nr 6.
12. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki: *Wytyczne kontroli skażeń promieniotwórczych środowiska naturalnego powodowanych przez kopalnie węgla kamiennego*. Katowice MGİE 1986.
13. Paschoa A.S., Nobrega A.W.: *Non-nuclear mining with radiological implications in Araxa*. International Conference On Radiation Hazards in Mining, Golden, Colorado, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers Inc. 1981.
14. Peic T. i inni: *Formation waters from oil and natural gas production: potential polluting source by Radium-226*. International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE-VI). W: Environment International. Vol. 22, supl. 1. London, Pergamon Press 1996.

15. Rajaretnam G., Spitz, H.B.: *Effect of leachability on environmental risk assessment for naturally occurring radioactivity materials in petroleum oil fields*. Health Physics 2000 Vol. 78 (2).
16. Rogoż M., Posyłek E.: *Górnictwo i geologiczne metody ograniczania zrzutów słonych wód z kopalń węgla kamiennego*. Materiały konferencji nt. Kierunki zagospodarowania zasolonych wód z kopalń węgla kamiennego. Katowice, GIG 1991.
17. Skowronek J. i inni: *Źródła narażenia radiacyjnego w kopalniach węgla*. W: Naturalna promieniotwórczość w środowisku, rozdział 3. Katowice, GIG (w druku).
18. Skubacz K., Lebecka J., Chałupnik S., Wysocka M.: *Possible changes in radiation background of the natural environment caused by coal mines activity*. International Symposium on Nuclear Techniques in Exploration and Exploitation of Energy and Mineral Resources. IAEA-SM-308. Vienna, IAEA 1990.
19. Tomza I., Lebecka J.: *Radium-bearing waters in coal mines: occurrence, methods of measurements and radiation hazard*. International Conference on Radiation Hazards in Mining, Golden, Colorado. American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers Inc. 1981.
20. Wysocka M. i inni: *Bilans ładunków substancji promieniotwórczych w dopływach wody do kopalń węgla kamiennego i kopalń zagłębia miedziowego*. Dokumentacja GIG w ramach projektu celowego KBN *Strategia i działania ograniczające zasolenie wód*. Katowice, GIG 1995 (niepublikowana).
21. Zgadzaj J., Skubacz K., Chałupnik S.: *The influence of radon and it's progeny emitted from the exhaust shafts of coal mines on the contamination of the outdoor air*. International Conference on Technologically enhanced natural radiation caused by non-uranium mining. Katowice, GIG 1996.

Recenzent: dr hab. inż. Marek Rogoż, prof. GIG

Andrzej Krowiak, Damian Grela, Krystyna Nowakowska

MODEL EKONOMICZNY SZACOWANIA NAKŁADÓW, KOSZTÓW I KORZYŚCI Z ZASTOSOWANIA SELEKTYWNEJ ZBIÓRKI ODPADÓW KOMUNALNYCH

Streszczenie

Artykuł zawiera opis metody budowy modelu matematycznego pozwalającego na symulację efektów ekonomicznych zastosowania selektywnej zbiórki odpadów komunalnych.

Economic model for assessment of outlays, costs and benefits arising from selective communal waste collection

Summary

In this paper the principles were presented of a mathematical model enabling to assess economic effects of selective collection of communal waste

1. WPROWADZENIE

Selektywna zbiórka odpadów komunalnych i w następstwie tego odzyskiwanie części surowców wtórnych ma nie tylko aspekt ekologiczny i społeczny. Problem ten należy rozpatrywać również pod kątem relacji ekonomicznych, gdyż wyniki analiz mogą być pomocne przy podejmowaniu decyzji nie tylko o samym wdrożeniu systemu, ale również przy określaniu technik selekcji i organizacji tego procesu.

W artykule przedstawiono jedną z form odzysku surowców wtórnych z odpadów komunalnych, tzw. selektywną zbiórkę „u źródła” – czyli segregowanie poszczególnych odpadów (frakcji) i wrzucanie ich do odpowiednio opisanych pojemników lub worków plastikowych. Dokonano analizy ekonomicznej nakładów, kosztów i korzyści stosowania selektywnej zbiórki odpadów komunalnych w porównaniu z nakładami, kosztami i korzyściami wynikającymi z bezpośredniego wywozu całości odpadów na wysypisko. Sporządzono modele matematyczne obliczeń (z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego) oraz przeprowadzono rachunek nakładów, kosztów i korzyści dla danych modelowych.

W opracowaniu opisano uniwersalne narzędzie obliczeniowe do wielokrotnego zastosowania z wykorzystaniem różnych zestawów danych źródłowych i założeń oraz dokonano symulacji wyników dla określonej populacji mieszkańców i różnego charakteru zabudowy. Obliczenia symulacyjne prowadzono dla dwóch wariantów:

- wariant A* – odpady wytwarzane przez mieszkańców zabudowy wielorodzinnej zwartej,
- wariant B* – odpady wytwarzane przez mieszkańców zabudowy jednorodzinnej rozproszonej.

Poszczególne warianty analizowano w dwóch układach (rys. 1):

układ I – całość odpadów kierowana bezpośrednio na wysypisko,

układ II – częściowa selekcja odpadów komunalnych, ze wzrastającym udziałem tej selekcji w czasie.

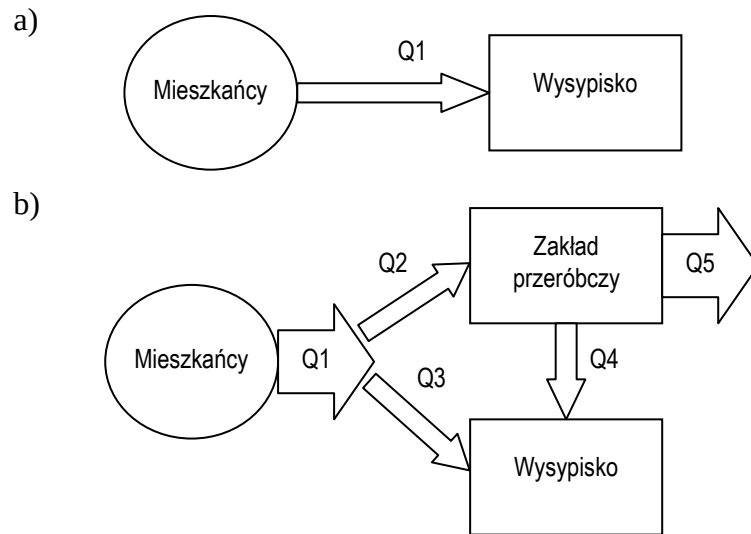
Analiza obejmowała populację 10 000 mieszkańców – w obydwu wariantach.

Uwzględniono w niej czas, a także dynamiczne zmiany założonych ilości wytwarzanych odpadów komunalnych oraz dynamiczne zmiany stopnia selekcji odpadów. Czas analizy obejmuje lata 2001–2005.

W obliczeniach przyjęto hipotezę stałych cen i kosztów, traktując jako bazowe dane z 2001 roku.

2. BILANS MAS

Bilanse strumieni odpadów przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Model usuwania odpadów: a – całość odpadów kierowana bezpośrednio na wysypisko, b – częściowa selekcja odpadów ze wzrastającym udziałem selekcji w czasie

Fig. 1. Model of waste removal: a – total volume of waste is delivered directly to the waste dump, b – partial selection of waste with an increasing share of selection in time

- dla układu I:
– strumień odpadów Q_1 kierowany jest bezpośrednio i w całości na wysypisko;
- dla układu II rozkład strumieni przedstawia się według zależności:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3,$$

$$Q_2 = Q_4 + Q_5,$$

gdzie:

Q_1 – strumień odpadów wytwarzanych przez mieszkańców,

- Q₂ – strumień wyselekcjonowanych odpadów kierowany do zakładu przeróbki,
 Q₃ – strumień części odpadów kierowany na wysypisko, wynikający z częściowego wdrożenia selektywnej zbiórki odpadów,
 Q₄ – strumień odpadów reszkowych z zakładu przeróbki kierowany na wysypisko,
 Q₅ – strumień surowców wtórnych odzyskanych z odpadów, przeznaczony do sprzedaży.

3. ZAŁOŻENIA

Do obliczeń symulacyjnych przyjęto następujące założenia:

a) Skład morfologiczny odpadów dla obu układów:

Rodzaj odpadów (frakcje)	MODEL A – budownictwo wielorodzinne skoncentrowane, % wag	MODEL B – budownictwo jednorodzinne rozproszone, % wag
Papier, tektura, tekstylia	25,4	13,4
Tworzywa sztuczne	8,7	7,9
Szkło	7,3	8,7
Metale	2,5	3,5
Odpady organiczne	36,9	23,9
Odpady mineralne i pozostałe	19,2	42,6
Łącznie	100,0	100,0

Źródło: Dane opracowane przez mgr inż. A. Rejman-Burzyńską.

b) wskaźnik zanieczyszczeń:

- system pojemnikowy – 20%,
- system workowy – 5%;

c) wskaźniki nagromadzenia odpadów:

- model A – 260 kg/rok w przeliczeniu na jednego mieszkańca,
- model B – 226 kg/rok w przeliczeniu na jednego mieszkańca;

d) dynamika wzrostu ilości odpadów w czasie

- zawarta jest w tablicach 1.1 i 1.2;

e) dynamika wskaźnika odzysku odpadów (procent odpadów podlegających selektywnej zbiórce) zawarta jest w tablicach 2.1.2 i 2.2.2;

f) koszty jednostkowe zakupu pojemników, worków i zestawów workowo-wieszakowych:

- pojemniki – 600 zł/szt.,
- worki – 0,51 zł/szt.,
- zestawy workowo-wieszakowe – 10 zł/szt.;

- g) pojemności:
- pojemnik – 1,1 m³,
 - worek – 0,1 m³;
- h) zapotrzebowanie na pojemniki:
- zestaw 4 pojemników na 500 mieszkańców;
- i) proporcje rodzaju metali w odpadach:
- aluminium i inne metale kolorowe – 20%,
 - metale żelazne – 80%;
- j) stawki opłat ekologicznych za składowanie odpadów:
- tworzywa sztuczne – 22,80 zł/t,
 - metale – 13,80 zł/t,
 - papier i tektura – 22,80 zł/t,
 - szkło – 18,30 zł/t,
 - odpady organiczne – 22,80 zł/t,
 - odpady mineralne i pozostałe – 22,80 zł/t;
- k) przychody jednostkowe ze sprzedaży surowców wtórnych
- tworzywa sztuczne – 300 zł/t,
 - metale (średnio) – 120 zł/t,
 - papier i tektura – 100 zł/t,
 - szkło – 50 zł/t;
- l) koszty odbioru i transportu:
- wariant A: przewóz odpadów bezpośrednio na wysypisko – 145 zł/t,
 - wariant A: przewóz zawartości pojemników do zakładu przeróbki – 101 zł/kurs,
 - wariant A: przewóz odpadów z zakładu przeróbki na wysypisko – 35 zł/t,
 - wariant B: przewóz odpadów bezpośrednio na wysypisko – 155 zł/t,
 - wariant B: przewóz worków do zakładu przeróbki – 115 zł/kurs,
 - wariant B: przewóz odpadów z zakładu przeróbki na wysypisko – 35 zł/t.

4. MODEL EKONOMICZNY

Model ekonomiczny do prowadzenia symulacji został sporządzony na podstawie wzajemnie powiązanych tablic – w arkuszu kalkulacyjnym EXCEL. Zastosowano odpowiednią symbolikę numeracji tych tablic. Na przykład w tablicy x.y.z: x oznacza numer tablicy, y = 1 – dane dotyczące Wariantu A, y = 2 – dane dotyczące Wariantu B, z = 1 – dane dotyczące układu I, z = 2 – dane dotyczące układu II.

W **tablicach 1.1 oraz 2.1: Strumień wytworzonych odpadów** – podano wynikające z założeń ilości odpadów wytwarzanych przez daną populację mieszkańców

i w danym wariantcie – z podaniem wartości wagowych i objętości. W tablicy tej założono również dynamikę przyrostu ilości odpadów w czasie, z podziałem na rodzaje.

W **tablicach 5.1.1. oraz 5.2.1: Koszty transportu i zagospodarowania odpadów kierowanych na składowisko** – zawarto dane o kosztach dla układu I, tj. wywozu całości odpadów bezpośrednio na wysypisko. Układ ten został potraktowany jako odniesienie do porównań nakładów i korzyści wynikających z wdrożenia systemu selektywnej zbiórki odpadów.

W **tablicach 2.1.2 oraz 2.2.2: Strumień odpadów selekcjonowanych kierowanych do zakładu przeróbki** – podano ilości tych odpadów wstępnie selekcjonowanych „u źródła” i przewożonych do dalszej selekcji i konfekcjonowania w zakładzie przeróbki.

W **tablicach 3.1.2 oraz 3.2.2: Strumień surowców odzyskanych do sprzedaży** – wyliczono ilości surowców wtórnych odzyskanych w zakładzie przeróbki z wstępnie wyselekcjonowanych odpadów.

W **tablicach 4.1.2 oraz 4.2.2: Bilans odpadów kierowanych na składowisko** – zawarto dane o masie odpadów kierowanych bezpośrednio na składowisko z tytułu częściowego wdrożenia systemu selektywnej zbiórki odpadów oraz masę odpadów kierowanych na wysypisko z zakładu przeróbki.

W **tablicach 5.1.2 oraz 5.2.2: Koszty odpadów kierowanych na składowisko** – zawarto dane o kosztach wywozu części odpadów, które nie podlegają selekcji „u źródła”, bezpośrednio na wysypisko.

W **tablicach 6.1.2 oraz 6.2.2: Przychody ze sprzedaży surowców wtórnych** – podano prognozowane przychody ze sprzedaży wyselekcjonowanych i konfekcjonowanych frakcji odpadów.

W **tablicy 7.1.2: Zapotrzebowanie na pojemniki** – wyliczono zapotrzebowanie na krotność rotacji pojemników w ciągu roku. Wielkości te zostały dalej wykorzystane do wyliczania kosztów transportu wstępnie poselekcjonowanych odpadów do zakładu przeróbki. Odpowiednio w **tablicy 7.2.2: Zapotrzebowanie na worki i zestawy workowo-wieszakowe** – wyliczono roczne zapotrzebowanie na worki plastikowe oraz zestawy do ich zawieszania.

W **tablicach 8.1.2 oraz 8.2.2: Koszty transportu surowców wtórnych do zakładu przeróbki** – zawarto wyliczenia tych kosztów.

W **tablicach 9.1.2 oraz 9.2.2: Koszty dodatkowego sortowania i przygotowania do sprzedaży** – podano wyliczenia kosztów przeróbki, dodatkowego sortowania oraz konfekcjonowania surowców wtórnych.

W **tablicach 10.1 oraz 10.2: Bilanse nakładów, kosztów i korzyści** – zawarto dane służące do porównania układów I i II. W pozycji saldo kosztów i korzyści podano w wymiarze kosztowym, na ile układ II jest ekonomicznie korzystniejszy (lub niekorzystny) od układu I.

5. WNIOSKI

Końcowym wynikiem analizy jest strumień pieniądza będący różnicą między nakładami i kosztami zagospodarowania odpadów w ramach układów I i II. W układzie II przyjęto, że przychody ze sprzedaży surowców wtórnych są korzyścią, czyli pomniejszają koszty realizacji przedsięwzięcia.

1. Skumulowane saldo strumieni pieniężnych dla wariantu A (zabudowa wielorodzinna skoncentrowana) wyniesie: 120 587 zł do końca 2005 roku. Oznacza to, że wdrożenie systemu selektywnej zbiórki odpadów, przy podanych założeniach, jest ekonomicznie opłacalne.
1. Skumulowane saldo strumieni pieniężnych dla wariantu B (zabudowa jednorodzinna rozproszona) wyniesie: (–) 43 020 zł do końca 2005 roku. Oznacza to, że przyjęcie w ostatnim roku analizy maksymalnego procentu selektywnej zbiórki odpadów w wysokości 40% jest niewystarczające do uzyskania pozytywnego efektu ekonomicznego.
2. W wariantcie B zrównanie efektów ekonomicznych układów I i II następuje dopiero przy wdrożeniu stopnia selektywnej zbiórki odpadów w wysokości 76%.
3. W wariantcie A, przy wskaźniku wdrożenia selektywnej zbiórki odpadów w wysokości 7% uzyskuje się ujemny strumień pieniądza. Dodatni strumień uzyskuje się, gdy wskaźnik ten wynosi 20%.
4. Koszty zastosowania worków do selektywnej zbiórki odpadów są o około 20% większe od kosztów zastosowania pojemników.

Tablica 1.1. Strumień wytworzonych odpadów (dla budownictwa wielorodzinnego)

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
Bilans wagowy, t							
1.	Papier, tektura, tekstylia	660,4	673,6	687,1	700,8	714,8	3 436,7
2.	Tworzywa sztuczne	226,2	233,0	240,0	247,2	254,6	1 200,9
3.	Szkło	189,8	193,6	197,5	201,4	205,4	987,7
4.	Metale	65,0	65,7	66,3	67,0	67,6	331,6
5.	Odpady organiczne	959,4	978,6	998,2	1 018,1	1 038,5	4 992,8
6.	Odpady mineralne i pozostałe	499,2	509,2	519,4	529,8	540,4	2 597,9
7.	Inne zanieczyszczenia	520,0	530,7	541,7	552,9	564,3	2 709,5
	RAZEM	3 120,0	3 184,3	3 250,0	3 317,1	3 385,6	16 257,1
Bilans objętościowy, m ³							
8.	Papier, tektura, tekstylia	6 003,6	6 123,7	6 246,2	6 371,1	6 498,5	31 243,2
9.	Tworzywa sztuczne	5 655,0	5 824,7	5 999,4	6 179,4	6 364,8	30 023,2
10.	Szkło	998,9	1 018,9	1 039,3	1 060,1	1 081,3	5 198,6
11.	Metale	331,6	334,9	338,3	341,7	345,1	1 691,7
12.	Odpady organiczne	2 741,1	2 796,0	2 851,9	2 908,9	2 967,1	14 265,0
13.	Odpady mineralne i pozostałe	832,0	848,6	865,6	882,9	900,6	4 329,8
14.	Inne zanieczyszczenia	3 312,5	3 389,4	3 468,1	3 548,8	3 631,5	17 350,3
	RAZEM	19 874,8	20 336,2	20 808,8	21 292,9	21 788,8	104 101,6
Dynamika zmian, %							
15.	Papier, tektura, tekstylia	100,0%	102,0%	102,0%	102,0%	102,0%	
16.	Tworzywa sztuczne	100,0%	103,0%	103,0%	103,0%	103,0%	
17.	Szkło	100,0%	102,0%	102,0%	102,0%	102,0%	
18.	Metale	100,0%	101,0%	101,0%	101,0%	101,0%	
19.	Odpady organiczne	100,0%	102,0%	102,0%	102,0%	102,0%	
20.	Odpady mineralne i pozostałe	100,0%	102,0%	102,0%	102,0%	102,0%	

WARIANT A

Układ I

Tablica 5.1.1. Koszty transportu i zagospodarowania odpadów kierowanych na składowisko

Lp.	Koszty	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
	Oplata za składowanie	171 600	175 138	178 752	182 441	186 209	894 140
1.	Papier, tektura, tekstylia	36 322	37 048	37 789	38 545	39 316	189 021
2.	Tworzywa sztuczne	12 441	12 814	13 199	13 595	14 002	66 051
3.	Szkło	10 439	10 648	10 861	11 078	11 300	54 325
4.	Metale	3 575	3 611	3 647	3 683	3 720	18 236
5.	Odpady organiczne	52 767	53 822	54 899	55 997	57 117	274 602
6.	Odpady mineralne i pozostałe	27 456	28 005	28 565	29 137	29 719	142 882
7.	Inne zanieczyszczenia	28 600	29 190	29 792	30 407	31 035	149 023
	Oplata ekologiczna	71 136,0	72 602,8	74 100,7	75 630,2	77 192,1	370 661,8
1.	Papier, tektura, tekstylia	15 057	15 358	15 665	15 979	16 298	78 358
2.	Tworzywa sztuczne	5 157	5 312	5 471	5 636	5 805	27 381
3.	Szkło	4 327	4 414	4 502	4 592	4 684	22 520
4.	Metale	1 482	1 497	1 512	1 527	1 542	7 560
5.	Odpady organiczne	21 874	22 312	22 758	23 213	23 677	113 835
6.	Odpady mineralne i pozostałe	11 382	11 609	11 842	12 078	12 320	59 231
7.	Inne zanieczyszczenia	11 856	12 100	12 350	12 605	12 865	61 777
	Koszty transportu	452 400	461 728	471 254	480 981	490 915	2 357 279
1.	Odpady zmieszane	452 400	461 728	471 254	480 981	490 915	2 357 279
	RAZEM	695 136	709 470	724 106	739 053	754 316	3 622 081

Założenia:

Oplata za składowanie	55 zł/t,
Koszty transportu (średnio)	145 zł/t (22,76 zł/m ³),
Oplaty ekologiczne	
Papier, tektura, tekstylia	22,8 zł/t,
Tworzywa sztuczne	22,8 zł/t,
Szkło	18,3 zł/t,
Metale	13,8 zł/t,
Odpady organiczne	22,8 zł/t,
Odpady mineralne i pozostałe	22,8 zł/t.

WARIANT A

Układ II

2.1.2. Strumień odpadów selekcyjonowanych kierowanych do zakładu przeróbki

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2009	Razem
	Bilans wagowy, t						
1.	Papier tektura, tekstylia	46,2	134,7	171,8	210,2	285,9	848,9
2.	Tworzywa sztuczne	15,8	46,6	60,0	74,2	101,8	298,4
3.	Szkło	133	38,7	49,4	60,4	82,2	244,0
4.	Metale	4,6	13,1	16,6	20,1	27,1	81,4
	RAZEM	79,9	233,2	297,7	364,9	497,0	1 472,7
	Bilans objętościowy, m ³						
7.	Papier, tektura, tekstylia	420,3	1 224,7	1 661,5	1 911,3	2 599,4	7 717,3
8.	Tworzywa sztuczne	395,9	1 164,9	1 499,8	1 853,6	2 545,9	7 460,3
9.	Szkło	69,9	203,8	259,8	318,0	432,5	1 284,1
10.	Metale	23,2	67,0	84,6	102,5	138,0	415,3
	RAZEM	909,2	2 660,4	3 405,8	4 185,7	5 715,9	16 877,0
	Wskaźnik odzysku surowców wtórnych						
	Papier, tektura, tekstylia	0,07	0,20	0,25	0,30	0,40	
	Tworzywa sztuczne	0,07	0,20	0,25	0,30	0,40	
	Szkło	0,07	0,20	0,25	0,30	0,40	
	Metale	0,07	0,20	0,25	0,30	0,40	

Tablica 3.1.2. Strumień surowców odzyskanych do sprzedaży

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
Bilans wagowy, t							
1.	Papier tektura, tekstylia	41,6	122,6	159,7	199,7	277,4	801,0
2.	Tworzywa sztuczne	14,3	424	55,8	70,4	98,8	281,7
3.	Szkło	12,0	35,2	45,9	57,4	79,7	230,2
4.	Metale	4,1	11,9	15,4	19,1	26,2	76,8
	RAZEM	71,9	212,2	276,9	346,7	482,1	1 388,7
Bilans objętościowy, m ³							
7.	Papier tektura, tekstylia	378,2	1 114,5	1 452,2	1 815,8	2521,4	7 282,2
8.	Tworzywa sztuczne	356,3	1060,1	1 394,9	1 761,1	2 489,5	7041,9
9.	Szkło	629	185,4	241,6	302,1	419,5	1 211,7
10.	Metale	20,9	61,0	78,7	97,4	133,9	391,6
	RAZEM	818,3	2421,0	3 167,4	3 976,4	5544,4	15 927,5
Wskaźnik odzysku surowców wtórnych							
	Papier tektura, tekstylia	0,90	0,91	0,83	0,95	0,97	
	Tworzywa sztuczne	0,90	0,91	0,93	0,95	0,97	
	Szkło	0,90	0,91	0,93	0,95	0,97	
	Metale	0,90	0,91	0,93	0,95	0,97	

Tablica 5.1.2. Koszty odpadów kierowanych na składowisko

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
Bilans wagowy, t							
	Oplata za składowanie	167601	163364	163444	163 324	159669	817403
1.	Papier, tektura, tekstylia	34008	30246	28957	27531	24047	144 789
2.	Tworzywa sztuczne	11 649	10461	10114	9710	8564	50 488
3.	Szkło	9774	8693	8322	7912	6911	41613
4.	Metale	3347	2948	2794	2631	2275	13996
5.	Odpady organiczne	52767	53822	54899	55997	57117	274602
6.	Odpady mineralne i pozostałe	27456	28005	28565	29137	29719	142882
7.	Inne zanieczyszczenia	28600	29190	29792	30407	31 035	149 023
	Oplata ekologiczna	69478	67722	67755	67705	66 190	338 851
1.	Papier, tektura, tekstylia	14098	12538	12004	11 413	9969	60 022
2.	Tworzywa sztuczne	4829	4337	4193	4025	3550	20 934
3.	Szkło	4052	3603	3450	3280	2865	17 250
4.	Metale	1 388	1 222	1 158	1 091	943	5 802
5.	Odpady organiczne	21 874	22312	22758	23213	23677	113 835
6.	Odpady mineralne i pozostałe	11 382	11 609	11 842	12078	12320	59 231
7.	Inne zanieczyszczenia	11 856	12100	12350	12605	12866	61 777
	Koszty transportu odpadów bezpośrednio na wysypisko	440815	427 919	428087	428069	418849	2 143 738
	Odpady zmieszane	440815	427919	428087	428 069	418849	2 143 738
	Koszty transportu odpadów do zakładu przeróbki	7263	21430	27964	35014	48692	140362
	Koszty transportu odpadów z zakładu przeróbki na wysypisko	252	668	678	607	506	2711
1.	Odpady zmieszane	252	668	678	607	506	2711
	RAZEM	685 409	681 104	687 927	694719	693906	3443065

Założenia:

Oplata za składowanie

55 zł/t,

Koszty transportu (średnio) odpadów bezpośrednio na wysypisko

145 zł/t,

Koszty transportu odpadów do zakładu przeróbki

101 zł/kurs,

Koszty transportu (średnio) odpadów z zakładu przeróbki na wysypisko	35 zł/t,
Oplaty ekologiczne	zł/t,
Papier, tektura, tekstylia	22,8 zł/t,
Tworzywa sztuczne	22,8 zł/t,
Szkło	18,3 zł/t,
Metale	13,8 zł/t,
Odpady organiczne	22,8 zł/t,
Odpady mineralne i pozostałe	22,8 zł/t,
Inne zanieczyszczenia	22,8 zł/t.

Tablica 4.1.2. Bilans odpadów kierowanych na składowisko

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
	Odpady kierowane bezpośrednio						
		3 040,1	2 951,2	2952,3	2952,2	2888,6	14 784,4
1.	Papier, tektura, tekstylia	614,2	538,9	515,3	490,6	428,9	2587,8
2.	Tworzywa sztuczne	210,4	186,4	160,0	173,0	152,8	902,5
3.	Szkło	176,5	154,9	148,1	141,0	123,3	743,8
4.	Metale	60,5	52,5	49,7	46,9	40,6	250,2
6.	Odpady organiczne	959,4	978,6	998,2	1 018,1	1 038,5	4992,8
6.	Odpady mineralne i pozostałe	499,2	509,2	519,4	529,8	540,4	2597,9
7.	Inne zanieczyszczenia	520,0	530,7	541,7	552,9	564,3	2709,5
	Odpady kierowane z zakładu przeróbki						
		7,2	19,1	19,4	17,3	14,5	77,5
	Papier tektura tekstylia	4,2	11,0	11,2	10,0	8,3	44,7
	Tworzywa sztuczne	14	3,8	3,9	3,5	3,0	15,8
	Szkło	1,2	3,2	3,2	2,9	2,4	12,8
	Metale	0,4	1,1	1,1	1,0	0,8	4,3
	RAZEM	3047,3	2 970,3	2 971,7	2969,5	2903,1	14 861,9

WARIANT A

Układ II

Tablica 6.1.2. Przychody ze sprzedaży surowców wtórnych

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
1.	Papier, tektura, tekstylia	4 161	12 260	15 975	19 973	27 736	80 104
2.	Tworzywa sztuczne	4 275	12 721	16 738	21 133	29 634	84 502
3.	Szkło	598	1 762	2 296	2 870	3 986	11 511
4.	Metale	491	1 434	1 850	2 290	3 149	9 215
	RAZEM	9 525	28 176	36 858	46 267	64 505	185 332

Założenia:

Ceny jednostkowe sprzedaży surowców wtórnych:

Papier, tektura, tekstylia	100 zł/t,
Tworzywa sztuczne	300 zł/t,
Szkło	50 zł/t,
Metale	120 zł/t.

Tablica 7.8.2. Zapotrzebowanie na pojemniki (krotność) i koszt ich zakupu

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
1.	Papier, tektura, tekstylia	462	1 347	1 718	2 102	2 859	8 489,0
2.	Tworzywa sztuczne	435	1 281	1 650	2 039	2 800	8 206,4
3.	Szkło	77	224	286	350	476	1 412,5
4.	Metale	26	74	93	113	152	456,9
5.	Koszt zakupu pojemników, zł	48 000	4 800	4 800	4 800	4 800	67 200

Założenia:

Pojemność pojemnika na surowce wtórne, 1,1 m³,
Liczba zakupionych pojemników w 2001: 80.

Tablica 8.9.2. Koszty transportu surowców wtórnych do zakładu przeróbki

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
1.	Papier, tektura, tekstylia	7 365	21 464	27 366	33 496	45 555	135 247,0
2.	Tworzywa sztuczne	6 937	20 416	26 285	32 488	44 617	130 743,9
3.	Szkło	1 225	3571	4 554	5 573	7 580	22 503,8
4.	Metale	407	1 174	1 482	1 796	2 419	7 278,6
	RAZEM	15 934,7	46 624,9	59 687,2	73 354,8	100 171,7	295 773,3

Założenia:

Koszt transportu 15,93 zł/m³.

Tablica 9.1.2. Koszty dodatkowego sortowania i przygotowania do sprzedaży zakładowi przeróbki

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
1.	Papier, tektura, tekstylia	3 404	10 031	13 070	16 342	22 693	65 540
2.	Tworzywa sztuczne	4 988	14 841	19 528	24 656	34 573	98 586
3.	Szkło	503	1 484	1 933	2 417	3 356	9 693
4.	Metale	146	427	551	682	937	2 742
	RAZEM	9 041	26 782	35 082	44 096	61 560	176 562

Założenia:

Wskaźniki kosztów jednostkowych, zł/m³,

Papier, tektura, tekstylia 9,

Tworzywa sztuczne 14,

Szkło 8,

Metale 7.

PORÓWNANIE – WARIANT A

Tablica 10.1. Bilans nakładów kosztów i korzyści, zł

Lp.	Wyszczególnienie	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
	Układ I: Brak selektywnej zbiórki odpadów (koszty)	695 136	709 470	724 106	739 053	754 316	3 622 081
1.	Oplata za składowanie	171 600	175 138	178 752	182 441	186 209	894 140
2.	Oplata ekologiczna	71 136	72 603	74 101	75 630	77 192	370 662
3.	Koszty transportu	452 400	461 728	471 254	480 981	490 915	2 357 279
	Układ II: Selektywna zbiórka odpadów (koszty)	742 450	712 687	727 809	743 615	760 266	3 686 826
4.	Oplata za składowanie	167 601	163 364	163 444	163 324	159 669	817 403
5.	Oplata ekologiczna	69 478	67 722	67 755	67 705	66 190	338 851
6.	Koszty transportu bezpośrednio na wysypisko	440 815	427 919	428 087	428 069	418 849	2 143 738
7.	Koszty transportu do zakładu przeróbki odpadów	7 263	21 430	27 964	35 014	48 692	140 362
8.	Koszty dodatkowego sortowania i przygotowania do sprzedaży	9041	26 782	35 082	44 096	61 560	176 562
9.	Koszt zakupu pojemników	48 000	4 800	4 800	4 800	4 800	67 200
10.	Koszt transportu z zakładu przeróbki na składowisko odpadów	252	668	678	607	506	2711
	Korzyści wynikające ze sprzedaży surowców wtórnych	9 525	28 176	36 858	46 267	64 505	185 332
11.	Przychody ze sprzedaży	9 525	28 176	36 858	46 267	64 505	185 332
	Saldo kosztów i korzyści	-37 789	24 959	33 156	41 705	58 555	120 587

Tablica 1.2. Strumień wytworzonych odpadów (budownictwa jednorodzinnego)

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
Bilans wagowy, t							
1.	Papier, tektura, tekstylia	302,8	308,9	315,1	321,4	327,8	1 576,0
2.	Tworzywa sztuczne	178,5	183,9	189,4	195,1	200,9	947,9
3.	Szkło	196,6	200,6	204,6	208,7	212,8	1 023,2
4.	Metale	79,1	79,9	80,7	81,5	82,3	403,5
5.	Odpady organiczne	540,1	550,9	562,0	573,2	584,7	2 810,9
6.	Odpady mineralne i pozostałe	962,8	982,1	1 001,7	1 021,7	1 042,2	5 010,4
7.	Inne zanieczyszczenia	113,0	115,3	117,7	120,1	122,5	588,6
	RAZEM	2 373,0	2 306,2	2 353,4	2 401,6	2 450,7	11 885,0
Bilans objętościowy, m ³							
8.	Papier, tektura, tekstylia	2 753,1	2808,2	2 864,3	2 921,6	2 980,0	14 327,2
9.	Tworzywa sztuczne	4 463,5	4 597,4	4 735,3	4 877,4	5 023,7	23 697,3
10.	Szkło	1 034,8	1 055,5	1 076,6	1 098,2	1 120,1	5 385,4
11.	Metale	403,6	407,6	411,7	415,8	420,0	2 058,6
12.	Odpady organiczne	1 543,3	1 574,1	1 605,6	1 637,7	1 670,5	8 031,2
13.	Odpady mineralne i pozostałe	1 604,7	1 636,8	1 669,5	1 702,9	1 736,9	8 350,7
14.	Inne zanieczyszczenia	590,1	604,0	618,2	632,7	647,6	3 092,5
	RAZEM	12 393,1	12683,6	12 981,2	13 286,3	13 598,8	64 942,9
Dynamika zmian, %							
15.	Papier, tektura, tekstylia	100,0%	102,0%	102,0%	102,0%	102,0%	
16.	Tworzywa sztuczne	100,0%	103,0%	103,0%	103,0%	103,0%	
17.	Szkło	100,0%	102,0%	102,0%	102,0%	102,0%	
18.	Metale	100,0%	101,0%	101,0%	101,0%	101,0%	
19.	Odpady organiczne	100,0%	102,0%	102,0%	102,0%	102,0%	
20.	Odpady mineralne i pozostałe	100,0%	102,0%	102,0%	102,0%	102,0%	

WARIANT B

Układ I

Tablica 5.2.1. Koszty transportu i zagospodarowania odpadów kierowanych na składowisko

Lp.	Koszty	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
	Oплата za składowanie	13 0517	133 185	135 909	138 690	141 529	679 830
1.	Papier, tektura, tekstylia	16 656	16 989	17 329	17 676	18 029	86 680
2.	Tworzywa sztuczne	9 820	10 114	10 418	10 730	11 052	52 134
3.	Szkło	10 814	11 030	11 251	11 476	11 706	56 277
4.	Metale	4 351	4 394	4 438	4 482	4 527	22 192
5.	Odpady organiczne	29 708	30 302	30 908	31 526	32 157	154 600
6.	Odpady mineralne i pozostałe	52 954	54 013	55 093	56 195	57 319	275 575
7.	Inne zanieczyszczenia	6 215	6 342	6 472	6 604	6 739	32 373
	Oплата ekologiczna	54 105	55 211	56 340	57 493	58 670	281 821
8.	Papier, tektura, tekstylia	6 905	7 043	7 184	7 327	7 474	35 933
9.	Tworzywa sztuczne	4 071	4 193	4 319	4 448	4 582	21 612
10.	Szkło	4 483	4 573	4 664	4 757	4 852	23 329
11.	Metale	1 803	1 822	1 840	1 858	1 877	9 200
12.	Odpady organiczne	12 315	12 561	12 813	13 069	13 330	64 089
13.	Odpady mineralne i pozostałe	21 952	22 391	22 839	23 295	23 761	114 238
14.	Inne zanieczyszczenia	2 576	2 629	2 683	2 738	2 794	13 420
	Koszty transportu	367 822	357 466	364 777	372 241	379 862	1 842 168
15.	Odpady zmieszane	367 822	357 466	364 777	372 241	379 862	1 842 168
	RAZEM	552 444	545 863	557 026	568 424	580 061	2 803 819

Założenia:

Oplata za składowanie	55 zł/t,
Koszty transportu (średnio)	155 zł/t (27,5 zł/m ³),
Oplaty ekologiczne	
Papier, tektura, tekstylia	22,8 zł/t,
Tworzywa sztuczne	22,8 zł/t,
Szkło	18,3 zł/t,
Metale	13,8 zł/t,
Odpady organiczne	22,8 zł/t,
Odpady mineralne i pozostałe	22,8 zł/t,
Inne zanieczyszczenia	22,8 zł/t.

WARIANT B

Układ I

Tablica 2.2.2. Strumień odpadów selekcyjonowanych kierowanych do zakładu przeróbki

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2009	Razem
Bilans wagowy, t							
1.	Papier tektura, tekstylia	21,2	61,8	78,8	96,4	131,1	389,3
2.	Tworzywa sztuczne	12,5	36,8	47,4	58,5	80,4	235,5
3.	Szkło	13,8	40,1	51,1	62,6	85,1	252,7
4.	Metale	55	16,0	20,2	24,4	32,9	99,1
	RAZEM	53,0	154,6	197,4	242,0	329,6	878,6
Bilans objętościowy, m ³							
5.	Papier, tektura, tekstylia	192,7	561,6	716,1	876,5	1 192,0	3 538,9
6.	Tworzywa sztuczne	312,4	919,5	1 183,8	1 463,2	2 009,5	9 888,5
7.	Szkło	72,4	211,1	269,2	329,5	448,1	1 330,2
8.	Metale	28,3	81,5	102,9	124,7	168,0	505,4
	RAZEM	605,9	1 773,7	2 272,0	2 793,9	3 817,5	11 263,0
Wskaźnik odzysku surowców wtórnych							
	Papier, tektura, tekstylia	0,07	0,20	0,25	0,30	0,40	
	Tworzywa sztuczne	0,07	0,20	0,25	0,30	0,40	
	Szkło	0,07	0,20	0,25	0,30	0,40	
	Metale	0,07	0,20	0,25	0,30	0,40	

Tablica 3.2.2. Strumień surowców odzyskanych do sprzedaży

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2009	Razem
Bilans wagowy, t							
1.	Papier tektura, tekstylia	17,0	51,3	67,0	83,9	118,0	337,1
2.	Tworzywa sztuczne	10,0	30,5	40,3	50,9	72,3	204,0
3.	Szkło	11,0	33,3	43,5	54,5	76,6	218,8
4.	Metale	4,4	13,3	17,1	21,3	29,6	85,7
	RAZEM	42,4	128,4	167,8	210,5	296,6	845,7
Bilans objętościowy, m ³							
7.	Papier, tektura, tekstylia	154,2	466,2	608,7	762,5	1 072,8	3 064,3
8.	Tworzywa sztuczne	250,0	763,2	1 006,3	1 273,0	1 808,5	5 100,9
9.	Szkło	58,0	175,2	228,8	286,6	403,3	1 151,8
10.	Metale	22,6	67,7	87,5	108,5	151,2	437,5
	RAZEM	484,7	1 472,2	1 931,2	2 430,7	3 435,8	9 754,6
Wskaźnik odzysku surowców wtórnych							
	Papier, tektura, tekstylia	0,80	0,83	0,85	0,87	0,90	
	Tworzywa sztuczne	0,80	0,83	0,85	0,87	0,90	
	Szkło	0,80	0,83	0,85	0,87	0,90	
	Metale	0,80	0,83	0,85	0,87	0,90	

Tablica 5.2.2. Koszty odpadów kierowanych na składowisko

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
	Bilans wagowy, t						
	Oplata za składowanie	128069	125 880	126434	126886	125 035	632304
1.	Papier, tektura, tekstylia	15677	14071	13549	12973	11 467	67736
2.	Tworzywa sztuczne	9 242	8377	8 145	7 875	7029	40669
3.	Szkło	10178	9136	8797	8423	7445	43978
4.	Metale	4 095	3639	3470	3290	2879	17373
5.	Odpady organiczne	29708	30302	30908	31526	32157	154600
6.	Odpady mineralne i pozostałe	52 954	54013	55093	56195	57319	275 575
7.	Inne zanieczyszczenia	6215	6342	6472	6 604	6 739	32373
	Oplata ekologiczna	53090	52183	52413	52600	51833	262119
1.	Papier, tektura, tekstylia	6499	5833	5617	5378	4753	28080
2.	Tworzywa sztuczne	3831	3473	3 377	3265	2 914	16859
3.	Szkło	4219	3787	3647	3492	3086	18231
4.	Metale	1 697	1 509	1 436	1 364	1 184	7202
5.	Odpady organiczne	12315	12561	12813	13069	13330	64089
6.	Odpady mineralne i pozostałe	21 952	22391	22839	23295	23761	114238
7.	Inne zanieczyszczenia	2576	2629	2 683	2733	2794	13420
	Koszty transportu odpadów bezpośrednio na wysypisko	359 607	351 369	352413	353345	347774	1 764509
	Odpady zmieszane	359 607	351 369	352413	353345	347774	1 764 509
	Koszty transportu odpadów do zakładu przeróbki	4 876	14 761	19 299	24211	34109	97256
	Koszty transportu odpadów z zakładu przeróbki na wysypisko	4876	14761	19299	24211	34109	97256
1.	Odpady zmieszane	297	764	881	958	1038	3938
	RAZEM	297	764	881	958	1 038	3 938
		549939	544957	551441	558000	559 789	2 760 124

Założenia:

Oplata za składowanie	55 zł/t,
Koszty transportu (średnio) odpadów bezpośrednio na wysypisko	155 zł/t,
Koszty transportu odpadów do zakładu przeróbki	115 zł/kurs,
Koszty transportu (średnio) odpadów z zakładu przeróbki na wysypisko	35 zł/t,
Oplaty ekologiczne	zł/t,
Papier, tektura, tekstylia	22,8 zł/t,
Tworzywa sztuczne	22,8 zł/t,
Szkło	18,3 zł/t,
Metale	13,8 zł/t,
Odpady organiczne	22,8 zł/t,
Odpady mineralne i pozostałe	22,8 zł/t,
Inne zanieczyszczenia	22,8 zł/t.

Tablica 4.2.2. Bilans odpadów kierowanych na składowisko

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
	Odpady kierowane bezpośrednio						
		2 320,0	2 266,9	2 273,6	2 273,6	2 243,7	11 383,9
1.	Papier, tektura, tekstylia	281,6	247,1	236,3	225,0	1967	1 186,7
2.	Tworzywa sztuczne	166,0	147,1	142,1	136,6	120,6	712,4
3.	Szkło	182,9	160,4	153,4	146,1	127,7	770,5
4.	Metale	73,6	63,9	60,5	57,0	49,4	304,4
6.	Odpady organiczne	540,1	550,9	562,0	573,2	584,7	2 810,9
6.	Odpady mineralne i pozostałe	982,8	982,1	1 001,7	1 021,7	1 042,2	5 010,4
7.	Inne zanieczyszczenia	113,0	115,3	117,7	120,1	122,5	588,6
	Odpady kierowane z zakładu przeróbki						
		8,5	21,8	25,2	27,4	29,7	112,5
	Papier tektura tekstylia	3,4	8,7	10,0	10,9	11,8	44,9
	Tworzywa sztuczne	2,0	5,2	6,0	6,6	7,2	27,1
	Szkło	2,2	5,7	6,5	7,1	7,7	29,1
	Metale	0,9	2,3	2,6	2,8	3,0	11,4
	RAZEM	2 328,5	2 288,7	2 298,8	2 307,0	2 273,4	11 496,4

WARIANT B

Układ II

Tablica 6.2.2. Przychody ze sprzedaży surowców wtórnych

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
1.	Papier, tektura, tekstylia	1 696	5 128	6 695	8 388	11 801	33 708
2.	Tworzywa sztuczne	2 999	9 158	12 075	15 276	21 702	61 211
3.	Szkło	551	1 665	2 173	2 723	3 831	10 942
4.	Metale	532	1 591	2 058	2 552	3 556	10 289
	RAZEM	5 777	17 542	23 002	28 939	40 890	116 150

Założenia:

Ceny jednostkowe sprzedaży surowców wtórnych:

Papier, tektura, tekstylia 100 zł/t,

Tworzywa sztuczne 300 zł/t,

Szkło 50 zł/t,

Metale 120 zł/t.

Tablica 7.2.2. Zapotrzebowanie na worki i zestawy workowo-wieszakowe

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
1.	Papier, tektura, tekstylia	1 927	5 616	7 161	8 765	11 920	35 389,2
2.	Tworzywa sztuczne	3 124	9 195	11 838	14 632	20 095	58 884,6
3.	Szkło	724	2 111	2 692	3 295	4 481	13 302,2
4.	Metale	283	815	1 029	1 247	1 680	5 054,2
5.	Zapotrzebowanie na zestawy	140	400	500	600	800	2 440

Założenia:

Pojemność worka na surowce wtórne, – 0,1 m³.

Tablica 8.2.2. Koszty transportu surowców wtórnych do zakładu przeróbki

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
1.	Papier, tektura, tekstylia	37 098	108 114	137 845	168 723	229 463	681 242,1
2.	Tworzywa sztuczne	60 146	177 000	227 888	281 669	386 826	1 333 529
3.	Szkło	13 944	40 638	51 814	63 420	86 251	256 067,8
4.	Metale	5 438	15 693	19 812	24 012	32 337	97 292,5
	RAZEM	116 626,2	341 445,1	437 358,8	537 824,1	734 876,2	2 168 130,4

Założenia:

Koszt transportu 19,25 zł/m³.**Tablica 9.2.2. Koszty dodatkowego sortowania i przygotowania do sprzedaży zakładu przeróbki**

Lp.	Rodzaj odpadów	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
1.	Papier, tektura, tekstylia	1 542	4 662	6 087	7 625	10 728	30 643
2.	Tworzywa sztuczne	3 749	11 448	15 094	19 095	27 128	76 514
3.	Szkło	522	1 577	2 059	2 580	3 629	10 367
4.	Metale	181	541	700	868	1 209	3 500
	RAZEM	5 993	18 227	23 939	30 168	42 695	121 023

Założenia:

Wskaźniki kosztów jednostkowych, zł/m³:

Papier tektura, tekstylia 10,

Tworzywa sztuczne 15,

Szkło 9,

Metale 8.

PORÓWNANIE – WARIANT B**Tablica 10.2. Bilans nakładów kosztów i korzyści, zł**

Lp.	Wyszczególnienie	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
	Układ I: Brak selektywnej zbiórki odpadów (koszty)	552444	545863	557026	568424	580 061	2803819
1.	Opłata za składowanie	130517	133 185	135909	138690	141 529	679 830
2.	Opłata ekologiczna	54105	55211	56340	57493	58670	281 821
3.	Koszty transportu	367 822	357 466	364 777	372 241	379 862	1 842 168
	Układ II: Selektywna zbiórka odpadów (koszty)	556422	576 230	591 968	608417	629 953	2 962 989
4.	Opłata za składowanie	128069	125 880	126434	126886	125035	632 304
5.	Opłata ekologiczna	53090	52 183	52413	52600	51 833	262119
6.	Koszty transportu bezpośrednio na wysypisko	359 607	351 369	352413	353 345	347 774	1 764 509
7.	Koszty transportu do zakładu przeróbki odpadów	4876	14761	19299	24211	34109	97256
8.	Koszty dodatkowego sortowania i przygotowania do sprzedaży	5993	18227	23939	30168	42695	121 023
9.	Koszt zakupu pojemników	4490	13046	16587	20249	27469	81 841
10.	Koszt transportu z zakładu przeróbki na składowisko odpadów	297	764	881	958	1 038	3938
	Korzyści wynikające ze sprzedaży surowców wtórnych	5777	17542	23002	28939	40890	116150
11.	Przychody ze sprzedaży	5777	17542	23002	28939	40890	116150
	Saldo kosztów i korzyści	1800	-12826	-11940	-11053	-9 001	-43020

Recenzent: dr inż. Jacek Grabowski

Henryk Passia

ANEMOMETRIA LASEROWA DO STOSOWANIA W ATMOSFERZE WYBUCHOWEJ

Streszczenie

W artykule przedstawiono strukturę i podstawowe charakterystyki metrologiczne anemometrów: laserowego-konwencjonalnego (typowego dopplerowskiego i interferencyjnego) oraz światłowodowego, opracowanych w Laboratorium Techniki Laserowej GIG. Na podstawie warunków geometrycznych prowadzenia skupionych wiązek laserowych w otoczeniu punktu pomiarowego oraz eksperymentalnie wyznaczonych charakterystyk sygnału pomiarowego w anemometrze dopplerowskim, przeprowadzono analizę potencjalnego zagrożenia wybuchowego wynikającego z występowania, w każdej z prezentowanych wersji urządzenia, skupionych wiązek laserowych w atmosferze wybuchowej, zawierającej cząstki ciała stałego unoszone przez medium, którego prędkość jest mierzona. Wykazano, że wielkość absorbowanej energii wiązki laserowej rozkłada się na około 10 000 cząstek, które mogą się jednocześnie znajdować w otoczeniu punktu pomiarowego konwencjonalnego anemometru laserowego. Powoduje to możliwość istotnego obniżenia jakiegokolwiek progu eksplozywności optycznej podawanego w literaturze. Podobne wnioski wyciągnięto w odniesieniu do anemometru światłowodowego, w którym obniżenie progu eksplozywności optycznej można uzyskać przez zmniejszenie mocy wiązki wyprowadzanej ze światłowodu i zwiększenie średnicy rdzenia światłowodu.

Laser anemometry in application for explosive atmosphere

Summary

The paper presents the structure and principal metrological characteristics of laser anemometers-conventional (typical Doppler and interference ones) and fibre-optic anemometer developed by the Central Mining Institute' Laser Technology Laboratory. On a basis of geometrical conditions of focused laser beams propagation in the surroundings of the measuring point, and of experimentally determined characteristics of the measuring signal in the Doppler anemometer, an analysis was performed of potential explosion hazard resulting from the presence, in each of the presented versions, of focused laser beams in the explosive atmosphere, containing airborne dust particles in the medium, the velocity of which is measured. It has been found that the amount of absorbed energy of the laser beam is distributed over ca. 10 000 particles that are simultaneously met in the vicinity of the measuring point of the conventional laser anemometer. This results in the possibility to depart considerably from any optical explosion limit quoted in the literature. Similar conclusions were drawn in relation to the fibre-optic anemometer, in which the effect of lowering the optical explosion limit can be obtained through reducing the power of the beam launched from the fibre, and through increasing the core diameter of the fibre.

1. WSTĘP

Na początku lat dziewięćdziesiątych w Laboratorium Techniki Laserowej GIG zakończono cykl badań, których wynikiem było opracowanie anemometru laserowego do stosowania w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu. Anemometr ten, typu GAL 5, o konstrukcji ognioszczelnej został poddany próbom w kopalni i w warunkach

symulujących warunki kopalniane, w sztolni doświadczalnej Kopalni Doświadczalnej „Barbara”. W próbach tych porównano charakterystyki urządzenia uzyskane w czasie prób ze szczegółowymi charakterystykami metrologicznymi wyznaczonymi w warunkach laboratoryjnych.

Anemometr laserowy GAL 5 działa jako typowy anemometr dopplerowski, w którym prędkość przepływu wyznacza się z wielkości przesunięcia częstotliwości monochromatycznego promieniowania optycznego będącego konsekwencją rozpraszania tego promieniowania na makrocząstkach unoszonych wraz z poruszającym się medium – gazem lub cieczą. Oprócz tej wersji anemometru opracowano dwa rodzaje anemometrów interferencyjnych z rozpraszaniem wstecznym, w których prędkość przepływu wyznacza się z rejestracji czasu przejścia makrocząstek przez strukturę prążków interferencyjnych utworzoną przez dwie wiązki laserowe w ognisku soczewki głównej, a rejestrowaną jako zaburzenie tej struktury rzutowane wstecz, tj. w kierunku optycznego układu nadawczego. Charakterystyki obydwu rodzajów anemometrów dość szczegółowo omówiono w publikacjach autora i zespołu Laboratorium Techniki Laserowej GIG [1, 2].

W połowie lat dziewięćdziesiątych, w Laboratorium Techniki Laserowej, zaprojektowano anemometr światłowodowy. Zasadę działania tego anemometru, w którym wykorzystano efekt odginania sprężystej płytki pod wpływem ciśnienia wywieranego przez przepływające powietrze, przedstawiono w publikacji [3].

Konstrukcja anemometru typu GAL 5 (i jego modyfikacji), a także konstrukcja anemometru światłowodowego spełniają wymagania przeciwwybuchowości w zakresie zabezpieczenia obwodów elektrycznych tych urządzeń, czy to przez zastosowanie odpowiednich obudów nadajnika i detektora, czy też przez zastosowanie wyłącznie elementów optycznych (światłowodów) w atmosferze potencjalnie wybuchowej. Konstrukcje obydwu rodzajów anemometrów zostały opatentowane [4, 5].

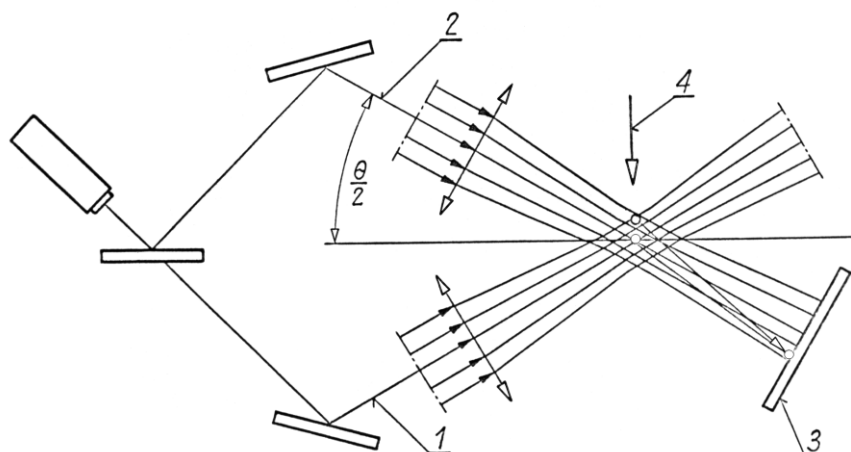
W publikacjach światowych w ostatnich latach analizowany jest jednak problem iskrobezpieczeństwa optycznego, w odniesieniu do występowania skupionych wiązek laserowych w atmosferze potencjalnie wybuchowej i jednocześnie zawierającej cząstki stałe, które mogą być skupionymi centrami absorbującymi energię optyczną, co może spowodować gwałtowny wzrost ich temperatury i ewentualnie wywołać zapalenie się mieszanki wybuchowej, w której te cząstki są unoszone. Przypadek występowania skupionych wiązek dotyczy zarówno „konwencjonalnego” jak i światłowodowego anemometru laserowego.

2. PODSTAWOWA STRUKTURA ANEMOMETRU KONWENCJONALNEGO I ŚWIATŁOWODOWEGO

Zasadę działania anemometru konwencjonalnego przedstawiono na rysunku 1. Uwidoczniono na nim przecinające się skupione wiązki laserowe tworzące punkt pomiarowy.

W anemometrze laserowym typu GAL 5, nadajnik laserowy i detektor umieszczone są w dwóch obudowach ognioszczelnych lasera miniaturowego LM 2. Jest to

możliwe dzięki zastosowaniu dodatkowych elementów kierujących wiązkę laserową wychodzącą z obudowy nadajnika laserowego [3].



Rys. 1. Podstawowa struktura anemometru dopplerowskiego: 1 – wiązka oświetlająca, 2 – wiązka referencyjna, 3 – powierzchnia fotokatody detektora, 4 – kierunek przepływu medium (cieczy lub gazu) unoszącego cząstki rozpraszające

Fig. 1. Basic structure of a Doppler anemometer: 1 – illuminating beam, 2 – reference beam, 3 – detector photocatode area, 4 – direction of flow of the medium (liquid or gas) carrying scattering particles

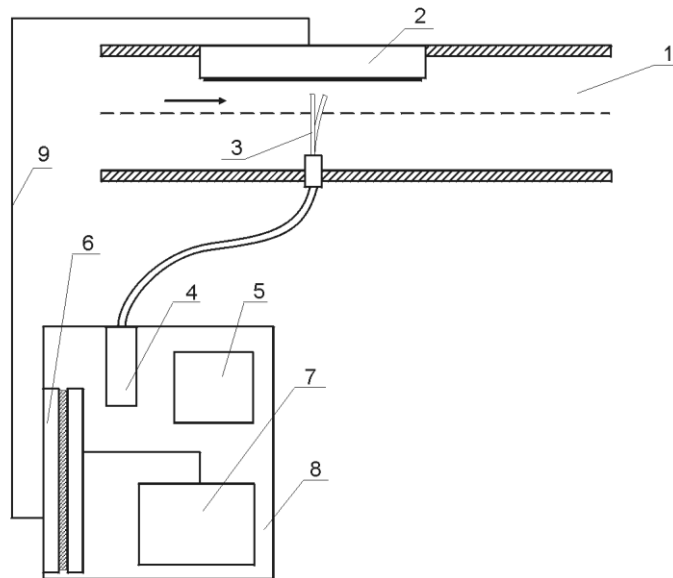
W modernizowanym obecnie anemometrze laserowym przeznaczonym do sterowania procesem spalania w kotłach ciepłowniczych opalanych metanem (typu GAL 5) zastosowano obudowy ognioszczelne nadajnika laserowego EW-3 produkowanego w Laboratorium Techniki Laserowej. Zamiast stosowanego dotąd lasera He-Ne zastosowano laser Nd:YAG (z kryształem KTP), emitujący drugą harmoniczną (SHG) o długości fali 532 nm.

W wersji dopplerowskiej anemometru laserowego jedna z wiązek, referencyjna, padając wprost na powierzchnię czynną detektora, jest osłabiana w przybliżeniu 100 razy, podczas gdy w anemometrze interferencyjnym podział mocy wiązek wynosi 1:1. Omówienie podstawowych wersji anemometru dopplerowskiego i interferencyjnego przedstawiono między innymi w publikacji [6].

Schemat anemometru światłowodowego przedstawiono na rysunku 2.

Widoczne są na nim podstawowe elementy anemometru: światłowód doprowadzający wiązkę laserową, płytka odginana przez przepływ powietrza i linijka światłowodowa odbierająca wiązkę odbitą.

We wszystkich wymienionych wyżej wersjach anemometru stosuje się laser o działaniu ciągłym (He-Ne lub Nd:YAG-SHG) o mocy wyjściowej poniżej 5 mW.



Rys. 2. Schemat anemometru światłowodowego: 1 – kanał pomiarowy, 2 – linijka światłowodowa, 3 – światłowód, 4 – nadajnik laserowy, 5 – układ zasilania, 6 – zestaw fotodetektorów, 7 – układ analizujący, 8 – obudowa, 9 – wiązka światłowodów

Fig. 2. Scheme of fibre-optic anemometer: 1 – measuring channel, 2 – linear fibre array, 3 – optical fibre, 4 – laser emitter, 5 – power supply unit, 6 – photodetector array, 7 – signal analysing unit, 8 – casing, 9 – bundle of fibers

3. PROPAGACJA WIĄZEK W OTOCZENIU PUNKTU POMIAROWEGO ANEMOMETRU DOPPLEROWSKIEGO

Z zasady działania anemometru dopplerowskiego (i interferencyjnego) wynika, że w punkcie pomiarowym, utworzonym przez dwie skupione wiązki, powinny znajdować się makrocząsteczki rozpraszające światło laserowe w kierunku detektora. Jak wspomniano, stosunek podziału mocy wiązek jest w przypadku anemometru dopplerowskiego i interferencyjnego inny.

Termin „makrocząstka” oznacz taką cząstkę, dla której spełniony jest warunek energetyczny

$$1/2 mv^2 \gg kT \quad (1)$$

gdzie:

- m – masa cząstki,
- v – prędkość cząstki (i przepływającego medium),
- k – stała Boltzmanna,
- T – temperatura bezwzględna.

W każdym przypadku większa część mocy z nadajnika laserowego jest doprowadzana do punktu pomiarowego, resztę stanowią straty na elementach pośrednich kierujących wiązki laserowe.

W przypadku anemometru światłowodowego nie jest wymagana obecność cząstek rozpraszających, jednak jego zasadniczym przeznaczeniem jest praca w atmosferze potencjalnie wybuchowej zawierającej cząstki rozpraszające.

Wynikiem analiz teoretycznych (np. [7]) jest matematyczny opis propagacji wiązki w ognisku soczewki.

W przypadku, gdy na idealną soczewkę pada w kierunku osi optycznej (z) wiązka o profilu gaussowskim i mocy całkowitej I_t , w ognisku otrzymuje się następujący rozkład natężenia wiązki

$$I(z,r) = I_t (\pi w_0^2 + \pi \alpha^2 z^2)^{-1} \exp - [r^2 / (w_0^2 + \alpha^2 z^2)] \quad (2)$$

gdzie:

$\alpha = a/L$,

a – promień plamki laserowej na soczewce,

r – odległość od osi z ,

L – ogniskowa soczewek,

w_0 – jest promieniem (e^{-1}) przewężenia wiązki w ognisku.

Zatem, w punkcie pomiarowym anemometru dopplerowskiego cząstka rozpraszająca znajduje się w strefie oddziaływania dwóch wiązek o gaussowskim rozkładzie natężenia.

Z warunków generacji sygnału dopplerowskiego wynika, że objętość pomiarowa, z której uzyskiwany jest sygnał jest elipsoidą o osiach [8]

$$x_D = 2w_0\tau/\cos\theta, y_D = 2w_0\tau/\sin\theta, z_D = 2w_0\tau \quad (3)$$

gdzie:

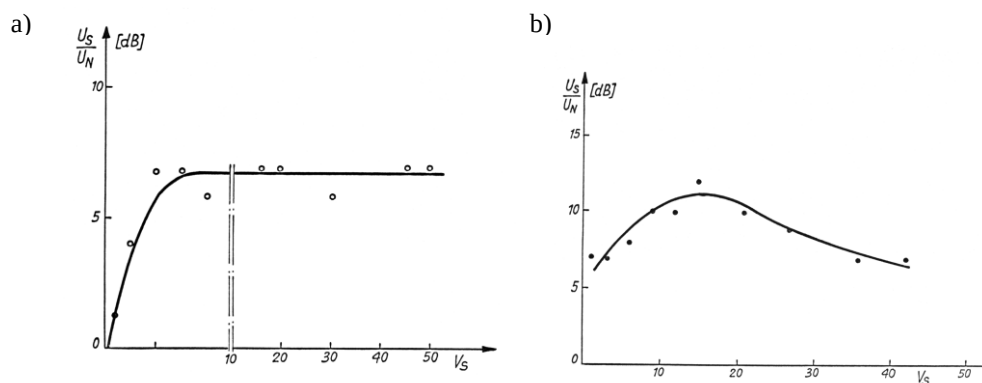
t – jest w przybliżeniu równe 2,

w_0 – jest w przybliżeniu równe długości fali wiązki lasera.

Wynika z tego, że największy wymiar elipsoidy wynosi około 40 μm . Wartość ta została potwierdzona przez autora w eksperymentalnej analizie szerokości połówkowej widm dopplerowskich. Ma ona istotne znaczenie w przypadku dalszej analizy możliwości przekazania większej części energii optycznej niesionej przez wiązkę laserową cząstkom znajdującym się w ognisku (punkcie pomiarowym). Lokalizację takiej cząstki przedstawiono schematycznie na rysunku 1.

Od liczby cząstek znajdujących się w objętości pomiarowej zależą parametry uzyskiwanego sygnału informacyjnego. Typowe zależności stosunku sygnału do szumu dla dwóch rodzajów wymiarów monodispersyjnych cząstek rozpraszających, o średnicach 0,8 i 0,45 μm , przedstawiono na rysunku 3. Widoczne jest na nim występowanie stanu nasycenia ze wzrostem liczby cząstek, w rezultacie konkurencyjnie działających procesów rozpraszania i absorpcji promieniowania optycznego.

W celu zilustrowania lokalności pomiaru za pomocą anemometru dopplerowskiego, na rysunku 4 przedstawiono profil prędkości laminarnego przepływu powietrza w rurze. Wykres ten wyraźnie ilustruje możliwości pomiarowe anemometru.

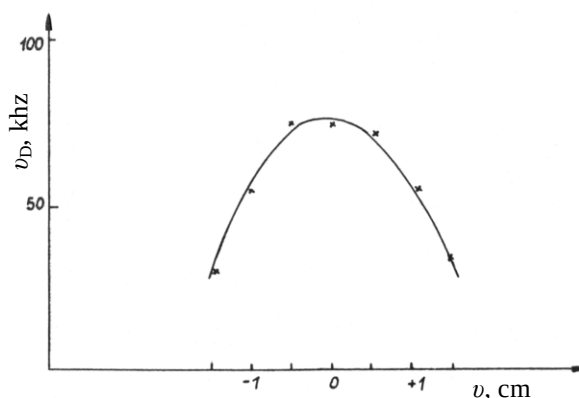


Rys 3. Eksperymentalna zależność stosunku sygnału dopplerowskiego U_S/U_N do szumu U_S/U_N dla cząstek o średnicach 0,8 i 0,45 μm ; standardowa objętość V_S zawiera około 10^7 cząstek

Fig. 3. Experimental relationship of Doppler signal to noise ratio U_S/U_N for particles with diameters of 0,8 μm and 0,45 μm respectively; standard volume V_S contains ca. 10^7 particles

Przedstawiona analiza oceny wielkości objętości pomiarowej została przeprowadzona dla wersji dopplerowskiej anemometru. Sposób wprowadzania wiązek do punktu pomiarowego w anemometrze interferencyjnym jest jednak zupełnie podobny (pomijając proporcje mocy wiązek), zatem należy uznać, że wielkość objętości pomiarowej jest w przybliżeniu ta sama.

W przypadku anemometru światłowodowego, obszar wzajemnego oddziaływania cząstek z wiązką laserową jest w przybliżeniu cylindrem o średnicy o średnicy równej średnicy rdzenia światłowodu i może wynosić w przybliżeniu 100 μm . Długość tego cylindra jest równa odległości między wyjściem światłowodu oświetlającego i linijką światłowodów rejestrujących.



Rys. 4. Zmierzony profil prędkości (wyrażonej w częstotliwości dopplerowskiej) przepływu powietrza w cylindrycznym kanale pomiarowym: r – odległość od osi kanałów

Fig. 4. Measured velocity profile (in terms of Doppler frequency) of the air flow in a cylindrical measuring channel: r – distance from the channel axis

4. ISKROBEZPIECZEŃSTWO OPTYCZNE A MOŻLIWOŚĆ PRZEKAZANIA ENERGII WIĄZKI LASEROWEJ CZĄSTKOM ZNAJDUJĄCYM SIĘ W OBJĘTOŚCI POMIAROWEJ ANEMOMETRU

W ostatnich latach prowadzi się zakrojone na szeroką skalę badania (mając na uwadze liczbę pojawiających się publikacji) nad potencjalnym efektem wybuchowym, który może spowodować skupiona wiązka laserowa przechodząca przez atmosferę wybuchową i zaabsorbowana przez cząstkę ciała stałego znajdującą się w jej ognisku. Efekt ten był dotąd analizowany przede wszystkim w odniesieniu do układów światłowodowych zlokalizowanych w atmosferze wybuchowej [9, 10]. Określono na przykład progowe wartości mocy lasera (erbowego) dla różnych rodzajów cząstek stanowiących zapylenie. Podobne pomiary wykonywano również w Laboratorium Techniki Laserowej z wykorzystaniem lasera He-Ne i źródeł nielaserowych dużej mocy.

Problem ten nie dotyczy tylko światłowodowych systemów pomiarowych stosowanych w atmosferze metanowej, na przykład kopalnianej [11], ale także łączności światłowodowej, zasilania urządzeń pomiarowych energią świetlną itp. Trwają również prace nad określeniem wartości progowych mocy i sformalizowania wymagań dotyczących optyki światłowodowej [12].

Progowe dopuszczalne wartości mocy skupionej wiązki podawane w publikacjach są rozbieżne, na przykład podawana jest wartość 35 mW dla światłowodu o średnicy rdzenia 50 μm , w innym przypadku wynosi ona 1 mW.

W anemometrii laserowej są stosowane z zasady skupione wiązki laserowe, zatem do oceny ewentualnego potencjalnego zagrożenia wybuchowego, generowanego przez wiązkę laserową, istotna jest wielkość obszaru oddziaływania wiązki laserowej z makrocząstkami znajdującymi się w tym obszarze. W przypadku anemometru dopplerowskiego, liniowa wielkość obszaru przecinania się wiązek laserowych, z którego uzyskuje się sygnał informacyjny wynosi około 40 μm , co daje w przybliżeniu objętość 60 000 μm^3 . Przy objętości pojedynczej cząstki wynoszącej około 1 μm^3 , w objętości pomiarowej może się znaleźć około 10^4 cząstek o średnicy 1 μm .

Z powyższego wynika, że wielkość energii, którą pojedyncza cząstka może zaabsorbować w obszarze czynnym anemometru powinna być podzielona przez taką liczbę. Daje to w efekcie sprowadzenie poziomu absorbowanej mocy optycznej do wielkości znacznie poniżej jakiegokolwiek poziomu dopuszczalnego. Taką samą analizę można przeprowadzić dla anemometru interferencyjnego.

W przypadku anemometru światłowodowego pojedyncza cząstka może się znaleźć, przynajmniej z zasady, bezpośrednio na wyjściu światłowodu, jednak możliwe jest zmniejszenie efektu absorpcji przez zwiększenie średnicy rdzenia światłowodu i/lub zmniejszenie mocy wiązki z niego wychodzącej. Obniżony poziom mocy na wyjściu światłowodu może wynieść poniżej 1 mW, co w połączeniu ze zwiększeniem średnicy rdzenia światłowodu spowoduje zejście znacznie poniżej poziomu uznawanego za niebezpieczny.

5. PODSUMOWANIE

Z zasady działania konwencjonalnych (dopplerowskich i interferencyjnych) oraz światłowodowych anemometrów laserowych wynika konieczność stosowania skupionych wiązek laserowych, inaczej niż w przypadku innych laserów, na przykład mierniczych lub metanometrycznych.

Przedstawiona analiza schematów strukturalnych laserowych urządzeń metanometrycznych pozwala na wyciągnięcie wniosku o braku zagrożenia wybuchowego w przypadku stosowania anemometrów laserowych w atmosferze potencjalnie wybuchowej i zapyłonej.

Problem ten będzie rozpatrzony bardziej szczegółowo w momencie podania ujednoliconych (np. w postaci normy) wartości dopuszczalnych poziomów mocy na wyjściu światłowodu lub w innej sytuacji stosowania skupionych wiązek laserowych. Laboratorium Techniki Laserowej GIG może odegrać w tym zakresie ważką rolę.

Literatura

1. Passia H.: *Dopplerowskie anemometry laserowe i ich zastosowanie do pomiarów prędkości cieczy i gazów*. Katowice, Wydaw. Ośr. Post. Techn. 1977 nr 53, s. 1–22.
2. Passia H., Pawlak J., Piasecki S., Zawadzki Z.: *Laboratory tests on a back- scattering laser anemometer*. CMI, Annual Report 1973.
3. Passia H., Szade A., Motyka Z., Bochenek W.: *Technical solutions and experience in laser anemometry for underground mining, other industrial and biomedical applications*. Proc. SPIE, Vol. 4827 2002.
4. Patent GIG 125835. Górniczy anemometr laserowy. 1980.
5. Patent GIG 176998. Anemometr laserowy zwłaszcza do pomiaru przepływu powietrza zawierającego metan. 1995.
6. Passia H., Pawlak J., Piasecki S.: *Lasery w górnictwie*. Katowice, Wydaw. Śląsk 1978.
7. Ready J.F.: *Effects of High Power Laser Radiation*. New York – London, Academic Press 1971.
8. Adrian R.J., Goldstein R.J.: *Analysis of a Laser Doppler Anemometer*. J. Phys. 1971 E4.
9. Tortoishell G.: *Safety of Fibre Optic Systems in Flammable Atmospheres*. Proc. SPIE 1990 Vol. 1226.
10. Zhang D.K. i inni: *Experimental Studies of Ignition Behaviour and Combustion Reactivity of Pulverised Coal Particles*. Fuel 1991.
11. Kumar V., Prasad G.: *Fibre Optic Sensors for Mines*. Ming Tech. 1989 Vol. 187.
12. Petersen S., Sliney D.: *Toward The Development of Laser Safety Standards for Fibre Optic Communication Systems*. Appl. Opt. 1986 Vol. 25.

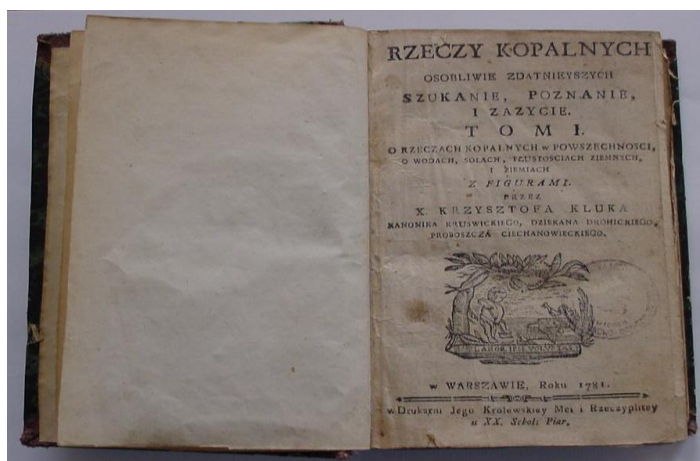
Recenzent: prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan

DZIAŁALNOŚĆ BIBLIOTEKI NAUKOWEJ GŁÓWNEGO INSTYTUTU GÓRNICTWA

Activities of the Scientific Library of the Central Mining Institute

1. RYS HISTORYCZNY

Biblioteka Naukowa Głównego Instytutu Górnictwa istnieje ponad 58 lat. Zaczęto ją tworzyć z chwilą powołania Instytutu Naukowo-Badawczego Przemysłu Węglowego w 1945 roku. Księgozbiór Biblioteki stanowiło wówczas 1500 tomów przekazanych przez Wałbrzyskie Zjednoczenie Przemysłu Węglowego, inne jednostki resortu górnictwa oraz osoby prywatne. Wśród pierwszych zgromadzonych książek znalazło się kilkanaście cennych starodruków dotyczących górnictwa w języku niemieckim oraz jeden w języku polskim – książka Krzysztofa Kluka *Rzeczy kopalnych osobliwie zdalniejszych szukanie, poznanie i zażycie* wydana w 1781 roku w warszawskiej Drukarni Jego Królewskiej Mci i Rzeczypospolitej (fot. 1).



Fot. 1. Strona tytułowa książki Krzysztofa Kluka: *Rzeczy kopalnych osobliwie zdalniejszych szukanie, poznanie i zażycie*

Photo 1. Title page of an old mining science book by Krzysztof Kluk *Rzeczy kopalnych osobliwie zdalniejszych szukanie, poznanie i zażycie* (About minerals, their prospecting, identification and exploitation)

W marcu 1950 roku Biblioteka otrzymała status Biblioteki Naukowej, a jej księgozbiór liczył w tym czasie 9500 woluminów. Lata pięćdziesiąte i sześćdziesiąte XX

wieku to okres rozszerzania działalności Biblioteki, systematycznego powiększania księgozbioru, zatrudniania wykwalifikowanej kadry, współpracy z Ośrodkiem Informacji GIG i innymi bibliotekami krajowymi i zagranicznymi.

Ważną datą w dziejach Biblioteki był 1 kwietnia 1971 roku. W tym dniu Biblioteka zaczęła udostępniać swoje zbiory w nowych, zaprojektowanych specjalnie dla niej pomieszczeniach, wyposażonych w nowoczesny sprzęt. Lata siedemdziesiąte i osiemdziesiąte XX wieku to dalszy okres rozwoju Biblioteki. W tym czasie zatrudnionych było 16 pracowników, księgozbiór liczył około 120 000 woluminów, a rocznie odwiedzało ją około 7000 czytelników. Dobre warunki lokalowe, wyspecjalizowana kadra i odpowiednia literatura metodyczna stworzyły warunki do prowadzenia pracy naukowej. Podjęto prace nad *Bibliografią polskiego piśmiennictwa górniczego*. W ciągu kilkunastu lat powstało 10 tomów *Bibliografii*, która obejmuje lata od 1934 do 1980.

W 1994 roku pracownicy Biblioteki opracowali, na zlecenie Komitetu Organizacyjnego XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla, kolejną bibliografię pt. *Coal Preparation Bibliography of Polish Authors 1945-1993*.

Lata dziewięćdziesiąte to okres komputeryzacji prac bibliotecznych. Pierwszym programem zastosowanym w komputeryzacji Biblioteki był Micro ISIS. Na bazie tego oprogramowania stworzono komputerowy katalog książek oraz adnotowaną bibliografię dotyczącą górnictwa węgla kamiennego i inżynierii środowiska. Oprogramowanie Micro ISIS wykorzystano także do systemu wypożyczeń i rejestracji kart użytkowników Biblioteki.

W 1999 roku wdrożono nowy sieciowy system komputerowy **Nauka – Moduł Biblioteka**, opracowany przez pracowników Zakładu Informatyki GIG przy współudziale pracowników Biblioteki. W systemie tym budowane są trzy katalogi biblioteczne: katalog książek, czasopism i dokumentacji prac naukowo-badawczych. Dostęp do katalogów mają wszyscy pracownicy Instytutu pracujący w sieci.

Nowoczesna i skomputeryzowana Biblioteka Naukowa wchodzi obecnie w skład Centrum Szkoleniowo-Informacyjnego Głównego Instytutu Górnictwa.

2. ZBIORY I ŹRÓDŁA INFORMACJI

Zakres tematyczny gromadzonych przez Bibliotekę zbiorów jest zgodny z kierunkiem badań prowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa, obejmuje on górnictwo, ze szczególnym uwzględnieniem górnictwa węgla kamiennego, inżynierię środowiska i ekologię, technikę, geologię, chemię, fizykę, ekonomię, prawoznawstwo, naukoznawstwo i w mniejszym zakresie inne dziedziny wiedzy. Nie są to jednak sztywne ramy określające tematykę zbiorów. Na życzenie pracowników naukowych Instytutu gromadzona jest literatura niezbędna do prowadzenia prac naukowo-badawczych. Dlatego w zbiorach Biblioteki znajduje się także literatura z zakresu mikrobiologii, statystyki matematycznej, przetwarzania sygnałów, analizy ryzyka, inżynierii materiałowej i innych dziedzin wiedzy.

Ogółem zbiory Biblioteki liczą ponad 390 tysięcy woluminów i obejmują:

- **książki** – ponad 112 tysięcy woluminów zbiorów zwartych i seryjnych, gromadzonych przez zakup, dary, wymianę i otrzymywanych jako egzemplarz obowiązkowy,
- **czasopisma** – ponad tysiąc tytułów opracowanych roczników stanowiących około 31 tysięcy woluminów; bieżąco gromadzonych jest 250 tytułów, w tym 69 zagranicznych,
- **normy** – ponad 23 tysiące dokumentów nadzorowanych i rejestrowanych komputerowo,
- **dokumentacje prac naukowo-badawczych** – zbiór obejmuje ponad 21 tysięcy pozycji niepublikowanych, stanowiących własność intelektualną Instytutu i udostępnianych na specjalnych warunkach,
- **opisy patentowe** – zbiór liczący ponad 178 tysięcy opisów w układzie numerycznym i taką samą liczbę w układzie klasowym; równocześnie ze zbiorem na nośniku papierowym od 1993 roku gromadzone są opisy na CD-ROM; od 2002 roku opisy patentowe dostępne są tylko na nośniku elektronicznym.
- **bazy danych.**

Cennym i nowoczesnym źródłem informacji są gromadzone i opracowywane przez pracowników Biblioteki bazy danych. Biblioteka ma dwie własne bazy:

- **Bibliograficzna baza ISIS PW** – zawierająca ponad 40 tysięcy opisów bibliograficznych, wraz z abstraktami artykułów zamieszczonych w polskich i zagranicznych czasopismach oraz w materiałach konferencyjnych. Zakres tematyczny bazy to górnictwo węgla kamiennego i inżynieria środowiska. Opisy wprowadzane są do bazy z kart dokumentacyjnych. Karta dokumentacyjna zawiera: dane bibliograficzne, abstrakt, deskryptory opisujące przedmiot artykułu oraz grupę tematyczną. Deskryptory wprowadzane są na podstawie bieżąco uzupełnianego *Tezaurusu*. Rocznie wprowadza się do bazy około 2400 opisów bibliograficznych. Baza dostępna jest w systemie on line, odpłatnie. Na podstawie bazy jest wydawany miesięcznik *Przegląd Dokumentacyjny GIG*.
- **Węgiel w relacji Polska – Świat** – baza zawierająca dane statystyczne dotyczące górnictwa węgla kamiennego w Polsce i na świecie za lata 1990–2001. Można ją przeglądać w podziale na: Polskę, kraje Unii Europejskiej i świat. Dane dotyczące polskich kopalń i spółek węglowych obejmują: wydobywanie, wydajność, wybrane wskaźniki techniczno-ekonomiczne i zatrudnienie. Dane dotyczące krajów Unii Europejskiej to: wydobywanie, zużycie węgla ogółem, zużycie węgla według sektorów, import i eksport; kraje świata określają: zasoby, wydobywanie, zużycie węgla ogółem, zużycie węgla według sektorów, wydajność, zatrudnienie, eksport, import.

Biblioteka gromadzi ponadto bazy na CD-ROM: **Perinorm**, **Espace Preces**, **Espace Access**, **Espace Bulletin**. Bazy te obsługiwane są przez pracowników Zespołu Usług Patentowych i Normalizacyjnych Centrum Szkoleniowo-Informacyjnego.

- **PERINORM** – to bibliograficzna baza zawierająca informacje o aktualnych normach europejskich (w tym także polskich) oraz o przepisach technicznych.

Tworzona jest przez instytucje ustanawiające normy w poszczególnych krajach we współpracy z Komisją Europejską.

- **ESPACE PRECES** – pełnotekstowa baza opisów patentowych krajów Europy Środkowowschodniej, w tym polskich opisów patentowych od numeru 153 900.
- **ESPACE ACCESS** – baza zawierająca dane bibliograficzne i skróty opisów zgłoszeniowych EP-A do Europejskiego Urzędu Patentowego oraz dane bibliograficzne zgłoszeń patentowych, dokonanych przez Biuro Międzynarodowe (PCT) od 1978 roku.
- **ESPACE BULLETIN** – baza, aktualizowana co miesiąc, zawierająca dane bibliograficzne dokumentów patentowych Europejskiego Urzędu Patentowego oraz informacje o danym stanie prawnym tych dokumentów od 1978 roku, łącznie ze stanem spraw w postępowaniu przed Urzędem.

Dużym zainteresowaniem pracowników Głównego Instytutu Górniczego cieszy się dostępna w sieci **pełnotekstowa baza czasopism wydawnictwa Elsevier**. Od 2002 r. Biblioteka wchodzi w skład Polskiego Konsorcjum Elsevier, koordynowanego przez Bibliotekę Uniwersytetu Warszawskiego.

Informacji o zbiorach bibliotecznych udziela się użytkownikom na podstawie katalogów bibliotecznych oraz baz danych. Obecnie w Bibliotece istnieją dwa rodzaje katalogów: katalogi tradycyjne i komputerowe. Katalogi tradycyjne usytuowane w wypożyczalni Biblioteki to:

- katalog alfabetyczny typu kartkowego zawierający opisy wydawnictw zwartych, seryjnych i zbiorowych w układzie alfabetycznym według autorów i tytułów,
- katalog rzeczowy, systematyczny według UKD (Uniwersalnej Klasyfikacji Dziesiętnej),
- kartoteki pomocnicze takie, jak: katalog prac doktorskich, katalog prac naukowo-badawczych Głównego Instytutu Górniczego, wydawnictwa Bureau of Mines.

Katalogi tradycyjne zawierają karty katalogowe książek gromadzonych do 1998 r. Opisy katalogowe publikacji wydanych po 1998 r. znajdują się w katalogach komputerowych.

Biblioteka Naukowa GIG ma trzy sieciowe katalogi komputerowe:

- **katalog książek** zawiera opisy wydawnictw zwartych od 1980 roku, wszystkich wydawnictw seryjnych i wydawnictw GIG. Na bieżąco są wprowadzane opisy książek, bez względu na rok wydania, zwracanych przez czytelników po to, aby w katalogu znalazł się zbiór najczęściej wykorzystywany. Baza zawiera obecnie około 22 tysiące rekordów. Rejestr książek umożliwia zarówno gromadzenie, opracowanie, wyszukiwanie, jak i wypożyczanie książek. Służą do tego odpowiednio wybrane kartoteki główne. Dwie z nich *Gromadzenie* i *Opracowanie* zawierają informacje o danej pozycji od zapisów związanych z rejestracją faktury do zgodnego z normą PN-82/N-01152.01 opisu bibliogra-

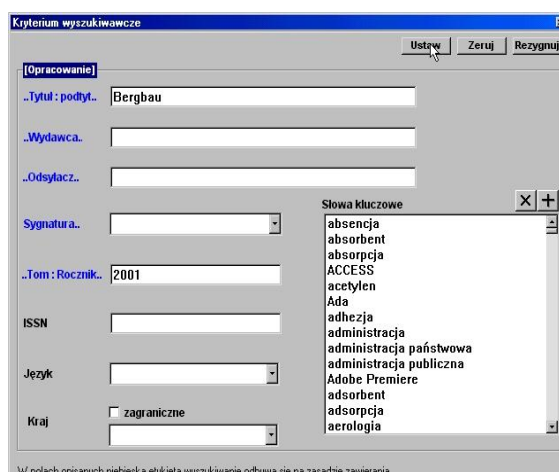
ficznego uzupełnionego słowami kluczowymi. Kartoteka *Karty czytelnicze* służy, jak wskazuje nazwa, do rejestracji użytkowników oraz wypożyczania książek. Wyszukiwanie w katalogu jest możliwe przez prawie wszystkie elementy opisu (autor, tytuł, współautor, opracowujący, redaktor, nazwa serii, język, znaki ISBN i ISSN) oraz przez wybór słów kluczowych. Rejestr książek umożliwia sporządzanie wydawnictw takich, jak: nabytki, informacje dla czytelnika, karty katalogowe, statystyka wartości gromadzonych książek, monity-wykaz użytkowników, którzy przekroczyli termin zwrotu książki (fot. 2).

Fot. 2. Okno dialogowe do ustawiania kryterium wyszukiawczego dla książek

Photo 2. Dialog box for entering search criterion for books

- **Katalog czasopism** ma dwie kartoteki: *Akcesję* i *Opracowanie*. W kartotece *Akcesja* prowadzony jest bieżący rejestr kolejno otrzymywanych numerów poszczególnych tytułów czasopism w danym roku. W kartotece *Opracowanie* znajdują się opisy bibliograficzne wszystkich czasopism znajdujących się w magazynach bibliotecznych. Po zakończeniu gromadzenia danego tytułu w *Akcesji* dane są przemieszczane automatycznie do kartoteki *Opracowanie*. Kartoteka *Opracowanie* zawiera ponad 15 000 rekordów. Wyszukiwanie informacji w rejestrze czasopism odbywa się w podobny sposób jak w rejestrze książek. Z bazy można wydrukować wykaz czasopism według tytułów i krajów, inwentarz i karty katalogowe (fot. 3).
- **Katalog dokumentacji prac naukowo-badawczych** rejestruje wszystkie prace, które znalazły się w Bibliotece od 1990 roku. Opisy bibliograficzne prac zawierają następujące dane: kierownik pracy, autorzy, tytuł, data rozpoczęcia i zakończenia pracy, zleceniodawca, symbol, stopień dostępności, rodzaj pracy, słowa kluczowe oraz streszczenie. Sposób wyszukiwania informacji jest podobny jak w katalogach książek i czasopism. Wydrukiem z bazy

jest pełny wykaz prac na zadane pytanie użytkownika. Katalog dokumentacji prac naukowo-badawczych zawiera ponad 3700 rekordów.



Fot. 3. Okno dialogowe do ustawiania kryterium wyszukiwania czasopism

Photo 3. Dialog box for entering search criterion for periodical publications

Omówione katalogi komputerowe zawierają słowniki główne: słów kluczowych, użytkowników, jednostek organizacyjnych GIG, tytułów czasopism, krajów oraz szereg słowników pomocniczych: języków, w których została wydana publikacja, tytułów serii, sygnatur. Słowniki uzupełniane są w miarę wprowadzania nowych wydawnictw.

Dostęp do katalogów mają dwie grupy użytkowników o różnych uprawnieniach: bibliotekarz i czytelnik. Bibliotekarz ma pełne uprawnienia i może dokonywać wpisów i zmian w bazach, natomiast dostęp czytelnika jest ograniczony tylko do wyszukiwania informacji.

3. UŻYTKOWNICY I UDOSTĘPNIANIE ZBIORÓW

Użytkownikami Biblioteki od początku jej istnienia byli pracownicy Instytutu i kopalń oraz naukowcy z terenu Śląska. Dzisiaj liczba i rodzaj użytkowników znacznie się poszerzyły. Ze zbiorów Biblioteki korzystają pracownicy przemysłu, spółek i firm prywatnych, pracownicy nauki i nauczyciele, studenci uczelni śląskich, krakowskich i częstochowskich, oraz młodzież szkół średnich. Rocznie Bibliotekę odwiedza około 6 tysięcy użytkowników.

Wszyscy zainteresowani mogą korzystać ze zbiorów Biblioteki i są obsługiwani na bieżąco w czytelni (fot. 4). W czytelni znajduje się księgozbiór podręczny, w skład którego wchodzi: encyklopedie, poradniki, słowniki i katalogi ułożone według dziedzin wiedzy oraz bieżące czasopisma ułożone alfabetycznie według tytułów. W czytelni jest wolny dostęp do półek.



Fot. 4. Czytelnia Biblioteki Naukowej

Photo 4. Reading Room in Scientific Library

Prawo do wypożyczeń na zewnątrz mają pracownicy Instytutu, przedsiębiorstw przemysłowych, kopalń oraz nauczyciele akademicki. Rocznie udostępnia się około 8 tysięcy książek, 11 tysięcy woluminów czasopism i 400 norm.

Osobną grupę użytkowników stanowią rzecznicy patentowi. Biblioteka Naukowa GIG, po likwidacji biblioteki patentowej OPT w Katowicach i przejęciu części jej zbiorów, pełni od kilkunastu lat funkcję Regionalnego Ośrodka Informacji Patentowej. Ma jedyny kompletny zbiór opisów patentowych na Śląsku.

Oprócz udostępniania zbiorów na miejscu, w czytelni, oraz wypożyczania książek na zewnątrz, Biblioteka prowadzi również wypożyczenia międzybiblioteczne. Jest to często stosowana przez duże biblioteki forma udostępniania, polegająca na wzajemnym wypożyczaniu dokumentów przez biblioteki. Pracownicy Instytutu składają zamówienia na poszukiwane publikacje, po czym bibliotekarz sprawdza poprzez Internet katalogi bibliotek polskich lub zagranicznych i zamawia wyszukaną literaturę. W ciągu roku do Biblioteki sprowadza się około 100 książek, w tym 25% stanowią książki sprowadzone zza granicy oraz około 1500 stron odbitek kserograficznych artykułów i fragmentów z czasopism. Jednocześnie na prośbę innych bibliotek, prawie taką samą liczbę zbiorów wysyła się w ramach wypożyczeń międzybibliotecznych.

Biblioteka Naukowa GIG prowadzi również wymianę publikacji z 33 instytucjami z 13 krajów. W ramach wymiany otrzymuje wiele książek oraz 16 tytułów czasopism. Zbiory biblioteczne wzbogacają także książki zagraniczne otrzymywane z Biblioteki Kongresu w Waszyngtonie i bibliotek rosyjskich oraz niemieckie dysertacje.

Poza udostępnianiem książek Biblioteka świadczy również usługi specjalistyczne. Na zamówienie użytkownika pracownicy Biblioteki oraz Zespołu Usług Patentowych i Normalizacyjnych wykonują:

- zestawienia tematyczne z zakresu górnictwa węgla kamiennego i ochrony środowiska,

- bibliografie tematyczne lub osobowe,
- sprawdzanie aktualności norm polskich i europejskich,
- badanie stanu techniki oraz czystości patentowej.

Wymienione usługi są płatne zgodnie z cennikiem znajdującym się w wypożyczalni Biblioteki (fot. 5).



Fot. 5. Wypożyczalnia i Informatorium Biblioteki Naukowej

Photo 5. Lending and Information Room in Scientific Library

Rocznie około 10 studentów kierunku bibliotekoznawstwa i informacji naukowej Uniwersytetu Śląskiego odbywa praktykę w Bibliotece. Studenci zapoznają się z całokształtem działalności bibliotecznej i wykonują prace zgodnie z przyjętym przez uczelnię programem. Oprócz studentów miesięczną praktykę odbywają także bibliotekarze Biblioteki Uniwersytetu Śląskiego starający się o stopień kustosza bibliotecznego. Dla młodzieży szkół średnich urządza się lekcje pokazowe, prezentując zbiory i sposoby ich przeszukiwania.

Biblioteka Naukowa Głównego Instytutu Górnictwa ze względu na wielkość i rodzaj zbiorów jest największą biblioteką techniczną na terenie Śląska, gromadzącą księgozbiór z zakresu górnictwa i dziedzin pokrewnych. Dzięki nowoczesnym formom udostępniania i korzystnej lokalizacji w centrum Katowic jej rola w środowisku naukowym jest bardzo duża.

Wszystkich zainteresowanych zapraszamy do korzystania ze zbiorów Biblioteki, która czynna jest od poniedziałku do piątku od 9.00 do 16.00.

Telefon: (032) 258-51-88, 259-24-27,
e-mail: biblio@gig.katowice.pl
fax: (032) 259-27-74

Opracowała *Helena Banasik*