

PRACE NAUKOWE GIG

GÓRNICTWO I ŚRODOWISKO
MINING & ENVIRONMENT

RESEARCH
REPORTS

Quarterly

KWARTALNIK

3



GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA
CENTRAL MINING INSTITUTE

KATOWICE 2006

Rada Programowa ds. Wydawnictw: *prof. dr hab. inż. Jakub Siemek (przewodniczący), prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, prof. dr hab. inż. Andrzej Maranda, prof. dr hab. inż. Korneliusz Miksch, prof. dr hab. inż. Joanna Pinińska, prof. dr hab. inż. Krystian Probiez, prof. dr hab. inż. Czesława Rosik-Dulewska, prof. dr hab. inż. Janusz Roszkowski, prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś*

Komitet Kwalifikacyjno-Opiniodawczy: *prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński (przewodniczący), prof. dr hab. inż. Krystyna Czaplicka, doc. dr hab. inż. Józef Kabiesz, prof. dr hab. inż. Władysław Konopko, prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek, prof. dr hab. Kazimierz Lebecki, prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan, doc. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk, doc. dr hab. inż. Marian Turek, doc. dr hab. inż. Jan Wachowicz, mgr Małgorzata Zielińska*

Redaktor Naczelny

prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan

Redakcja wydawnicza i korekta

Ewa Gliwa

Małgorzata Kuśmirek-Zegadło

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. 032-259-24-03, 032-259-24-04

fax 032-259-27-74

e-mail: cintexmk@gig.katowice.pl

Spis treści

ADAM SMOLIŃSKI, NATALIA HOWANIEC

Produkcja wodoru, z wydzieleniem dwutlenku węgla przygotowanego do sekwestracji jako perspektywiczne rozwiązanie technologiczne	5
Production of hydrogen, with emission of carbon dioxide prepared to sequestration as a prospective technological solution	

SŁAWOMIR H. BOCK

Metody badań wytrzymałościowych obudowy szybów kopalnianych	23
Methods of strength tests of mine shafts supports	

KRZYSZTOF JĘDRZEJKO, PAWEŁ OLSZEWSKI

Analiza zróżnicowania gatunkowego i specyfiki ekologicznej flory naczyniowej na terenach poeksploatacyjnych wybranych likwidowanych kopalń węgla kamiennego w Zagłębiu Dąbrowskim (GOP)	43
The analysis of species diversity and ecological specificity of vascular flora on the post-mine sites of the selected liquidated coal-mines in Dąbrowa Basin (GOP)	

EWA OWCZAREK-NOWAK

Analiza funkcjonowania gminnych systemów gospodarowania odpadami komunalnymi w województwie śląskim – teoria a praktyka	67
Analysis of municipal systems of waste management functioning in Silesia Voivodeship – theory and practice	

ADAM SZADE, MARIUSZ SZOT

Techniczne metody kontroli podstawowych obiektów zakładu górniczego	79
Technical methods of control of essential mine objects	

BOŻENA TRACZ

Ewolucja doboru wodomierzy na tle spadku zużycia wody w budynkach wielolokalowych	89
Evolution of water meters selection on the background of water consumption in multidwelling buildings	

JUSTYNA LATOSZEK, BARBARA BIAŁECKA

Monitoring Planu Gospodarki Odpadami na przykładzie Bytomia	103
Monitoring of the Plan of Waste Management on an example of Bytom	

JAN WACHOWICZ, TOMASZ JANOSZEK

Wprowadzenie do modelowania wpływu prędkości przepływu powietrza na propagację gazów pożarowych w kopalniach węgla kamiennego	117
Introduction to modelling of air flow velocity influence onto propagation of fire-damps in coal mines	

Adam Smoliński, Natalia Howaniec

PRODUKCJA WODORU, Z WYDZIELENIEM DWUTLENKU WĘGLA PRZYGOTOWANEGO DO SEKWESTRACJI JAKO PERSPEKTYWICZNE ROZWIĄZANIE TECHNOLOGICZNE

Streszczenie

Stale rosnące ceny ropy naftowej oraz zwiększenie wymagań prawnych dotyczących emisji gazów cieplarnianych zmusiły największe potęgi gospodarcze świata do poszukiwania nowego, taniego i przyjaznego środowisku nośnika energii. Specjaliści są zgodni, że w najbliższych kilkudziesięciu latach nośnikiem tym będzie wodór. Obecnie wysiłki naukowców na całym świecie skupiają się na opracowywaniu zintegrowanych technologii produkcji wodoru i energii elektrycznej, a w szczególności technologii produkcji wodoru z gazu syntezowego, otrzymanego w procesie zgazowania węgla, połączonej z separacją powstającego w procesie dwutlenku węgla. Prace te w Stanach Zjednoczonych są realizowane między innymi w ramach *Hydrogen from Coal Program* Departamentu Energii USA oraz w ramach projektu *FutureGen*, w Europie – w ramach *Szóstego Programu Ramowego Badań i Rozwoju Technicznego* (Priorytet 6.1 *Zrównoważone Systemy Energetyczne*) oraz w ramach *Europejskiej Platformy Wodoru i Ogniw Paliwowych (HFP)*, natomiast w Japonii w ramach *Clean Coal Cycle (C3) Initiative* Japońskiego Ministerstwa Gospodarki, Handlu i Przemysłu (METI) oraz w ramach działań badawczo-rozwojowych *New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)*. Wśród głównych celów stawianych współczesnej energetyce należy wymienić: poprawę sprawności działania elektrowni oraz poszukiwanie efektywnych metod wychwytywania CO₂. Ważnym aspektem produkcji energii elektrycznej i wodoru z paliw stałych są metody separacji wodoru i dwutlenku węgla z mieszaniny gazowej. Wśród stosowanych obecnie metod separacyjnych wymienia się: absorpcję chemiczną i fizyczną, frakcjonowanie kriogeniczne, metody adsorpcyjne: adsorpcję zmiennociśnieniową (PSA) i zmiennotemperaturową (TSA) oraz separację membranową. W pracy przedstawiono japońską koncepcję metody produkcji wodoru z separacją CO₂ gotowego do sekwestracji – HyPr-RING, w której jako sorbent dwutlenku węgla oraz katalizator procesu zgazowania zastosowano tlenek wapnia.

Production of hydrogen, with emission of carbon dioxide prepared to sequestration as a prospective technological solution

Abstract

The continuously increasing oil prices as well as stronger environmental regulations regarding greenhouse emissions made the greatest economic powers search a new, price competitive and environment friendly energy carrier. According to the specialists in the short and medium term hydrogen is likely to become this desired energy carrier. The world research activities in this scope focus on the development of integrated hydrogen and power producing technologies, in particularly technologies of hydrogen production from coal gasification product – synthesis gas, combined with carbon dioxide capture. In the United States this works are carried out in the frame of *Hydrogen from Coal Program* of the Department of Energy, President's *Hydrogen Fuel Initiative* and the *FutureGen Project*, in Europe in the frame of *The Sixth EU Framework Programme for Research and Technological Development, Priority: Sustainable development, global change and ecosystems* and *The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform (HFP)*, in Japan – in the frame of *Clean Coal Cycle (C3) Initiative* of The Ministry of Economy, Trade and Industry

(METI) and research and development activities of *The New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)*. The most important targets of the present-day power industry are: the efficiency improvement and effective CO₂ capture and separation methods. The important aspect of combined power and hydrogen production based on fossil fuels are CO₂ and H₂ separation methods. Separation methods used in industrial applications are chemical and physical absorption, cryogenic separation, pressure (PSA) and temperature (TSA) swing adsorptions and membrane separation. In the paper, the Japanese novel concept of Hydrogen Production by Reaction Integrated Novel Gasification Process (Hypr-RING) is presented, which applies CaO sorbent for CO₂ capture.

1. ROLA WODORU W GOSPODARCE ŚWIATOWEJ

Wśród technologii produkcji wodoru są wymieniane: termochemiczny reforming węglowodorów parą wodną w wysokiej temperaturze, częściowe utlenianie pozostałości ropy, reakcje koksu z parą wodną, piroliza węgla, zgazowanie węgla w złożu fluidalnym z sekwestracją dwutlenku węgla z użyciem sorbentu wapniowego (CO₂ *Acceptor Process*), elektroliza wody oraz inne metody, takie jak: reakcja między metalami (na przykład sodem) i wodą, tlenkami (na przykład V₂O₃) i wodą oraz wodorkami (na przykład CaH₂) i wodą. Obecnie wódór jest wykorzystywany głównie do produkcji metanolu, amoniaku, mocznika, produktów procesu *Fischer-Tropsch*, syntetycznego gazu ziemnego (SNG), w przemyśle petrochemicznym i spożywczym (Stiegel, Ramezan 2006; Rosen, Scott 1998; Winter 2003; Collot 2005). W ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat jest spodziewany jednak wzrost znaczenia wodoru również jako jednego z głównych nośników energii. Obecnie wobec niewystarczającej konkurencyjności technologii energii odnawialnych w perspektywie krótko- i średnio-terminowej duże znaczenie będą mieć metody produkcji wodoru z wykorzystaniem technologii konwencjonalnych i na bazie paliw kopalnych, w tym zgazowanie węgla połączone z separacją i sekwestracją dwutlenku węgla (Gambini, Vellini 2005). Badania nad technologiami produkcji wodoru oraz zintegrowanej produkcji wodoru i energii elektrycznej z węgla w procesie zgazowania z sekwestracją dwutlenku węgla, z wykorzystaniem ogólnie dostępnego surowca (dostępne zasoby węgla przy obecnym zużyciu są szacowane na 200–250 lat) (BP 2005) z jednoczesną redukcją emisji gazów cieplarnianych, stanowią dziś przedmiot intensywnych prac naukowców z całego świata. W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej badania te są realizowane w ramach (US DOE 2005):

- *Hydrogen from Coal Program* Departamentu Energii USA (US DOE, Office of Fossil Energy), wspierającego inicjatywę prezydenta USA *Hydrogen Fuel Initiative* (dotyczącą uniezależnienia USA od importu ropy naftowej),
- *Hydrogen Posture Plan* DOE USA (określającego działania i cele dla integracji i wdrożenia rozwiązań technologicznych dla efektywnych ekonomicznie rozwiązań produkcji, magazynowania i dystrybucji wodoru do zasilania ogniw paliwowych pojazdów samochodowych i produkcji energii),
- projektu *FutureGen* 2003–2013 (zakładającego zaprojektowanie, budowę i uruchomienie do 2012 roku pierwszej na świecie instalacji do produkcji wodoru i energii elektrycznej z sekwestracją dwutlenku węgla na skalę przemysłową: 275 MW).

Połączona produkcja wodoru i energii elektrycznej oraz ogniwa paliwowe, jako najbardziej efektywne urządzenia do konwersji wodoru w energię elektryczną, stanowią również podstawę tworzenia tzw. zrównoważonych systemów energetycz-

nych w Europie. Tworzenie europejskiej gospodarki wodorowej stanowi przedmiot inicjatyw badawczych, realizowanych w ramach Szóstego Programu Ramowego Badań i Rozwoju Technicznego (głównie Priorytet 6.1 Zrównoważone Systemy Energetyczne) oraz Europejskiej Platformy Wodoru i Ogniw Paliwowych (HFP), wspierającej i koordynującej programy rozwoju i wdrażania kluczowych technologii na poziomie europejskim, krajowym i regionalnym (Komisja Europejska 2004).

Z inicjatywy Ministerstwa Gospodarki, Handlu i Przemysłu Japonii (METI) *Clean Coal Cycle* (C3) Initiative oraz w ramach działań badawczo-rozwojowych *New Energy and Industrial Technology Development Organization* (NEDO) są realizowane między innymi: projekt wdrożeniowy technologii zgazowania węgla do produkcji gazu do zasilania ogniw paliwowych IGFC (Projekt EAGLE 1998–2006) oraz projekt dotyczący opracowania narzędzi modelujących i symulacyjnych dla technologii zgazowania węgla w złożach fluidalnych – *Development of Basic Technology for Advanced Coal Utilization Technology*. W ramach projektu badawczego Hypr-RING (2000–2010) jest opracowywana natomiast technologia produkcji wodoru z węgla z usuwaniem gotowego do sekwestracji dwutlenku węgla (*Hydrogen Production by Reaction Integrated Novel Gasification Process*). Projekt ten jest testowany w instalacji półtechnicznej o wydajności 0,5–1 t węgla/dobę (METI 2004; NEDO 2004).

2. TECHNOLOGIE PRODUKCJI WODORU Z WĘGLA

W najprostszym układzie wodór z węgla jest produkowany obecnie przez zgazowanie węgla parą wodną i tlenem do gazu syntezowego, o typowym procentowym składzie objętościowym: 25–30% wodoru, 30–60% tlenku węgla, 5–15% dwutlenku węgla, 2–30% pary wodnej i 0–5% metanu (US DOE 2005) w reakcjach podanych w tablicy 1 (do obliczeń ΔH wykorzystano program HSC Chemistry wersja 3.0).

Tablica 1. Ciepła reakcji zgazowania węgla ΔH , kJ/mol

Reakcja	ΔH_{673}	ΔH_{873}	ΔH_{1073}	ΔH_{1273}	ΔH_{1473}
$C + H_2O_{(g)} = CO_{(g)} + H_{2(g)}$	135,030	135,663	135,742	135,404	134,790
$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} = CO_{2(g)} + H_{2(g)}$	–37,868	–35,734	–33,707	–31,829	–30,083
$2CO_{(g)} = CO_{2(g)} + C$	–172,898	–171,397	–169,449	–167,233	–164,872
$CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} = CO_{(g)} + 3H_{2(g)}$	219,814	223,967	226,355	227,338	227,298
$CH_{4(g)} + CO_{2(g)} = 2CO_{(g)} + 2H_{2(g)}$	257,682	259,701	260,062	259,167	257,380
$C + 2H_{2(g)} = CH_{4(g)}$	–84,784	–88,304	–90,613	–91,934	–92,508

Podczas zgazowania zachodzą też reakcje uboczne, prowadzące do powstania zanieczyszczeń, których zawartość w gazie syntezowym wynosi: 0,2–1% siarkowodoru, 0–0,1% siarczku karbonylu, 0,5–4% azotu, 0,2–1% argonu oraz 0–0,3% amoniaku z cyjanowodorem (US DOE 2005).

Części mineralne zawarte w surowcu są odprowadzane z reaktora jako popioły o potencjalnej wartości rynkowej oraz usuwane z gazu syntezowego w urządzeniach filtracyjnych lub skrubierach wodnych. Produktami reakcji mogą być też smoły, substancje olejowe i fenole. Pierwiastki śladowe, takie jak rtęć i arsen uwalniane

w procesie zgazowania z części organicznych i nieorganicznych węgla odkładają się w różnych frakcjach stałych oraz gazowych produktów procesu, w postaci związków chemicznych, których rodzaj zależy od rodzaju i warunków eksploatacyjnych reaktora.

W konwencjonalnej metodzie gaz syntezowy o temperaturze na wylocie z reaktora około 1000°C podlega schładzaniu z możliwą jednoczesną generacją pary wodnej, a następnie oczyszczaniu w skrubkach (usuwanie HCN, NH₃, HCl, H₂S i zanieczyszczeń stałych). H₂S i COS są usuwane z zastosowaniem rozpuszczalnika organicznego, z 99,8% odzyskiem siarki w postaci siarki elementarnej lub kwasu siarkowego. Spalanie gazu resztkowego z układu separacji może być wykorzystywane jako źródło ciepła do procesu. Czysty gaz syntezowy o temperaturze około 20°C, opuszczający skrubery, jest następnie podgrzewany do 300–370°C przed wprowadzeniem do pierwszego reaktora WGS (*Water Gas Shift*), w którym jest prowadzony katalityczny proces konwersji gazu parą wodną według egzotermicznej reakcji: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$. W wyniku tej reakcji temperatura gazu wzrasta do około 420°C, w związku z czym gaz musi być ponownie schładzany do temperatury wymaganej w drugim reaktorze WGS: 120–350°C.

Gaz opuszczający drugi reaktor WGS podlega procesom separacji w celu wydzielania wodoru z mieszaniny z dwutlenkiem i tlenkiem węgla. Wydzielony wodór jest następnie doczyszczany do standardów wymaganych w jego różnych zastosowaniach. Rozwiązaniem alternatywnym do konwersji gazu syntezowego do wodoru gazowego może być jego konwersja do cieczy (produkty procesu Fischer-Tropsch, metanol), wykorzystywanych jako paliwa płynne lub surowce do produkcji wodoru w procesie reformingu do zastosowań w ogniwach paliwowych.

Obecnie do najczęściej stosowanych na świecie metod zgazowania węgla (*Gasification Technology Council*) zalicza się: technologie Shell (20 instalacji), Texaco (16 instalacji), Lurgi (7 instalacji), E-gas (3 instalacje), przy czym wśród największych gazogeneratorów instalacje z wykorzystaniem węgla jako surowca pracują według technologii Lurgi (Rakowski 2003), a jako metody zgazowania wykorzystywane w technologiach przyszłościowych produkcji wodoru z węgla wymienia się Texaco i E-gas (US DOE 2005) (tabl. 2).

Tablica 2. Wybrane dane techniczne procesu i skład gazu (Szuba, Michalik 1983; Stańczyk 2005)

Wyszczególnienie	Metoda			
	Texaco	E-Gas	Shell	Lurgi
Czynnik zgazowujący	Mieszanina tlenu i pary wodnej			
Temperatura procesu	1100–1500°C	1370–1040°C	200°C w strefie płomienia; 1300–1500°C na wylocie ze strefy zgazowania	760–900°C
Ciśnienie procesu, MPa	2,5–8,5	2,8	3,5	2,38–3,00
Stopień konwersji węgla, %	90–98	98	99	77,7–99,6
Główne składniki gazu, %:				
- H ₂	38,7	42,2	25,6	9,0*
- CO	46,6	15,2	65,1	23,0
- CO ₂	11,5	30,9	0,8	27,0

*) skład gazu dla węgla płomiennego i zgazowania tlenowo-parowego.

Metoda Shell

W metodzie Shell proces zgazowania węgla wstępnie rozdrobnionego (90% ziaren o średnicy poniżej 0,09 mm) i wysuszonego (do 1–2% zawartości wilgoci) jest prowadzony w wysokociśnieniowym reaktorze strumieniowym (ciśnienie robocze 3,5 MPa) w mieszaninie powietrza lub tlenu z parą wodną. Węgiel jest podawany w strumieniu czynnika zgazowującego przez usytuowane naprzeciw siebie palniki. Temperatura w strefie palnika wynosi do 2000°C, a temperatura gazu na wylocie ze strefy reakcji: 1300–1500°C. Płynny żużel ścieka do dolnej, wypełnionej wodą, części reaktora. Nad strefą reakcji znajduje się strefa chłodzenia mieszaniną gazu surowego z zimnym gazem recyrkulowanym, w której następuje zestalanie unoszonych z gazem cząstek stopionego popiołu. Gaz surowy jest następnie oczyszczany z zanieczyszczeń stałych (popiół, nieprzereagowany węgiel) w cyklonach i skrubkach.

Metoda Texaco

Metoda Texaco polega na ciśnieniowym, parowo-tlenowym zgazowaniu w reaktorze strumieniowym zawiesziny wodnej węgla (wstępnie rozdrobnionego poniżej 0,074 mm). Sprężona (2,8 MPa) zawieszina węglowa zostaje podgrzana do temperatury 540°C, w wyniku czego następuje odparowanie wody i przegrzanie pary. Wytworzony strumień parowo-węglowy z tlenem jest podawany do reaktora o temperaturze eksploatacyjnej 1100–1500°C i ciśnieniu 2,5–8,5 MPa. Stopiony popiół jest odbierany w postaci żużla, a gaz jest schładzany i oczyszczany w skrubkach wodnym.

Metoda Lurgi

W metodzie tej węgiel o uziarnieniu 3–30 mm i zawartości frakcji pyłowej (ziarna o średnicy poniżej 1 mm) do 7% wag. jest poddawany zgazowaniu w reaktorze quasi-stacjonarnym w warunkach ciśnienia do 3 MPa, w mieszaninie tlenu i pary wodnej. Zgazowanie zachodzi przy przeciwnieprądowym ruchu substratów: węgiel jest podawany do górnej części reaktora dystrybutorem obrotowym, zapewniającym równomierne usypywanie złoża, a czynnik zgazowujący – przez ruszt obrotowy w dolnej części reaktora. Gaz surowy o temperaturze 300–600°C jest oczyszczany (usuwanie smoły i pyłów) przez schłodzenie w urządzeniu zraszającym, generatorze pary i chłodnicach.

Metoda E-gas

W metodzie E-gas zawieszina wodno-węglowa jest poddawana zgazowaniu ciśnieniowemu w strumieniu tlenu (o czystości 95%) w dwustopniowym reaktorze strumieniowym o ciśnieniu eksploatacyjnym 2,8 MPa i temperaturze: 1370 i 1040°C odpowiednio dla pierwszego i drugiego stopnia reaktora. W drugim stopniu reaktora następuje piroliza i częściowe zgazowanie substratu węglowego w atmosferze gorącego gazu surowego, pochodzącego ze zgazowania węgla w stopniu pierwszym.

**2.1. Technologia konwencjonalna produkcji wodoru z węgla,
a technologie zaawansowane**

Obecnie nie ma instalacji przemysłowych do zintegrowanej produkcji wodoru i energii elektrycznej z węgla, z połączoną sekwestracją dwutlenku węgla. Przeprowadzane są jednak techniczno-ekonomiczne symulacje komputerowe (tabl. 3) takich

układów na podstawie zarówno technologii dostępnych, jak i zaawansowanych, niebędących w powszechnym użyciu (Yamashita, Barreto 2005; Rosen, Scott 1998; Kreutz i in. 2005, Gambini, Vellini 2005; Stiegel, Ramezan 2006). Wśród nich wymienia się (US DEO 2005; Gray, Tomlinson 2002):

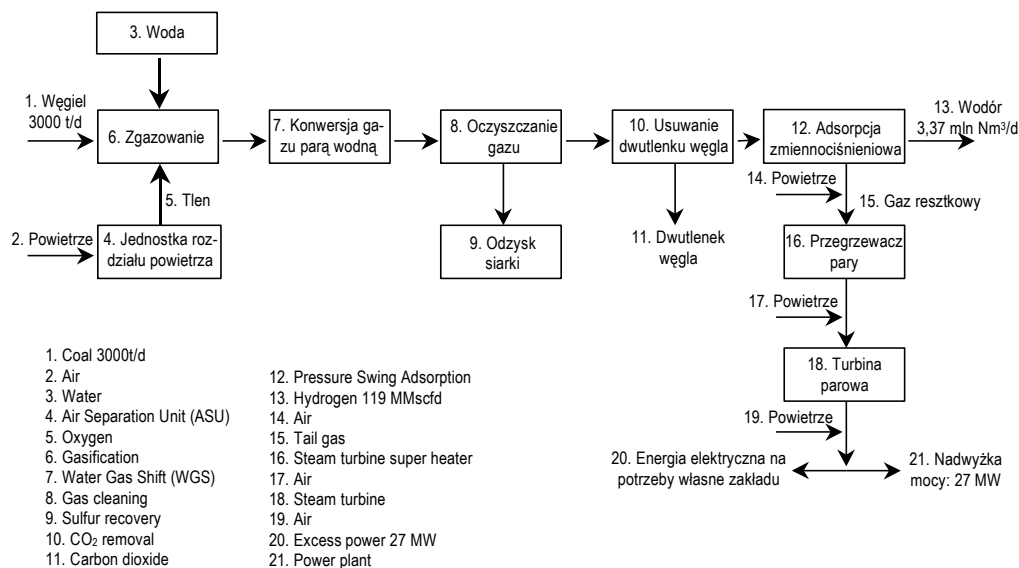
Tablica 3. Porównanie szacowanych wartości parametrów techniczno-ekonomicznych Układów 1–3 (US DOE 2005)

Wyszczególnienie	Układ 1	Układ 2	Układ 3
Oczekiwany termin opracowania technologii	dostępna	2015 r.	2015 r.
Sekwestracja CO ₂ , %	87	100	100
Wodór [*]) (MMscfd)	119	158	153
Węgiel, t/d	3000	3000	6000
Sprawność HHV ^{**}), %	59	75,5	59
Nadwyżka mocy, MW	26,9	25	417
Cena energii elektrycznej, USD/MWh	53,6	53,6	53,6
Koszt inwestycyjny, mln USD	417	425	950
Wymagana cena sprzedaży wodoru, USD/kg	1,10	0,79	0,54

* MMscfd – mln stóp sześciennych/dobę.

** HHV – higher heating value, %.

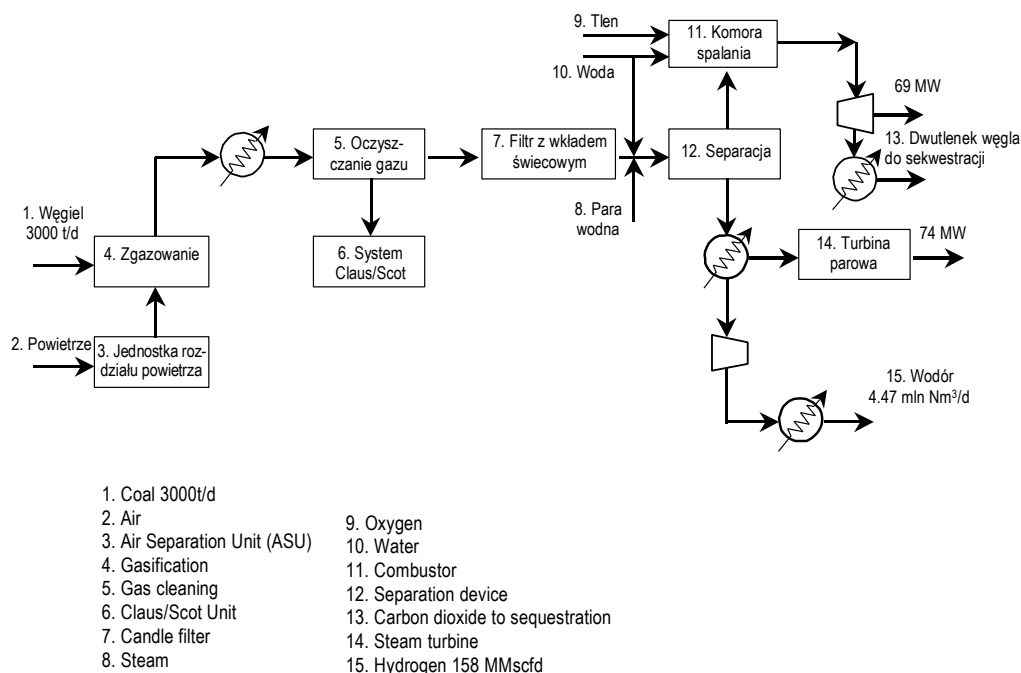
Układ 1: Technologia produkcji wodoru z węgla z zastosowaniem konwencjonalnych technologii, połączona z sekwestracją dwutlenku węgla (rys. 1): proces zgazowania według technologii Texaco, konwencjonalny system oczyszczania gazów, separacja wodoru. Dwutlenek węgla jest usuwany przed separacją wodoru, sprężany do 200 bar i sekwestrowany (87%). Dodatkowy koszt związany z sekwestracją CO₂ szacowany jest na 10 USD/t węgla).



Rys. 1. Schemat ideowy układu do produkcji wodoru z sekwestracją dwutlenku węgla z wykorzystaniem istniejących technologii

Fig. 1. Schematic of hydrogen production from coal with carbon sequestration based on current technology

Układ 2: Technologia produkcji wodoru z węgla z sekwestracją dwutlenku węgla z zastosowaniem zaawansowanej technologii zgazowania węgla E-gas z układem gorącego oczyszczania gazu, zaawansowanych technologii membranowych (ceramicznych, pracujących w temperaturze 600°C) do separacji wodoru z gazu syntezowego (90% molowych) z separacją i sekwestracją dwutlenku węgla (rys. 2). Gaz resztkowy z systemu separacji wodoru jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej na potrzeby własne zakładu, w procesie spalania z tlenem w turbinie gazowej, w wyniku którego powstaje również skoncentrowany strumień dwutlenku węgla gotowego do sekwestracji. Ciepło gazu wylotowego z turbiny oraz ciepło strumienia wodoru są odzyskiwane w generatorach pary wodnej i wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej w turbinach parowych.



Rys. 2. Schemat ideowy układu do produkcji wodoru z sekwestracją dwutlenku węgla z zastosowaniem zaawansowanych technologii

Fig. 2. Schematic of hydrogen production from coal with carbon sequestration based on advanced technology

Układ 3: Technologia zintegrowanej produkcji wodoru i energii elektrycznej z zastosowaniem zaawansowanych technologii podobnych do opisanych w Układzie 2: zaawansowana technologia zgazowania E-gas z oddzielnym stopniem zgazowania do produkcji energii elektrycznej, systemy spalania i turbin, separacja membranowa, systemy usuwania i sekwestracji dwutlenku węgla (rys. 3). Technologia ta jest porównywana z prototypowym rozwiązaniem będącym w fazie badań w ramach programu FutureGen.

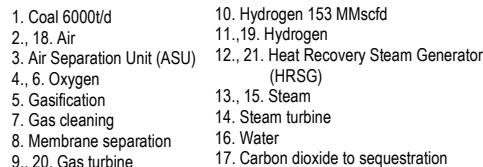


Fig. 3. Schematic of advanced co-production concept with carbon sequestration based on advanced technology

3. METODY SEPARACJI DWUTLENKU WĘGLA W PROCESACH PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ I WODORU Z PALIW STAŁYCH

W ostatnich latach obserwuje się znaczny wzrost zainteresowania metodami separacji i wychwytywania dwutlenku węgla, z uwagi na zwiększenie wymagań prawnych w zakresie kontroli jego emisji. Zgodnie z protokołem z Kyoto kraje zostały zobowiązane do redukcji emisji gazów cieplarnianych w latach 2008–2012 o 6–8% w stosunku do 1990 roku (Kyoto Protocol 1997). Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku elektrowni, w których jest wykorzystywane paliwo kopalne do produkcji energii (Rao 1999; Herzog, Drake, Adams 1997; Ruether 1999; Dave i in. 1999; Yong, Mata, Rodrigues 2001), odpowiedzialnych za 30% globalnej emisji CO₂, w procesach oczyszczania węglowodorów (Mckernan, Holder 1993) oraz w przemyśle lotniczym i kosmonautycznym (Lila, Finn 1998). Wśród głównych wymagań stawianych współczesnej energetyce znajdują się: poprawa sprawności elektrowni oraz poszukiwanie efektywnych metod wychwytywania CO₂, z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych, technicznych i społecznych. Obecnie metody separacji dwutlenku węgla są stosowane na skalę przemysłową między innymi w branży chemicznej, petrochemicznej i przetwórstwie spożywczym. Możliwość zastosowania metody separacji zależy od składu, temperatury i ciśnienia mieszaniny gazowej oraz wejściowego i wymaganego stężenia dwutlenku węgla. Powszechnie stosowanymi metodami są metody fizycznej i chemicznej absorpcji, z których te ostatnie, o efektywności ponad 90%, umożliwiają usuwanie CO₂ przy niskich ciśnieniach i mogą znajdować

zastosowanie w separacji CO₂ z gazów spalinyowych w elektrowniach gazowo-parowych kondensacyjnych (*gas turbine combined cycle* – GTCC) (Tzimas, Peteves 2005). Możliwe jest również stosowanie innych metod, takich jak: frakcjonowanie kriogeniczne, separacja membranowa oraz procesy adsorpcyjne: adsorpcja zmiennociśnieniowa (PSA) i zmiennotemperaturowa (TSA). PSA jako metoda umożliwiająca usuwanie CO₂ w wysokiej temperaturze, bez konieczności wstępnego schładzania gazów, znalazła również zastosowanie w technologii produkcji wodoru z gazu syntezowego, otrzymanego ze zgazowania węgla (Gaffney i in. 1999). Istotne znaczenie ma dobór właściwego adsorbentu: o wysokiej selektywności adsorpcyjnej oraz wysokiej i stabilnej pojemności adsorpcyjnej, odpowiedniej kinetyce adsorpcji/desorpcji w warunkach prowadzenia procesu oraz odporności mechanicznej. Wśród potencjalnie możliwych do zastosowania w procesie PSA adsorbentów wymienia się: adsorbenty węglowe, aluminium, tlenki metali alkalicznych (Na₂O, K₂O), tlenki metali ziem alkalicznych (CaO, MgO) oraz zeolity (Yong, Mata, Rodrigues 2001). Metody absorpcji fizycznej połączone z PSA mogą być stosowane przy wysokim ciśnieniu parcjnym CO₂ w mieszaninie gazowej, na przykład: w blokach gazowo-parowych ze zintegrowanym zgazowaniem paliwa (*integrated gasification combined cycle* – IGCC) oraz w zakładach produkcji wodoru. Jako rozwiązania przyszłościowe separacji dwutlenku węgla podawane są układy membranowe (Tzimas, Peteves 2005; Göttlicher, Pruschek 1997). Obecnie dostępne są membrany porowate nieorganiczne, palladowe, polimerowe i zeolitowe, stosowane w układach wielostopniowych, ze względu na niską sprawność separacji, które podzielić można na systemy membran separujących gaz (ceramicznych, polimerowych) i absorbujących gaz (Uliasz-Boheńczyk i in. 2004).

4. ZGAZOWANIE WĘGLA W ZŁOŻU FLUIDALNYM Z UŻYCIEM SORBENTU WAPNIOWEGO

Wśród priorytetowych prac badawczo-rozwojowych, do 2015 roku, z zakresu technologii produkcji wodoru z węgla są wymieniane (US DOE 2005; Gray, Tomlinson 2002) dotyczące:

- zaawansowanych systemów konwersji gazów parą wodną,
- zaawansowanych systemów separacji membranowej wodoru (w tym z zastosowaniem membran mikroporowatych, metalicznych, stopowych, metaloceramicznych),
- zaawansowanych systemów separacji CO₂,
- systemów doczyszczania wodoru,
- zaawansowanych systemów z zastosowaniem adsorbentów i rozpuszczalników,
- zaawansowanych koncepcji, w tym:
 - wysoko wydajnych procesów oczyszczania gazu, konwersji parą wodną, separacji wodoru,
 - *chemical looping*.

W świetle powyższego na uwagę zasługuje rozwiązanie, którego podstawy odnaleźć można między innymi w pracach badaczy amerykańskich z lat 70. XX wieku

(Szuba, Michalik 1983), rozwijane obecnie między innymi przez naukowców japońskich i europejskich, a polegające na prowadzeniu procesu zgazowania węgla w złożu fluidalnym w obecności tlenku wapnia jako absorbentu dwutlenku węgla, o potwierdzonych własnościach katalitycznych w rozpatrywanym procesie. Metoda **CO₂ + akceptor** opracowana w CONOCO Coal Development Corporation, USA, polegała na zgazowaniu wstępnie wysuszonego i podgrzanego do temperatury 260°C węgla o uziarnieniu poniżej 0,149 mm, wprowadzanego pod warstwę fluidalną koksiku. Ponad warstwę fluidalną był wprowadzany rozdrobniony (1,41–3,36 mm) tlenek wapnia. Proces odgazowania i zgazowania był prowadzony pod ciśnieniem 1 MPa, parą wodną wprowadzaną w dolnej części reaktora i spełniającą jednocześnie rolę czynnika fluidyzacyjnego, w temperaturze 800–850°C, z wykorzystaniem ciepła wydzielanego podczas reakcji karbonizacji tlenku wapnia. W oddzielnym reaktorze, zasilanym koksikiem z reaktora zgazowania, w temperaturze około 1000°C, był prowadzony proces kalcynacji węglanu wapnia, odbieranego z dolnej części reaktora głównego. Odzyskiwany w procesie regeneracji tlenek wapnia był zawracany do procesu. Gaz surowy z reaktora zgazowania był odpylany, schładzany i oczyszczany. Metoda charakteryzowała się stopniem przemiany węgla rzędu 94% i składem gazu: H₂ – 56%, CO – 15,5%, CO₂ – 11%, CH₄ – 14%, N₂ – 3%, NH₃ – 0,12, H₂S – 0,43% (Szuba, Michalik 1983).

W opracowywanej przez Japończyków innowacyjnej metodzie produkcji wodoru HyPr-RING (ang. *Hydrogen Production by Reaction Integrated Novel Gasification*) proces zgazowania węgla jest prowadzony w obecności sorbentu wapniowego CaO, co pozwala na otrzymywanie strumienia wodoru o dużej czystości, przy znacznym obniżeniu kosztów jego produkcji w porównaniu z innymi, konwencjonalnymi metodami (Lin i in. 2002; Lin i in. 2005b; Kuramoto i in. 2003).

Reakcja zgazowania jest reakcją silnie endotermiczną, prowadzoną w układach konwencjonalnych w odpowiednio wysokiej temperaturze, uzyskiwanej dzięki częściowemu spalaniu węgla, według reakcji: $2C + O_2 + H_2O = CO_2 + CO + H_2$. W takim układzie z 2 moli węgla uzyskuje się 1 mol wodoru. Separacja CO od H₂ w gazie syntezowym jest osiągana dzięki utlenieniu CO do CO₂, głównie w silnie egzotermicznej reakcji konwersji gazu parą wodną: WGS (*Water Gas Shift*). W większości konwencjonalnych technologii procesy zgazowania oraz WGS są prowadzone w dwóch oddzielnych reaktorach. Proces zgazowania jest przeprowadzany w temperaturze co najmniej 1273 K, natomiast powstający w wyniku zgazowania gaz syntezowy jest wprowadzany do kolejnego reaktora pracującego w temperaturach poniżej 673 K, w którym zachodzi reakcja konwersji gazu parą wodną (Bisio, Boots 1995). Główne komponenty procesu HyPr-RING są przedstawione na rysunku 4 (Lin i in. 2005a).

Proces HyPr-RING jest realizowany w dwóch reaktorach: zgazowania węgla i regeneracji sorbentu. Mieszanina węgla i sorbentu wapniowego jest wprowadzana do reaktora, w którym zachodzi jego zgazowanie parą wodną, w przedziale temperatury 873–973 K i pod ciśnieniem 3 MPa (Lin in. 2005b). W procesie HyPr-RING można wyróżnić cztery główne reakcje:

1) reakcję tworzenia wodorotlenku wapnia (egzotermiczna)



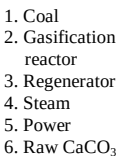


Fig. 4. Schematic diagram of HyPr-RING process

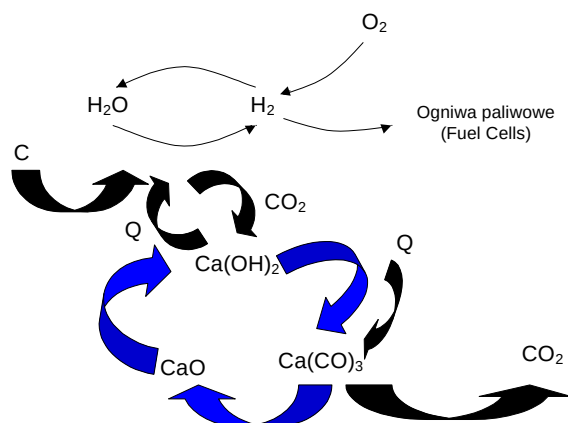
$$\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2 \quad \Delta H_{973} = 135,753 \text{ kJ/mol}$$
$$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2 \quad \Delta H_{973} = -34,704 \text{ kJ/mol}$$
$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \quad \Delta H_{973} = -74,385 \text{ kJ/mol}$$
$$\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaO} = \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2 \quad \Delta H_{973} = -69,420 \text{ kJ/mol}$$
$$\text{CaO} + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
$$\text{NaOH} + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$$
$$2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{S} = \text{Na}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$$

Z azotu występującego w węglu w warunkach redukcyjnych powstaje NH_3 :

$$2\text{N} + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3.$$

Amoniak oraz sole Na_2S , NaCl , CaCl_2 pozostają w fazie ciekłej po separacji. Pozostały po procesie karbonizacji CaCO_3 oraz nieprzereagowany węgiel są kierowane do drugiego reaktora (pracującego w temperaturze 1373 K i pod ciśnieniem 0,1 MPa), w którym następuje regeneracja CaO i wydzielanie gotowego do sekwestracji strumienia CO_2 . Ciepło potrzebne do regeneracji CaO pochodzi z egzotermicznej reakcji spalania nieprzereagowanego węgla w tlenie.

Główną zaletą metody HyPr-RING jest możliwość prowadzenia reakcji zgazowania węgla, konwersji gazu parą wodną oraz separacji dwutlenku węgla w tych samych warunkach temperatury (niższych niż w układach konwencjonalnych) i ciśnienia w jednym reaktorze, bez konieczności doprowadzania ciepła z zewnątrz. W metodzie tej substratami są węgiel, woda i tlen, natomiast głównym produktem jest wodór oraz czysty, gotowy do sekwestracji dwutlenek węgla. Sorbent podlega regeneracji w oddzielnym reaktorze, zachowując 50–80% energii cieplnej dostarczanej do procesu kalcynacji w postaci energii chemicznej CaO , zwracanego do reaktora zgazowania. Schematycznie koncepcję HyPr-RING przedstawiono na rysunku 5 (Lin i in. 2002a).



Rys. 5. Schemat ideowy koncepcji procesu HyPr-RING

Fig. 5. Schematic diagram of HyPr-RING process concept

W procesie HyPr-RING wyróżnić można dwa cykle (tzw. *chemical loops*). W pierwszym z nich, tzw. cyklu wodnym woda reaguje z węglem, tworząc CO , które jest utleniane do CO_2 w reakcji konwersji gazów parą wodną. W „cyklu wodnym” jest wykorzystywane ciepło Q , niezbędne do zajścia silnie endotermicznej reakcji zgazowania węgla parą wodną, pochodzące z egzotermicznych reakcji zachodzących w reaktorze. W drugim cyklu, „cyklu tlenku wapnia”, w pierwszym etapie zachodzi egzotermiczna reakcja gaszenia wapnia, a następnie egzotermiczna reakcja absorpcji CO_2 przez Ca(OH)_2 , w wyniku czego powstaje CaCO_3 , a równowaga reakcji konwersji parą wodną przesuwa się w kierunku tworzenia wodoru. Podczas procesu kalcynacji CaCO_3 powstaje czysty CO_2 , gotowy do sekwestracji.

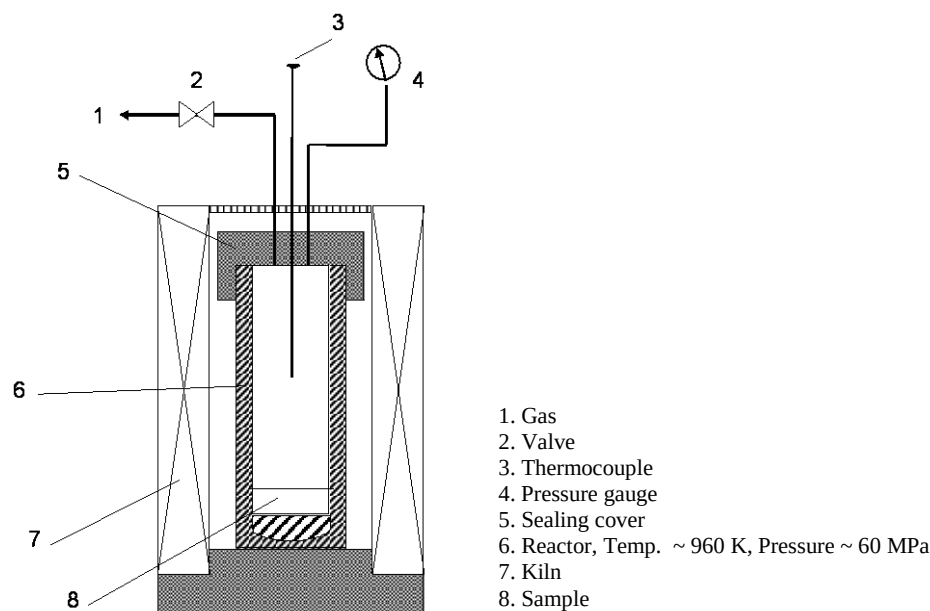
Rozwiązanie jest więc bardzo interesujące z uwagi na korzyści synergistyczne wynikające z jego stosowania: realizacja procesów katalitycznego zgazowania

i separacji dwutlenku węgla z gazu syntezowego w jednym reaktorze – przesunięcie równowagi reakcji chemicznej w kierunku tworzenia wodoru 70–80% (Lin i in. 2005a) lub nawet 91% (Lin i in. 2005b) i metanu, usuwanie zanieczyszczeń typu: chlor, siarka, azot w postaci związków rozpuszczalnych w fazie ciekłej oraz generację strumienia dwutlenku węgla gotowego do sekwestracji.

Równocześnie są prowadzone badania nad opracowaniem modelu reakcji karbo-nizacji i kalcynacji tlenku wapnia, określeniem procesów limitujących oraz wpływu ciśnienia cząstkowego dwutlenku węgla i ciśnienia prowadzenia procesu na szybkość reakcji (Garcia-Labiano i in. 2002), jak również nad metodami poprawy własności mechanicznych i sorpcyjnych regenerowanych sorbentów, między innymi przez stosowanie Na_2CO_3 , NaCl oraz 100% atmosfery CO_2 do ich regeneracji (Salvador i in. 2003; Abanades 2002). Mimo bowiem stwierdzanego spadku reaktywności sorbentu w cyklach, metoda ta jest prostą i ekonomiczną w porównaniu z konwencjonalnymi oraz innowacyjnymi metodami separacji dwutlenku węgla i wodoru (Granite, O'Brien 2005).

Efektywność separacji CO_2 z użyciem różnych sorbentów w technologiach zgazowania węgla

Prowadzone są również badania nad możliwością zastosowania innych sorbentów w procesie HyPr-RING. Wykonano między innymi systematyczne testy z CaOSiO_2 , MgO , SnO oraz Fe_2O_3 w układzie laboratoryjnym przedstawionym na rysunku 6 (Lin



Rys. 6. Schemat układu laboratoryjnego do badań sorbentów dwutlenku węgla w procesie zgazowania: 1 – gaz, 2 – zawór, 3 – termopara, 4 – ciśnieniomierz, 5 – pokrywa uszczelniająca, 6 – reaktor, 7 – piec, 8 – próba

Fig. 6. Diagram of a laboratory installation for carbon dioxide sorbents testing in the gasification process

i in. 2005a). Zawiesinę wodną zmielonego węgla (0,1 mm) i badanego sorbentu umieszczono w autoklawie, ogrzewanym do temperatury 960 K, pod ciśnieniem około 60 MPa. Po 10 minutach cały układ schłodzono do temperatury pokojowej, a następnie wykonano analizę składu gazu znajdującego się w autoklawie przy użyciu chromatografu gazowego.

Otrzymane wyniki jednoznacznie wykazały, że tylko Ca(OH)_2 oraz CaOSiO_2 w całości pochłaniały dwutlenek węgla, efektem czego było otrzymanie gazu o składzie: H_2 – 75% i CH_4 – 24% dla Ca(OH)_2 oraz H_2 – 72% i CH_4 – 27% dla CaOSiO_2 . Ponadto, w przypadku zastosowania sorbentu Ca(OH)_2 ilość produkowanego gazu była ponad dwukrotnie większa niż w przypadku zastosowania CaOSiO_2 , co tłumaczy się dobrymi właściwościami katalitycznymi Ca(OH)_2 w procesie zgazowania. Pozostałe sorbenty: MgO , SnO oraz Fe_2O_3 były nieefektywne w procesie separacji dwutlenku węgla w wysokich temperaturach. W przypadku użycia MgO skład otrzymanego gazu przedstawiał się następująco: H_2 – 60%, CH_4 – 26% i CO_2 – 13%, w przypadku użycia SnO : H_2 – 52%, CH_4 – 22% i CO_2 – 22%, a przy użyciu Fe_2O_3 : H_2 – 50%, CH_4 – 21% i CO_2 – 28%.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono krótką charakterystykę stosowanych na świecie metod zgazowania węgla, takich jak technologie: Shell, Texaco, Lurgi oraz E-gas. Jednocześnie wskazano na brak instalacji przemysłowych do zintegrowanej produkcji wodoru i energii elektrycznej z węgla, z połączoną sekwestracją dwutlenku węgla. Obecnie są dostępne jedynie komputerowe symulacje techniczno-ekonomiczne tego typu układów konstruowane zarówno na podstawie technologii dostępnych, jak i zaawansowanych, niebędących w powszechnym użyciu. Z uwagi na wymagania dotyczące czystości wodoru do zastosowań w ogniach paliwowych, jak i wymagania w zakresie redukcji emisji dwutlenku węgla, ważnym aspektem produkcji energii elektrycznej i wodoru z paliw stałych są metody separacji wodoru i dwutlenku węgla z wysokotemperaturowych mieszanin gazowych. Wśród stosowanych metod separacyjnych wymienia się: absorpcję chemiczną i fizyczną, frakcjonowanie kriogeniczne, metody adsorpcyjne oraz separację membranową. W opisaniej, w artykule, japońskiej koncepcji metody produkcji wodoru z separacją CO_2 gotowego do sekwestracji – HyPr-RING jako sorbent dwutlenku węgla oraz katalizator procesu zgazowania jest stosowany tlenek wapnia. Niewątpliwą zaletą metody jest możliwość prowadzenia procesów zgazowania węgla, konwersji gazu parą wodną oraz separacji CO_2 w tych samych warunkach temperatury i ciśnienia, w jednym reaktorze. W oddzielnym reaktorze jest prowadzony proces regeneracji sorbentu, w wyniku którego odzyskuje się CaO zwracany do procesu oraz strumień CO_2 gotowego do sekwestracji. Obecnie trwają intensywne badania nad metodami poprawy własności mechanicznych i sorpcyjnych regenerowanych sorbentów.

Literatura

1. Abanades J.C. (2002): *The maximum capture efficiency of CaO using a carbonation/calcination cycle of CaO/CaCO₃*. Chemical Engineering Journal, Vol. 90, s. 303–306.
2. Bisio A., Boots S. (1995): *Energy technology and the environment*, Vol. 3. New York, Wiley.
3. BP Statistical Review of World Energy June 2005, <http://www.worldenergy.org/wec-geis/default.asp>.
4. Chiesa P., Consonni S., Kreutz T., Williams R. (2005): *Co-production of hydrogen, electricity and CO₂ from coal with commercially ready technology. Part A: Performance and emissions*. International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 30, s. 747–767.
5. Collot A. (2005): *Matching gasification technologies to coal properties*. International Journal of Coal Geology, Vol. 65, s. 191–212.
6. Dave R., Houghton J., Kane B., Ekmann J., Benson S., Clarke J., Dahlman R., Herdrey G., Herzog H., Cevera J.H., Jacobs G., Judkins R., Ogden J., Palmisano A., Stringer J., Surles T., Wolsky A., Woodward N., York M. (1999): *Carbon Sequestration: State of the Science*, US Department of Energy Report, <http://www.fe.doe.gov/coal-power/sequestration/index-rpt.html>.
7. Gaffney T.R., Golden T.C., Mayorga S.G., Brzozowski J.R., Talyer F.W. (1999): *Carbon dioxide pressure swing adsorption process using modified alumina adsorbents*. US Patent 5917136.
8. Gambini M., Vellini M. (2005): *Comparative analysis of H₂/O₂ cycle power plants based on different hydrogen production systems from fossil fuels*. International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 30, s. 593–604.
9. Garcia-Labiano F., Abad A., de Diego L.F., Gayan P., Adanez J. (2002): *Calcination of calcium-based sorbents at pressure in broad range of CO₂ concentrations*. Chemical Engineering Science, Vol. 57, s. 2381–2393.
10. Gasification Technology Council <http://www.gasification.org/resource/database/search.aspx>.
11. Göttlicher G., Pruschek R. (1997): *Comparison of CO₂ removal systems for fossil – fuelled power plant processes*. Energy Convers. Mgmt Vol. 38, Suppl., s. 173–178.
12. Granite E.J., O'Brien T. (2005): *Review of novel methods for carbon dioxide separation from flue and fuel gases*. Fuel Processing Technology, Vol. 86, s. 1423–1434.
13. Gray D., Tomlinson G. (2002): *Hydrogen from coal*. Mitretek Technical Paper, MTR 2002-31.
14. Herzog H., Drake E., Adams E. (1997): *CO₂ Capture, Reuse, and Storage Technologies for Mitigating Global Climate Change*, DOE/DE-AF22-96PC01257.
15. Komisja Europejska (2004): *European Hydrogen and Fuel Cell Projects, Project Synopses*, EUR 21241.
16. Kreutz T., Williams R., Consonni S., Chiesa P. (2005): *Co-production of hydrogen, electricity and CO₂ from coal with commercially ready technology. Part B: Economic analysis*. International Journal of Hydrogen Energy Vol. 30 Issue: 7, s. 769–784.
17. Kuramoto K., Fujimoto S., Morita A., Shibano S., Suzuki Y., Hatano H., Lin S.Y., Harada M., Takarada T. (2003): *Repetitive Carbonation-Calcination Reactions of Ca-Based Sorbents for Efficient CO₂ Sorption At Elevated Temperatures and Pressures*. Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 42, s. 975–981.
18. Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention on Climate Change (1997).
19. Lila M.M., Finn J.E. (1998): *Carbon Dioxide Adsorption on 5A Zeolite Designed for CO₂ Removal in Spacecraft Cabins*. NASA/TM-1998-208752.

20. Lin S.Y., Harada M., Suzuki Y., Hatano H. (2005b): *Process analysis for hydrogen production by reaction integrated novel gasification (HyPr-RING)*. Energy Conversion and Management, Vol. 46, s. 869–880.
21. Lin S.Y., Harada M., Suzuki Y., Hatano H. (2005a): *CO₂ separation during hydrocarbon gasification*. Energy Vol. 30, s. 2186–2193.
22. Lin S.Y., Suzuki Y., Hatano H., Harada M. (2002): *Developing an innovative method, HyPr-RING, to produce hydrogen from hydrocarbons*. Energy Conversion and Management, Vol. 43, s. 1283–1290.
23. Lin S., Harada M., Suzuki Y., Hatano H. (2002): *Hydrogen production from coal by separating carbon dioxide during gasification*. Fuel, Vol. 81, s. 2079–2085.
24. Mckernan I.W., Holder M.J. (1993): *Purification of hydrocarbons*. GB Patent 2267096.
25. Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), Clean Coal Cycle (C3) Study Group, 2004, Interim Report of the Clean Coal Cycle (C3) Study Group “Japan’s New Coal Policy Towards 2030” -C3 Initiative Towards the Establishment of the Clean Coal Cycle.
26. New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Outline of NEDO 2004, 2005.
27. Rakowski J. (2003): *Przegląd zagadnień technologicznych związanych ze zgazowaniem paliw stałych dla potrzeb energetycznych*. Raport energetyki, wrzesień 2003, s. 591–601.
28. Rao M. (1999): *CO₂ Capture from Industrial Process Gases*. DOE-AC26-98FT40419.
29. Rosen M.A., Scott D.S. (1998): *Comparative efficiency assessments for a range of hydrogen production processes*. International Journal of Hydrogen Energy Vol. 23 No 8, s. 653–659.
30. Ruether J.A. (1999): *FETC Programs for Reducing Greenhouse Gas Emissions*. DOE/FETC-98/1058.
31. Salvador C., Lu D., Anthony E.J., Abanades J.C. (2003): *Enhancement of CaO for CO₂ capture in an FBC environment*. Chemical Engineering Journal, Vol. 96, s. 187–195.
32. Stanmore B.R., Gilot P. (2005): *Review – calcination and carbonation of limestone during thermal cycling for CO₂ sequestration*. Fuel Processing Technology, Vol. 86, s. 1707–1743.
33. Stańczyk K. (2005): *Rozwój gospodarki wodorowej w oparciu o węgiel kamienny*. Dokumentacja z prac wykonanych w ramach działalności statutowej Głównego Instytutu Górniczego, IX 40.17.
34. Stiegel G.J., Ramezan M. (2006): *Hydrogen from coal gasification: An economical pathway to a sustainable energy future*. International Journal of Coal Geology, Vol. 65, s. 173–190.
35. Szuba J., Michalik L. (1983): *Karbochemia – zarys rozwoju*. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.
36. Tzimas E., Peteves S.D. (2005): *The impact of carbon sequestration on the production cost of electricity and hydrogen from coal and natural gas technologies in Europe in the medium term*. Energy, Vol. 30, s. 2672–2689.
37. Uliasz-Boheńczyk A., Mazurkiewicz M., Mokrzycki E., Piotrowski Z. (2004): *Utylizacja ditlenku węgla poprzez mineralną karbonatyzację*. Polityka Energetyczna T. 7, Zeszyt specjalny, s. 541–554.
38. US Department of Energy, Office of Fossil Energy, 2005, Hydrogen from Coal Program, Research, Development and Demonstration Plan for the Period 2004 through 2015, External draft for Review.
39. Winter C.J. (2003): *On the HYway – sustainable assets in Germany’s energy state’s portfolio*. International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 28, s. 477–481.
40. Word Energy Council: <http://www.worldenergy.org/wec-geis/default.asp>.

41. Yamashita K., Barreto I. (2005): *Energyplexes for the 21st century: Coal gasification for co-producing hydrogen, electricity and liquid fuels*. Energy, Vol. 30, s. 2453–2473.
42. Yong Z., Mata V., Rodrigues A.E. (2001): *Adsorption of carbon dioxide at high temperature – a review*. Separation Purification Technology, Vol. 26, s. 195–205.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk

Sławomir H. Bock

METODY BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH OBUDOWY SZYBÓW KOPALNIANYCH

Streszczenie

W artykule dokonano przeglądu stosowanych w Zakładzie Technologii Eksploatacji i Obudów Górniczych Głównego Instytutu Górnictwa sposobów określania wytrzymałości obudowy szybowej, na podstawie badań nieniszczących (metoda sklerometryczna, ultradźwiękowa), półniszczących (metoda „pull-off”) oraz niszczących (badanie próbek pobranych bezpośrednio z obudowy szybowej). Bardziej szczegółowo opisano metodę sprzężoną, pozwalającą na dokładniejsze określenie wytrzymałości na ściskanie betonu oraz cegły z użyciem metod nieniszczących (sklerometrycznej, ultradźwiękowej). Wyniki badań wykorzystano do opracowania nowego wzoru na obliczanie wytrzymałości na ściskanie z uwzględnieniem liczby odbić młotka Schmidta oraz prędkości fal ultradźwiękowych. Przedstawiono także metodykę prowadzenia pomiarów wraz z przykładowymi wynikami badań (Bock i in. 2005).

Methods of strength tests of mine shafts supports

Abstract

In this paper, a review was done of methods of strength tests of mine shaft support used in the Department of Extraction Technologies and Mining Support of Central Mining Institute on a basis of non-destructive testing (sclerometric method, ultrasonic method), semi-destructive (“pull-off” method) and destructive (tests of samples taken directly from a shaft support). An associated method was described more specifically, enabling determining a compression strength of concrete and bricks with higher precision by the non-destructive methods (sclerometric, ultrasonic). The tests results were used for developing a new formula for calculation of compressive strength taking into account a number of Schmidt hammer rebounds and a velocity of ultrasonic waves. The methodology of tests conducting, together with examples of tests results were presented (Bock et al. 2005).

WPROWADZENIE

Szyb jest pionowym (rzadziej pochyłym) wyrobiskiem górniczym łączącym nadziemną i podziemną część kopalni. Z uwagi na podstawowe znaczenie dla funkcjonowania zakładów górniczych wymagana jest stała kontrola szybów i usuwanie ich najdrobniejszych usterek.

W artykule dokonano przeglądu sposobów określania wytrzymałości obudowy szybowej podczas okresowych badań stanu technicznego obudów szybowych, z użyciem metod nieniszczących, półniszczących i niszczących. Opisano również sposób adaptacji do badań posiadanych głowic ultradźwiękowych aparatu typu TICO oraz możliwości zastosowania metody sprzężonej, pozwalającej na określanie wytrzymałości na ściskanie betonu i cegły na podstawie matematycznych zależności między liczbą odbić młotka Schmidta a prędkością fal ultradźwiękowych.

1. PRZEGLĄD SPOSOBÓW OKREŚLANIA WYTRZYMAŁOŚCI OBUDOWY SZYBOWEJ

Określenie wytrzymałości obudowy szybowej ma podstawowe znaczenie w ocenie jej stateczności. Do najczęściej stosowanych sposobów określania wytrzymałości obmurza szybowego podczas badań kontrolnych należą: metoda sklerometryczna, metoda ultradźwiękowa, metoda „pull-off” oraz badania laboratoryjne odwiertów pobieranych z obmurza szybowego.

1.1. Metoda sklerometryczna

W metodzie sklerometrycznej wykorzystywana jest zależność między powierzchniową twardością betonu a jego wytrzymałością na ściskanie. Badania takie najczęściej wykonuje się za pomocą młotków Schmidta, zgodnie z zaleceniami zawartymi w instrukcji nr 210 Instytutu Techniki Budowlanej (Instrukcja ITB nr 210 1977) oraz w normie (PN-74/B-06262).

Młotek Schmidta jest przyrządem umożliwiającym ocenę powierzchniowej twardości betonu na podstawie wielkości odskoku od betonowej powierzchni masy trzpienia z układem sprężynowym, uderzającego z określoną energią. Wartością mierzoną jest tzw. liczba odbicia, którą odczytuje się na skali młotka lub na wyświetlaczu (młotek w wersji cyfrowej).

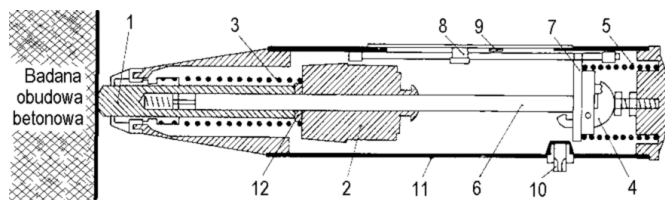
Stosowane są cztery typy młotków, różniące się przede wszystkim energią uderzenia:

- N – normalny, o energii uderzenia $2,21 \text{ N} \cdot \text{m}$, stosowany do badania betonu zwykłego w konstrukcjach monolitycznych i prefabrykowanych,
- L – lekki, o energii uderzenia $0,74 \text{ N} \cdot \text{m}$, przeznaczony do badań betonów lekkich i zapraw,
- M – ciężki, o energii uderzenia $29,5 \text{ N} \cdot \text{m}$, używany w badaniach betonu nawierzchni dróg i lotnisk, mostów, fundamentów i innych masywnych konstrukcji,
- P – wahadłowy, o energii uderzenia trzpienia $0,88 \text{ N} \cdot \text{m}$, przeznaczony do badań betonów i materiałów o małej twardości i wytrzymałości, takich jak gazobeton, tynk.

Do badania obudowy szybowej wykorzystywany jest młotek normalny typu N. Jego budowę przedstawiono na rysunku 1. Na fotografii 1 przedstawiono cyfrowy młotek Schmidta firmy Proceq, natomiast na fotografii 2 sposób dokonywania pomiaru mechanicznym młotkiem Schmidta.

Podczas badania młotek Schmidta ustawia się prostopadle do odpowiednio przygotowanej powierzchni. Miejsca do badań powinny być równe, przeszlifowane i oczyszczone z pyłu. Zalecane jest poziome położenie młotka, jak przy badaniu ścian pionowych, a takimi są obmurza obudowy szybów. Przy innym położeniu wprowadza się poprawki dodatnie lub ujemne w zależności od kąta między poziomem a osią młotka.

Młotek okresowo sprawdzany jest na kowadle testowym. Przy odczytach odrzuca się wyniki różniące się o 5 lub więcej jednostek (Nagrodzka-Godycka 1999).



Rys. 1. Przekrój podłużny młotka Schmidta typu N (Nagrodzka-Godycka 1999): 1 – trzpień uderzeniowy, 2 – masa uderzeniowa, 3 – sprężyna uderzeniowa, 4 – spust, 5 – sprężyna dociskowa, 6 – prowadnica, 7 – talerz wodzący, 8 – wskaźnik liczby odbicia lub przetwornik mechaniczno-elektroniczny, 9 – szkiełko ochronne wskaźnika (tylko w wersji mechanicznej), 10 – przycisk do zabezpieczania talerza wodzącego, 11 – obudowa, 12 – zaczep sprężyny uderzeniowej

Fig. 1. Longitudinal section of a type N Schmidt hammer (Nagrodzka-Godycka 1999): 1 – impact plunger, 2 – impact mass, 3 – impact spring, 4 – pawl, 5 – compression spring, 6 – guide bar, 7 – guide disk, 8 – indicator of the rebounds number or mechanical-electronic transducer, 9 – indicator protective glass (only for mechanical version), 10 – push-button for protection of guide disk, 11 – casing, 12 – bridle for impact spring



Fot. 1. Cyfrowy młotek Schmidta firmy Proceq

Phot. 1. Digital Schmidt hammer made by Proceq



Fot. 2. Sposób pomiaru liczby odbicia w warunkach szybowych z użyciem mechanicznego młotka Schmidta

Phot. 2. Method of measuring the number of rebounds in shaft conditions with the use of mechanical Schmidt hammer

1.2. Metoda ultradźwiękowa

Badanie metodą ultradźwiękową polega na wprowadzaniu do obiektów fal ultradźwiękowych oraz detekcji sygnałów wywołanych przez fale przechodzące przez badane obiekty (Lewińska-Romicka 2001).

Badania ultradźwiękowe, wykonane zgodnie z instrukcją (Instrukcja ITB nr 209 1977) oraz normą (PN-74/B-06261), umożliwiają ocenę wytrzymałości betonu na ściskanie na podstawie prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych. Do pomiaru prędkości tych fal, a właściwie czasu ich przejścia między głowicami pomiarowymi, stosuje się różne aparaty ultradźwiękowe, zwane betonoskopami. W prowadzonych badaniach wykorzystano aparat typu TICO – betonoskop ultradźwiękowy produkcji firmy Proceq (fot. 3).

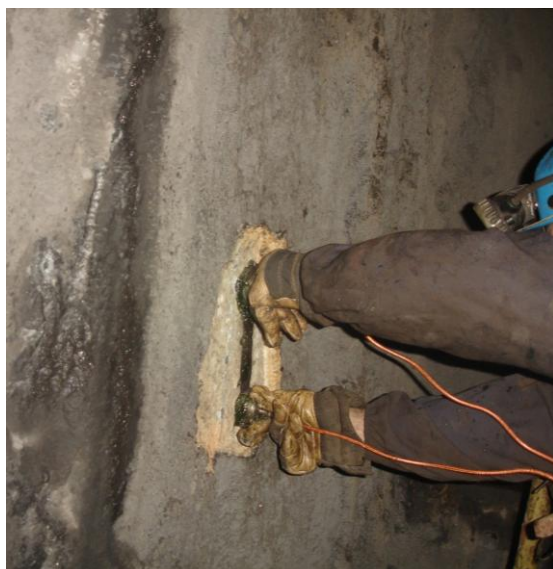


Fot. 3. Betonoskop ultradźwiękowy TICO firmy Proceq

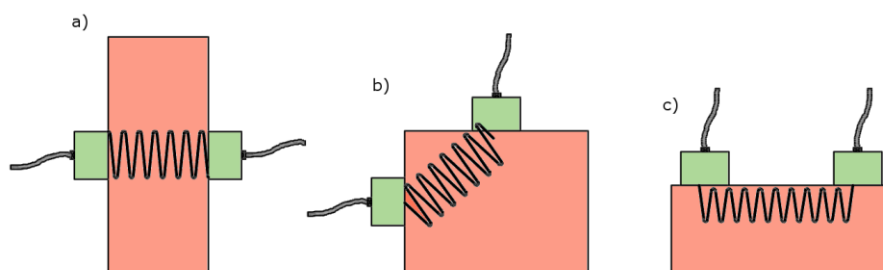
Phot. 3. Ultrasonic concrete test instrument-scope TICO made by Proceq

Jedno miejsce pomiarowe stanowią dwa punkty leżące w dokładnie określonej odległości od siebie. W celu zapewnienia połączenia akustycznego głowic z badanym obiektem należy wyrównać powierzchnię betonu, a na jej styku z przyłożonymi głowicami stosować smar techniczny (Nagrodzka-Godycka 1999). Sposób pomiaru wytrzymałości betonu za pomocą betonoskopu przedstawiono na fotografii 4.

Badanie wytrzymałości przeprowadzane bezpośrednio w szybie, bez pobierania próbek do dalszych badań, wymusza zastosowanie badań tzw. powierzchniowych (rys. 2c). Umożliwiają one określenie wytrzymałości badanego materiału w przypadku, gdy ma się dostęp jedynie do jednej z jego powierzchni. W takim przypadku zaleca się stosowanie pomiarów wielokrotnych: przy rozstawie głowic w odległości l oraz w odległości $2l$, przy czym odległość l nie może przekroczyć 250 mm przy pomiarze powierzchniowym.



Fot. 4. Sposób pomiaru wytrzymałości betonu
 Phot. 4. Method of concrete strength measurement



Rys. 2. Metody pomiaru prędkości propagacji fal ultradźwiękowych: a – pomiar bezpośredni, b – pomiar półbezpośredni, c – pomiar powierzchniowy

Fig. 2. Methods of velocity of ultrasonic wave propagation: a – direct measurement, b – semi-direct measurement, c – surface measurement

1.3. Metoda „pull-off”

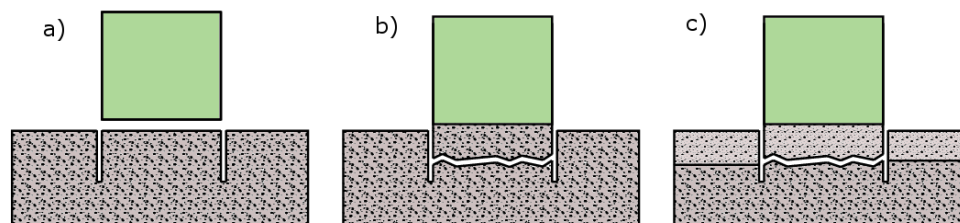
Badanie metodą „pull-off” polega na określaniu rzeczywistej wytrzymałości betonu na rozciąganie, przy niewielkim uszkodzeniu warstwy betonu (metoda półniszcząca), i na tej podstawie jego klasy. Badanie wykonuje się tzw. testerem „pull-off”. Składa się on z podstawy zawierającej siłownik hydrauliczny, z trzech podłużnych walcowatych opórek, z cięgna i czujnika pomiaru siły. Przed badaniem konstrukcję należy odpowiednio przygotować. W betonie nawierca się pierścieniowy ślepy otwór o średnicy 50 mm i niewielkiej głębokości oraz przykleja do wrywanej części betonu metalowy krążek. Po wyschnięciu kleju tester opiera się o badaną konstrukcję, mocuje do niego krążek i siłownikiem hydraulicznym wrywa się próbkę

betonową w kształcie walca. Sposób pomiaru wytrzymałości próbki betonowej na rozciąganie przedstawiono na fotografii 5. W momencie oderwania walca na czujniku odczytuje się siłę wyrywającą z konstrukcji walec betonu. Siła ta służy do określenia wytrzymałości betonu na rozciąganie, w której jest uwzględniona wytrzymałość kruszywa i zaprawy oraz współpraca zaprawy z kruszywem grubym. Badane próbki mogą być zerwane w podłożu, na kontakcie beton-krażek, lub na kontakcie dwóch warstw betonu. Schematycznie zostało to przedstawione na rysunku 3.



Fot. 5. Pomiar wytrzymałości próbki betonowej na rozciąganie przy pomocy urządzenia „dyna pull-off tester Z-25” firmy Proceq

Phot. 5. Measurement of concrete sample tensile strength with the use of “dyna pull-off tester Z-25” manufactured by Proceq



Rys. 3. Możliwe miejsca zerwania podczas badania metodą „pull-off”: a – zerwanie na kontakcie podłoże–krażek, b – zerwanie w podłożu, c – zerwanie na kontakcie dwóch warstw betonu

Fig. 3. Possible spots of break during the test with the “pull-off” method: a – break on a base-disk contact, b – break at the base, c – break on two concrete layers contact

Urządzenie do badania stanu obmurza szybowego metodą „pull-off” jest niezbędne do oceny poprawności wykonywanych jego napraw. W szczególności dotyczy to napraw przeprowadzanych z użyciem betonu natryskowego. Oprócz sprawdzenia przyczepności warstw betonu, metoda ta pozwala także na określenie wytrzymałości na rozciąganie. Badane parametry mają decydujący wpływ na stateczność szybu, a ich analiza pozwala na ocenę czasu bezpiecznego utrzymania szybu.

1.4. Badanie próbek pobranych bezpośrednio z obudowy szybowej

Laboratoryjne badanie próbek w maszynie niszczącej polega na obciążaniu próbki, w kształcie prostopadłościanu lub walca, siłą ściskającą równomiernie wzrastającą aż do osiągnięcia 80–90% przewidywanej siły niszczącej próbkę z szybkością obciążania próbki 0,1–0,5 MPa/s, następnie odciążeniu do chwili osiągnięcia około 5% siły niszczącej próbkę i powtórnego obciążenia, aż do momentu osiągnięcia siły niszczącej próbkę i dalej, aż do jej całkowitego zniszczenia, rejestracji przebiegu badania i na tej podstawie określeniu i obliczeniu wytrzymałości na ściskanie.

Miejsca pobrania próbek ustala się w zależności od stanu obudowy i od warunków technicznego uzbrojenia oraz wyposażenia szybu. Zgodnie z normą (PN-G-04211:1966) minimalna odległość między miejscami pobierania próbek powinna wynosić 0,3–0,5 m, przy czym w strefach uszkodzeń obudowy zaleca się zagęszczenie siatki pomiarowej.

Próbki do badań pobiera się w sposób nienaruszający nośność obudowy z odwierćników wykonanych bezpośrednio w konstrukcji obudowy lub wycina się z uzyskanych brył betonu. Przykład pobierania rdzeni wiertniczych z obmurza przedstawiono na fotografii 6.



Fot. 6. Pobieranie prób z odwierćników rdzeniowych za pomocą wiertnicy pneumatycznej

Phot. 6. Sampling from drill cores obtained with the use of pneumatic drilling rig

Z pobranego rdzenia wykonano próbki o następujących parametrach:

- średnica – 44 mm,
- wysokość – 44 mm.

Próbki przygotowane do laboratoryjnych badań na ściskanie przedstawiono na fotografii 7, zaś na fotografii 8 – pojedynczą próbkę przed i po badaniu w maszynie wytrzymałościowej typu ZD-30. Przykładowe wyniki badań zebrano w tabelicy 1.



Fot. 7. Próbkę laboratoryjne wykonane z pobranych rdzeni
Phot. 7. Laboratory samples made from extracted drill cores



Fot. 8. Widok próbki przed i po badaniu w maszynie wytrzymałościowej ZD-30
Phot. 8. Appearance of a sample before and after test in ZD-30 testing machine

Tablica 1. Przykładowe wyniki badań laboratoryjnych

Nr dźwigara/nr próbki	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie R_c , MPa	Średnio R_c , MPa
118/1	42,8	36,5
118/2	33,8	
118/3	37,1	
118/4	32,2	

Wyniki laboratoryjnych badań wytrzymałościowych walcowych próbek obmurza, o wymiarach $d = h = 44$ mm, przeliczono na wytrzymałość próbek sześciennych o krawędzi 150 mm, według wzoru (1) podanego w normie (PN-G-04211:1966):

$$R_{\square 150} = (0,02 \cdot d + 0,7)R_{d=h} \quad (1)$$

$$R_{\square 150} = 0,788 R_{d=h} \quad (2)$$

gdzie:

- $R_{\square 150}$ – wytrzymałość próbki sześcienniej o krawędzi 150 mm, MPa;
- $R_{d=h}$ – wytrzymałość próbki walcowej o średnicy równej jej wysokości, MPa;
- d – średnica próbki, cm;
- h – wysokość próbki, cm.

W prezentowanym przykładzie skorygowana wartość wytrzymałości próbki na ściskanie wyniosła

$$R_c = 28,8 \text{ MPa}$$

W przypadku próbek walcowych o wysokości różnej od średnicy wyniki laboratoryjnych badań wytrzymałościowych przelicza się na wytrzymałość próbek sześciennych o krawędzi 150 mm, według wzoru podanego w normie (PN-G-04211:1966)

$$R_{\square 150} = (0,4 + 0,8 h/d - 0,2 (h/d)^2) R_{d \neq h} \quad (3)$$

gdzie:

- $R_{\square 150}$ – wytrzymałość próbki sześcienniej o krawędzi 150 mm, MPa;
- $R_{d \neq h}$ – wytrzymałość próbki walcowej o średnicy różnej od jej wysokości, MPa;
- d – średnica próbki, cm;
- h – wysokość próbki, cm.

Zgodnie z normą (PN-EN 206-1:2003) dotychczasowe oznaczanie wytrzymałości literą R zastępuje się oznaczeniem f i przestaje obowiązywać pojęcie wytrzymałości gwarantowanej R_b^G oraz pojęcie wytrzymałości umownej R_b^U , natomiast wytrzymałość charakterystyczna f_{ck} powiązana jest z metodą jej badania – $f_{ck, cyl}$ w przypadku badania na walcach i $f_{ck, cube}$ w przypadku badania na kostkach sześciennych (Czaja 2005; Czarnecki 2004).

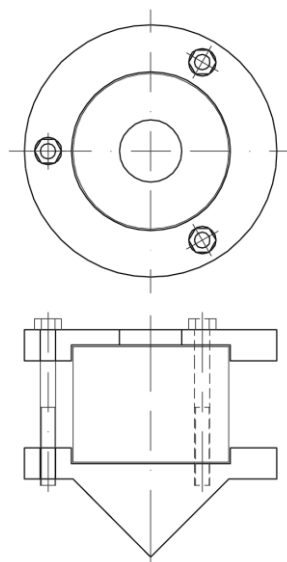
1.5. Metoda ultradźwiękowa z użyciem głowic o punktowym kontakcie

Badanie wytrzymałości cegieł aparatem typu TICO napotyka na bardzo poważne trudności. Maksymalna odległość $2l$ przy badaniu pojedynczej cegły wynosi 200 mm, stąd $l = 100$ mm. Przy średnicy głowic $2R = 50$ mm wymusza to ustawianie podczas pomiaru, przy odległości $l = 100$ mm, głowic bardzo blisko siebie. Przy założeniu, że przyjmowana odległość między głowicami odpowiada odległości $l1$ z rysunku 5, to dla $l1 = l = 100$ mm odległość $l2$ wyniesie zaledwie 50 mm. Badania in situ wykazały, że jest to odległość zbyt mała, by precyzyjnie określić prędkość propagacji fal ultradźwiękowych.

Drugim poważnym problemem, na jaki napotyka się podczas badań w warunkach in situ jest określenie wytrzymałości zaprawy wypełniającej spoiny między cegłami bądź betonitami. Przy rozmiarach głowic ultradźwiękowych aparatu typu TICO – $R = 25$ mm – nie jest możliwy precyzyjny pomiar metodami nieniszczącymi. W praktyce niemożliwe jest również pobranie próbek o wymiarach $40 \times 40 \times 160$ mm, wymaganych do badań laboratoryjnych. Rozwiązaniem tego problemu może być

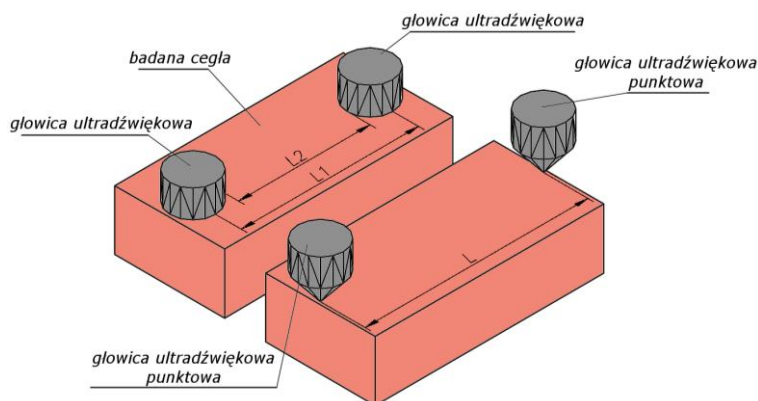
zastosowanie głowic ultradźwiękowych o punktowym kontakcie z badanym materiałem (Stawiski 1991). Umożliwia to niezależne badanie cegieł/betonitów i znajdujących się między nimi zaprawy.

W celu adaptacji aparatury służącej do ultradźwiękowych badań wytrzymałościowych w Zakładzie BG na typowe głowice aparatu typu TICO, stosuje się nakładki (rys. 4), wykonane ze stali niskowęglowej, która charakteryzuje się stosunkowo niewielkim współczynnikiem tłumienia α_{UL} wynoszącym 8 dB/m przy częstotliwości 2 MHz (Lewińska-Romicka 2001). Sposób pomiaru z użyciem nakładek przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Nakładka na typową głowicę ultradźwiękową

Fig. 4. Cover plate for a typical ultrasonic head



Rys. 5. Pomiar wytrzymałości cegły z użyciem głowic ultradźwiękowych typowych i o punktowym kontakcie

Fig. 5. Measurement of brick strength with the use of typical ultrasonic transducers and point contact ultrasonic transducers

Przed nałożeniem nakładek głowice pokrywa się substancją sprzęgającą i następnie łączy się trzema śrubami górną i dolną nakładkę. Z rysunku 5 wynika, że zastosowanie nakładek umożliwia zwiększenie odległości między głowicami, a tym samym dokładniejszy pomiar oraz ułatwia wykonywanie samego pomiaru – co jest szczególnie istotne podczas badań obudowy pokrytej nalotami solnymi. W celu określenia parametrów materiału warstwy wewnętrznej, a nie tylko skorodowanej warstwy powierzchniowej, konieczne jest jej dokładne odkucie i usunięcie. Na fotografii 9 przedstawiono obudowę murową z cegły pokrytą nalotami solnymi, zaś na fotografii 10 – sposób przygotowania obudowy betonowej do pomiaru aparatem typu TICO.



Fot. 9. Liczne naloty solne na obmurzu murowym z cegły

Phot. 9. Numerous salt blooms on the shaft brick support



Fot. 10. Przygotowywanie obmurza betonowego do badań nieniszczących

Phot. 10. Preparation of concrete shaft support to non-destructive tests

Charakter badań metodą ultradźwiękową wymusza dokładne oczyszczenie i wyrównanie miejsc pomiarowych. Odległości od naczynia wyciągowego do obmurza oraz warunki panujące w szybie często uniemożliwiają precyzyjne wykonanie takich prac. Zmniejszenie powierzchni kontaktowej z około 2000 mm² w przypadku typowych głowic aparatu TICO (o $R = 25$ mm) do kilkudziesięciu milimetrów kwadratowych w przypadku głowic o punktowym kontakcie ułatwia przygotowanie miejsca do badań i znacznie przyspiesza procedurę pomiarową.

Parametry nakładek, takie jak wysokość stożka, długość tworzącej stożka i rodzaj stożka (prosty bądź ścięty) wymagają dalszych badań.

1.6. Metoda sprzężona

Metoda sprzężona pozwala na określenie wytrzymałości na ściskanie betonu i cegły na podstawie matematycznych zależności między liczbą odbicia młotka Schmidta a prędkością fal ultradźwiękowych. Badania metodą sprzężoną wykonano (Bock i in. 2005) na 57 próbkach z betonu o wymiarach 150×150×150 mm oraz na 30 próbkach z cegły o wymiarach 65×65×65 mm. Dla każdej próbki określano prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych oraz liczbę odbić. W przypadku cegły badania ultradźwiękowe i sklerometryczne przeprowadzano przed pocięciem na próbki. Następnie badano próbki w maszynie wytrzymałościowej MTS-810 NEW.

Na podstawie przeprowadzonych badań zależność między liczbą odbicia młotka Schmidta i prędkością rozchodzenia się fal ultradźwiękowych a wytrzymałością na ściskanie ujęto wzorem (4) dla betonu i (5) dla cegły

$$f_{c,cube} = 6,79e^{33,52L \cdot 10^{-3}} + 3,22e^{0,27v} \quad (4)$$

gdzie:

- $f_{c,cube}$ – wytrzymałość kostkowa na ściskanie, MPa;
- L – liczba odbicia;
- v – prędkość fali, km/s.

$$f_{c,cube} = 1,58e^{0,05L} + 1,92e^{0,68v} \quad (5)$$

gdzie:

- $f_{c,cube}$ – wytrzymałość kostkowa na ściskanie, MPa;
- L – liczba odbicia;
- v – prędkość fali, km/s.

Wzór (4) obowiązuje w zakresie wartości L od 20 do 50 i wartości v od 2,4 do 5,1 km/s, zaś wzór (5) w zakresie wartości L od 30 do 60 i v od 1,2 do 3,5 km/s.

Średnią wytrzymałość obudowy należy obliczać według wzoru (6), zaś odchylenie standardowe według wzoru (7)

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \quad (7)$$

gdzie:

- f_{cm} – średnia wytrzymałość na ściskanie, MPa;
- f_{ci} – pojedynczy wynik badania wytrzymałości na ściskanie, MPa;
- σ – odchylenie standardowe populacji, MPa.

Za pomocą cyfrowego młotka Schmidta i aparatu typu TICO zbadano dziesięć wybranych losowo próbek betonowych i określono ich wytrzymałość na ściskanie w maszynie typu MTS. Wyznaczono następnie ich teoretyczną wartość $f_{c,cube}$ za pomocą wzoru (4) oraz na podstawie Instrukcji ITB nr 209 i 210. W tablicy 2 zebrano uzyskane wyniki, a na rysunku 6 przedstawiono porównanie wartości uzyskanych wytrzymałości na ściskanie dla betonu. W analogiczny sposób przebadano dziesięć wybranych losowo cegieł. Wyniki badań zebrano w tablicy 3, a na rysunku 7 przedstawiono ich porównanie.

Z tablicy 2 oraz z rysunku 6 wynika, że w przypadku badań betonu wartości wytrzymałości na ściskanie $f_{c,cube}$, określane za pomocą wzoru (4), są najbardziej zbliżone do wyników otrzymanych z użyciem maszyny wytrzymałościowej, w stosunku do pozostałych, omawianych metod. W przypadku cegły (tabl. 3 i rys. 7) w zakresie wartości liczby odbicia młotkiem Schmidta L od 30 do 50 i prędkości fal ultradźwiękowych v od 1,2 do 3 km/s obserwuje się podobne zwiększenie dokładności. Dla wartości $50 < L < 60$ i $3,0 \text{ km/s} < v < 3,5 \text{ km/s}$ wartości wytrzymałości na ściskanie $f_{c,cube}$ obliczane wzorem (5) są mniejsze od uzyskiwanych z zastosowaniem maszyny wytrzymałościowej i obarczone są największym błędem w stosunku do pozostałych metod. Należy jednak zauważyć, że typowe wartości L i v obmurza murowego z cegły mieszczą się w zakresie L do 45 i v do 3,0 km/s.

Tablica 2. Porównanie wyników uzyskanych z badań próbek betonowych

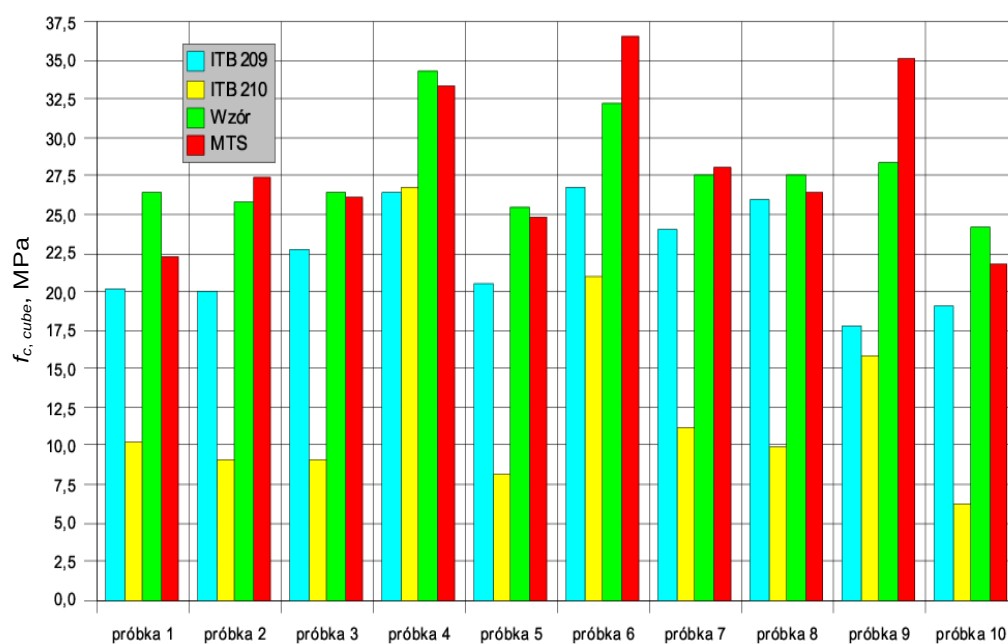
Lp.	Liczba odbić młotka L	Prędkość fali v km/s	Wytrzymałość kostkowa na ściskanie $f_{c,cube}$, MPa			
			ITB nr 209 ¹⁾	ITB nr 210 ²⁾	Wzór ³⁾	MTS ⁴⁾
1	25,0	4,451	20,13	10,18	26,41	22,25
2	24,0	4,438	19,94	9,08	25,85	27,42
3	24,0	4,630	22,74	9,08	26,42	26,18
4	35,5	4,870	26,50	26,67	34,31	33,26
5	23,0	4,478	20,51	8,06	25,47	24,83
6	32,5	4,886	26,76	21,03	32,23	36,52
7	25,8	4,717	24,08	11,11	27,63	28,09
8	24,8	4,839	26,00	9,95	27,48	26,40
9	29,3	4,286	17,84	15,84	28,37	35,17
10	21,0	4,373	19,03	6,27	24,21	21,80

¹⁾ obliczenia dla współczynników: $a = 2,39$; $b = -7,06$; $c = 4,2$ według Instrukcji ITB nr 209 z 1977 r.,

²⁾ obliczenia dla współczynników: $a = 0,041$; $b = -0,91$; $c = 7,3$ według Instrukcji ITB nr 210 z 1977 r.,

³⁾ obliczenia według wzoru (4),

⁴⁾ wyniki badań w maszynie wytrzymałościowej typu MTS-810 NEW.



Rys. 6. Porównanie wartości uzyskanych wytrzymałości na ściskanie $f_{c, cube}$ dla betonu: 1–10 numery próbek

Fig. 6. Comparison of values of obtained tensile strengths $f_{c, cube}$ for concrete: 1–10 sample's number

Tablica 3. Porównanie wyników uzyskanych z badań próbek cegły

Lp.	Liczba odbić młotka L	Prędkość fali v, km/s	Wytrzymałość kostkowa na ściskanie, $f_{c, cube}$ MPa			
			ITB nr 209 ¹⁾	ITB nr 210 ²⁾	Wzór ³⁾	MTS ⁴⁾
1	53,7	3,150	44,8	39,6	35,8	29,2
2	52,0	2,713	33,0	36,8	30,4	27,5
3	47,3	2,450	26,9	29,3	24,3	30,2
4	51,0	2,663	31,8	35,1	29,0	27,4
5	59,7	3,263	48,2	50,9	45,1	57,6
6	58,0	3,225	47,0	47,6	42,2	52,4
7	58,7	3,238	47,4	48,9	43,3	55,3
8	59,0	3,250	47,8	49,6	44,0	59,1
9	40,7	2,113	20,2	20,2	17,9	20,1
10	40,0	2,338	24,5	19,4	18,6	22,3

¹⁾ obliczenia dla współczynników: $a = 5,63$; $b = -5,96$; $c = 7,71$ według Instrukcji ITB nr 209 z 1977 r.,

²⁾ obliczenia dla współczynników: $a = 0,02$; $b = -0,39$; $c = 2,95$ według Instrukcji ITB nr 210 z 1977 r.,

³⁾ obliczenia według wzoru (5),

⁴⁾ wyniki badań w maszynie wytrzymałościowej typu MTS-810 NEW.



Rys. 7. Porównanie wartości uzyskanych wytrzymałości na ściskanie $f_{c,cube}$ dla cegły: 1–10 numery próbek

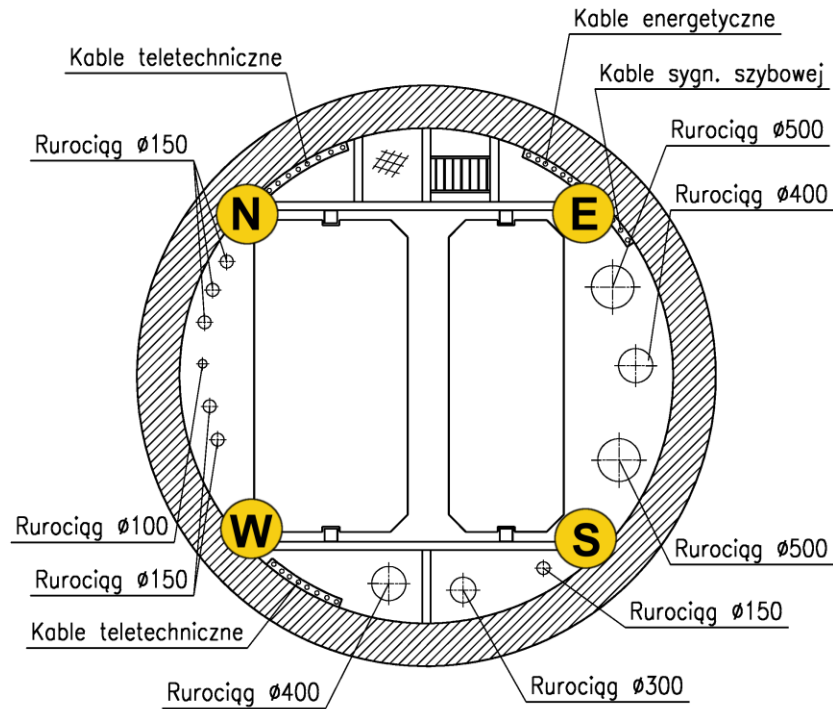
Fig. 7. Comparison of values of obtained tensile strengths $f_{c,cube}$ for a brick: 1–10 sample's number

2. METODYKA WYZNACZANIA IN SITU WYTRZYMAŁOŚCI OBUDOWY SZYBOWEJ

Zgodnie z normą (PN-G-04211:1966) badania stanu technicznego obudowy szybowej należy przeprowadzać w odstępach czasu uzależnionych od zasięgu zmian podstawowych parametrów decydujących o zmianie stanu wyężenia obudowy, nie rzadziej jednak niż raz na 5 lat. Są one wykonywane metodą niszczącą (wiercenia rdzeniowe), półniszczącą (metoda „pull-off”), metodami nieniszczącymi (metoda sklerometryczna, ultradźwiękowa i georadarowa) oraz na podstawie obserwacji wizualnych. Badania z użyciem georadaru szerzej zostały opisane w pracach (Prusek, Stałęga, Bock 2006; Bock i in. 2006).

2.1. Ustalanie bazy pomiarowej

Na podstawie doświadczeń z licznych badań stanu technicznego obudowy szybowej proponuje się ustalanie bazy pomiarowej w szybie złożonej z punktów pomiarowych utworzonych w miejscach przecięcia się pionów pomiarowych z poziomami pomiarowymi. Cztery piony pomiarowe, przedstawione na rysunku 8, zlokalizowano według stron świata, tj. północny N, wschodni E, południowy S oraz zachodni W.



Rys. 8. Przykładowa tarcza szybu z naniesionymi pionami pomiarowymi

Fig. 8. Example shaft cross-section with a plot of measuring plumb-lines

Poziomy pomiarowe ustala się w odstępach n -metrowych naprzemiennie, tj. na wysokości co m -tego dźwigara w poszczególnych przedziałach z przesunięciem o $n/2$ metrów. Dodatkowe punkty pomiarowe ustala się w miejscach wzmożonego obciążenia obliczeniowego obudowy w szybie. Wartości obciążeń charakterystycznych i obliczeniowych obudowy szybu wyznacza się programem autorskim, bazującym na arkuszu kalkulacyjnym Excel, opracowanym w Zakładzie Technologii Eksploatacji i Obudów Górniczych. Parametry geotechniczne skał w profilu szybu do obliczania wartości obciążeń przyjmuje się według uśrednionych parametrów geotechnicznych i uzupełnia w razie potrzeby na podstawie danych literaturowych. Profil litologiczny warstw skalnych szybu na całej głębokości dzieli się na pakiety grupujące skały o zbliżonych parametrach wytrzymałościowych, a różniących się między sobą w sposób istotny.

W przykładowym szybie, mających dwa przedziały (południowy i północny) o dźwigarach rozmieszczonych w odstępach 4-metrowych, ustalono poziomy pomiarowe co 16 metrów (na dźwigarach nr 2, 6, 10 itd.) w przedziale północnym i co 16 metrów z przesunięciem o 8 m w przedziale południowym (na dźwigarach nr 4, 8, 12 itd.).

2.2. Wykonanie badań

W wyznaczonych wcześniej punktach pomiarowym wykonano badania nieniszczące (metodą sklerometryczną i ultradźwiękową) oraz niszczące (próby rdzeniowe). Dodatkowo sprawdzono przyczepność powłok metodą „pull-off” na odcinkach szybu, w których były dokonywane naprawy, na przykład z użyciem betonu natryskowego. W czasie badań sporządzono dokumentację fotograficzną miejsc charakterystycznych, wycieków spoza obudowy, nacieków solnych, rys, spękań i złuszczeń, świadczących o stanie technicznym obudowy szybu.

2.3. Wyniki badań i ich analiza

Przykładowe wyniki badań sklerometrycznych i ultradźwiękowych przedstawiono w tablicach 4 i 5.

Tablica 4. Wyniki pomiarów sklerometrycznych młotkiem Schmidta typu N

Lp.	Nr dźwigara	Głębokość m	Piony pomiarowe				$L_{\text{śr}}$
			przedział północny		przedział południowy		
			N	W	E	S	
			średnia liczba odbić L				
1	90	383,2	30,3	29,8	–	–	30,1
2	92	391,2	–	–	28,8	28,2	28,5
3	94	399,2	25,5	25,3	–	–	25,4
4	96	407,2	–	–	25,0	26,0	25,5
5	98	415,2	27,5	27,2	–	–	27,4
6	100	423,2	–	–	26,7	26,9	26,8
7	102	431,2	26,5	27,1	–	–	26,8
8	104	439,3	–	–	28,3	26,5	27,4
9	106	447,3	24,7	24,7	–	–	24,7
10	108	455,3	–	–	28,5	23,4	26,0

Tablica 5. Wyniki pomiarów ultradźwiękowych aparatem typu TICO

Lp.	Nr dźwigara	Głębokość m	Piony pomiarowe				Prędkość fali $v_{\text{śr}}$, m/s
			przedział północny		przedział południowy		
			N	W	E	S	
			średnia prędkość fali v , m/s				
1	90	383,2	3405	3270	–	–	3338
2	92	391,2	–	–	3010	3265	3138
3	94	399,2	3375	3450	–	–	3413
4	96	407,2	–	–	3605	3640	3623
5	98	415,2	3935	3535	–	–	3735
6	100	423,2	–	–	2730	2890	2810
7	102	431,2	2005	2140	–	–	2073
8	104	439,3	–	–	2405	2350	2378
9	106	447,3	2640	2580	–	–	2610
10	108	455,3	–	–	2460	2660	2560

Obliczone na podstawie wzoru (4) wytrzymałości na ściskanie betonu zestawiono w tablicy 6.

Tablica 6. Zestawienie wartości $f_{c,cube}$ obudowy betonowej szybu

Lp.	Nr dźwigara	Głębokość m	Średnia liczba odbić L_{sr}	Prędkość fali v_{sr} m/s	Wytrzymałość kostkowa na ściskanie $f_{c,cube}$, MPa
1	90	383,2	30,1	3338	26,6
2	92	391,2	28,5	3138	25,2
3	94	399,2	25,4	3413	24,0
4	96	407,2	25,5	3623	24,5
5	98	415,2	27,4	3735	25,8
6	100	423,2	26,8	2810	23,5
7	102	431,2	26,8	2073	22,3
8	104	439,3	27,4	2378	23,1
9	106	447,3	24,7	2610	22,1
10	108	455,3	26,0	2560	22,7

Ocenę stanu technicznego obudowy szybu oraz występujących uszkodzeń dokonano na podstawie:

- oceny makroskopowej,
- badań nieniszczących sklerometrycznych oraz ultradźwiękowych,
- badań laboratoryjnych wytrzymałościowych próbek muru obudowy,
- badań półniszczących,
- obliczeń wytrzymałościowych obudowy szybowej zgodnie z normą (PN-G-04211:1966).

W końcowej ocenie uwzględniono następujące kryteria:

- kryterium jednorodności obmurza – określanego z wykorzystaniem wyników badań jakości obudowy i wyznaczeniem na tej podstawie jej klasy i współczynnika zmienności v_R wytrzymałości $f_{c,cube}$,
- kryterium stopnia korozji obmurza – określanego grubością skorodowanej warstwy powierzchniowej,
- kryterium szczelności obudowy – określanego dopuszczalnym dopływem wody na dno szybu,
- kryterium nośności obudowy – określanego współczynnikami pewności przeniesienia naprężeń charakteryzującym stopień zagrożenia obudowy; kryterium to jest zdefiniowane w granicznym stanie nośności konstrukcji przy założeniu, że naprężenia zredukowane σ_{red} są równe naprężeniom dopuszczalnym σ_{oc} .

PODSUMOWANIE

W artykule dokonano przeglądu sposobów pomiaru wytrzymałości obudowy szybowej stosowanych przez pracowników Zakładu BG oraz w skrócie przedstawiono metodykę prowadzenia pomiarów wytrzymałości obudowy szybu. Zastosowanie metody sprzężonej pozwoliło na dokładniejsze określenie wytrzymałości na ściskanie betonu oraz cegły z użyciem metod nieniszczących. Przeprowadzone w 2005 roku badania obudowy szybowej pozytywnie zweryfikowały opracowaną metodykę. Badania takie wykonano między innymi w kopalniach: „Bobrek-Centrum”, „Piekary”, „Halemba”, „Pokój”, „Rydułtowy-Anna”, „Krupiński”, „Zofiówka”.

Literatura

1. Bock S. i inni (2005): *Metodyka wyznaczania in situ wytrzymałości obudowy szybowej*, Praca statutowa nr 11041605-153. Katowice, GIG (niepublikowana).
2. Bock S. i inni (2006): *Opracowanie metodyki badań obudowy szybu z zastosowaniem georadaru*, Praca statutowa nr 10000356-153. Katowice, GIG (niepublikowana).
3. Czaja P. (2005): *Beton w budownictwie górnictwym – nowe wymagania, nowe możliwości. Beton i spoiwa mineralno-cementowe w górnictwie podziemnym*. ROP 2005. Seminarium 25.10.2005.
4. Czarnecki L. (2004): *Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz*. Kraków, Polski Cement Sp z o. o.
5. Instrukcja ITB nr 209: Instrukcja stosowania metody ultradźwiękowej do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji (1977). Warszawa, ITB.
6. Instrukcja ITB nr 210: Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji (1977). Warszawa, ITB.
7. Lewińska-Romicka A. (2001): *Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii*. Warszawa, WNT.
8. Nagrodzka-Godycka K. (1999): *Badanie właściwości betonu i żelbetu w warunkach laboratoryjnych*. Warszawa, Wydaw. Arkady.
9. PN-74/B-06261: Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Ultradźwiękowe badania wytrzymałości betonu na ściskanie.
10. PN-74/B-06262: Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda sklerometryczna.
11. PN-EN 206-1:2003: Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
12. PN-G-04211:1996: Szyby górnicze. Obudowa betonowa. Kryteria oceny i metody badań.
13. Prusek S., Stałęga S., Bock S. (2006): *Zastosowanie aparatury georadarowej do oceny stanu technicznego obudowy podszybi*. Prace Naukowe GIG, Seria Konferencje nr 53.
14. Stawiski B. (1991): *Nieniszczące badania zapraw budowlanych w konstrukcjach*. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria Konferencje.
15. Stawiski B. (2004): *Ultradźwiękowe badania wytrzymałości cegieł i zapraw w murach*. W: 33. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących. Politechnika Wrocławska, Zakład Budownictwa Ogólnego, s. 237–241.

Recenzent: dr inż. Marek Rotkegel

Krzysztof Jędrzejko^{*)}, Paweł Olszewski

ANALIZA ZRÓŻNICOWANIA GATUNKOWEGO I SPECYFIKI EKOLOGICZNEJ FLORY NACZYNIOWEJ NA TERENACH POEKSPLOATACYJNYCH WYBRANYCH LIKWIDOWANYCH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO W ZAGŁĘBIU DĄBROWSKIM (GOP)

Streszczenie

Artykuł ma charakter florystyczno-ekologiczny i zawiera alfabetyczny wykaz 559 gatunków flory naczyniowej porastającej tereny poeksploatacyjne czterech likwidowanych kopalń węgla kamiennego, tj.: „Czeladź-Saturn” w Czeladzi oraz „Niwka-Modrzejów”, „Klimontów” i „Sosnowiec” w Sosnowcu.

Analizami składu gatunkowego roślin objęto tereny wymienionych zakładów górniczych na etapie obecnego stanu ich okształcenia poeksploatacyjnego.

W latach 2001–2005 autorzy niniejszego artykułu podjęli eksplorację botaniczną ze szczególnym uwzględnieniem terenów likwidowanych kopalń w Zagłębiu Dąbrowskim (GOP). Na każdym z czterech omawianych terenów przeprowadzili liczne analizy florystyczne. W badaniach uwzględniono częstotliwość występowania poszczególnych gatunków roślin. Wykazano ich specyficzne cechy autekologiczne w zakresie zapotrzebowania na – światło, wilgotność i trofizm podłoża (Zarzycki 2002). Niezależnie określono przynależność poszczególnych gatunków do grup biocenologicznych (Szafer, Zarzycki 1977), a także charakter formy życiowej roślin podano według C. Raunkiaera (1905) za: L. Rutkowskim (1998).

Dokonano również obserwacji zaawansowania procesu sukcesji wtórnej, prowadzącego do trwałej kolonizacji silnie antropogenicznie okształconych siedlisk przemysłowych. Analiza i porównanie wyróżnionych specyficznych grup gatunków we florze naczyniowej występujących na badanych obszarach pozwoliły wykazać, że:

- udział procentowy gatunków należących do określonego typu formy życiowej jest znacznie zróżnicowany, a najliczniejsze grupy tworzą hemikryptofity i terofity,
- w zakresie zróżnicowania ilościowego grup synekologicznych dominują wyraźnie gatunki ruderalne i segetalne,
- pod względem przynależności poszczególnych gatunków roślin do danej grupy geograficzno-histerycznej najliczniejszym udziałem wyróżniają się synantropijne gatunki rodzime (apofity); udział roślin uprawianych i efemerofitów oraz gatunków o niepewnym statusie we florze polskiej jest niewielki,
- ze względu na zróżnicowanie wartości głównych wskaźników autekologicznych, dotyczących światła, trofizmu podłoża i wilgotności, odniesionych do poszczególnych gatunków stwierdzono, że najliczniejszą grupę tworzą gatunki o wysokich wymaganiach świetlnych, bardzo liczny udział w badanej florze mają gatunki mezotroficzne (podłoża średnio żyzne), niewielka jest grupa gatunków eutroficznych (bogato żyzne) i oligotroficznych (skąpo żyzne – wskaźnik 1–2); wyraźnie najliczniejszą grupę tworzą gatunki mezofilne i higrofilne.

Analiza flory gatunków spontanicznie „wkraczających” na górnicze tereny poeksploatacyjne dostarcza wielu danych o charakterze aplikacyjnym, między innymi dotyczących doboru gatunków, które mogą być wykorzystane w rekultywacji biologicznej. Dotyczy to zarówno elementów rodzimych, jak i obcego pochodzenia.

^{*)} Katedra i Zakład Botaniki Farmaceutycznej i Zielarstwa, Śląska Akademia Medyczna w Katowicach.

The analysis of species diversity and ecological specificity of vascular flora on the post-mine sites of the selected liquidated coal-mines in Dąbrowa Basin (GOP)

Abstract

The present paper has floristical-ecological character. It contains the alphabetical index of 559 species of vascular flora overgrowing the post-mine sites of the four liquidated coal-mines, i.e. 'KWK Czeladź-Saturn' coal-mine in Czeladź and 'KWK Niwka-Modrzejów', 'KWK Klimontów' and 'KWK Sosnowiec' coal-mines in Sosnowiec.

The analyses of species composition of plants concerned the above mentioned sites in their current state of post-mine deformation.

From 2001 to 2005 the authors of the present paper conducted botanical exploration taking into account the sites of the liquidated coal-mines in Dąbrowa Basin (GOP). Numerous floral analyses were carried out on each of the four discussed sites.

The studies included the occurrence rate of particular species of plants. Also, their specific autoecological properties with reference to their requirements for light, moisture and trophy of soil were indicated (Zarzycki 2002). Independently, the belonging of particular species to biocenological groups was determined (Szafer, Zarzycki 1977) as well as the character of plant life forms was described by C. Raunkiaer (1905) after L. Rutkowski (1998).

The development of the process of secondary succession leading to persistent colonization of intensively anthropogenically deformed post-mine habitats was also observed.

The analysis and comparison of the selected specific species groups in vascular flora occurring in the investigated areas allowed the authors to indicate that:

- the percentage of species belonging to a particular type of life form is significantly differentiated and hemicryptophytes and terophytes form the largest groups,
- with reference to quantity diversity of synecological groups, ruderal and segetal species are visibly dominant,
- with respect to the belonging of particular plant species to a given geographical-historical group, native synanthropic species (apophytes) predominate. The percentage of cultivated plants and ephemeroxytes as well as species of uncertain status in the Polish flora is small,
- taking into consideration diversity of the main autoecological indicator values of light, trophy of soil and moisture related to particular species, it appeared that plants with full light requirements form the largest group. Mezotrophic species (moderately rich soils) are also very numerous in the studied flora. Eutrophic species (rich soils) and oligotrophic ones (poor or extremely poor soils- ranging from 1 to 2) are not abundant. Mesophilous and hygrophilous species form a clearly dominant group.

The analysis of floral species spontaneously entering the post-mine sites provide a range of applicable data concerning, e.g. the selection of species which can serve for biological reclamation. It regards plants of both native and foreign origin.

WPROWADZENIE

Zagłębie Dąbrowskie jest rejonem, na którym doszło do likwidacji wielu zakładów górniczych w ciągu ostatnich kilkunastu lat. Tereny po zakładach górniczych charakteryzują się znacznie odkształconą, antropogeniczną powierzchnią. Wymagają przeprowadzenia zabiegów rekultywacji technicznej i biologicznej.

Pozostałościami po likwidowanych kopalniach są: deformacje powierzchni i niecki obniżeniowe, składowiska odpadów, osadniki wód dołowych, stawy osadowe zakładów przerobczych, bocznice kolejowe oraz miejsca po likwidowanych obiektach kubaturowych.

Na tereny poeksploatacyjne kopalń węgla kamiennego „wkracza” roślinność, która kształtuje się w wyniku procesu sukcesji wtórnej. W skład takiej roślinności wchodzi zespół (asocjacje sensu Braun-Blanquet, 1964) i zbiorowiska (fitocenozy), które charakteryzują często swoiste gatunki pionierskie, i które są silnie uwarunkowane od danego typu podłoża.

Podstawę projektów rekultywacji biologicznej terenów pogórnich stanowią nierzadko wyłącznie przesłanki teoretyczne. Techniczny dobór gatunków roślin naczyniowych do rekultywacji, z uwzględnieniem ich walorów estetycznych i dostępności na rynku, a także ceny nasion i sadzonek często przynoszą duże straty. Bywa też, że prowadzona niewłaściwa pielęgnacja pokrywy roślinnej jest spowodowana brakiem funduszy w okresie prowadzenia rekultywacji technicznej (Olszewski 2003).

Dobór gatunków powinien uwzględniać w jak największym stopniu specyfikę synekologiczną (fitosocjologiczną) roślinności ukształtowanej na danym obszarze. Roślinność ukształtowana w procesie sukcesji wtórnej pełni różne funkcje. Należą do nich: funkcje glebotwórcze, przeciwoerozyjne, wodochronne, dekoracyjne i bioindykacyjne. Często zbiorowiska i zespoły roślinne stanowią swoiste ostoje siedliskowe dla cennych gatunków fauny i flory. Mogą również funkcjonować jako „korytarze ekologiczne”.

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANYCH TERENÓW

Teren badań florystycznych stanowiły obszary po likwidowanych kopalniach węgla kamiennego: „Sosnowiec”, „Niwka-Modrzejów”, „Klimontów” w Sosnowcu oraz „Czeladź-Saturn” w Czeladzi. Na obszarach tych występują: deformacje powierzchni i niecki obniżeniowe, składowiska skały płonnej, osadniki betonowe, stawy osadowe, tereny po wyburzeniach obiektów kubaturowych, torowiska kolejowe oraz place składowe.

Tereny likwidowanej kopalni „Sosnowiec”

Rejon likwidowanej kopalni „Sosnowiec” (ul. Kombajnistów, Sosnowiec), zgodnie z informacjami zawartymi w planie zagospodarowania przestrzennego, jest terenem przemysłowo-składowym. Powierzchnia tego składowiska wynosi około 3 ha. Znajduje się na nim przede wszystkim skała płonna oraz muły węglowe. Odpady popłuczkowe zdeponowane są w osadnikach usytuowanych na wierzchołkach zwałowiska. Skała płonna pochodzi z robót przygotowawczych oraz z procesu mechanicznego wzbogacania węgla. Odpady były zwałowane jeszcze w okresie międzywojennym, w sposób niedokumentowany. Ostatecznie składowanie odpadów zakończono przed kilkudziesięciu laty. Część zdeponowanego materiału uległa przepaleniu.

W północnej części obszaru występują betonowe osadniki wypełnione częściowo wodą opadową. Środkową część stanowi teren po rozległej bocznicy kolejowej – tory kolejowe zostały usunięte. Na zachód od byłej bocznicy rozciągają się tereny z obiektami kubaturowymi, stanowiącymi niegdyś zakład przeróbczy i budynki administracyjne. Znacząca część z nich została wyburzona.

Tereny likwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów”

Znaczną część terenu badań stanowiły częściowo załadowane i wypełnione wodą opadową osadniki wód dołowych, będące niegdyś w obiegu zakładu przeróbczego kopalni. Czerwono-pomarańczowa barwa zgromadzonych w nich osadów świadczy o znacznej zawartości żelaza w wodach dołowych.

W sąsiedztwie osadników znajdują się pozostałości pompowni wraz z niewielkimi budynkami kubaturowymi oraz rowami odwadniającymi. Od strony północnej do osadników przylega rozległe składowisko skały płonnej – w większości nieprzepalanej, częściowo wymieszanej z osadami poflotacyjnymi. Odpady są uformowane w liczne nadpoziomowe, porozrzucane niewielkie przyzmy (od 1 do 7 m wysokości bezwzględnej).

Obszar zajmuje powierzchnię około 7 ha.

Tereny likwidowanej kopalni „Czeladź-Saturn”

Na terenie badań występuje niemal wszędzie rozległe zwałowisko skały płonnej. Kształt terenu jest zbliżony do trapezu, który jest wydłużony w kierunku wschód – zachód. Zajmuje powierzchnię 12 ha i jest podzielony na dwie nierówne części przez granicę miast Czeladź i Sosnowiec. Na obszarze Czeladzi znajduje się około 56% zwałowiska (tj. 6,8 ha), a na terenie Sosnowca 44% (tj. 5,2 ha).

W granicach zwałowiska, o zróżnicowanej rzeźbie, znajdują się: teren płaski do lekko pagórkowatego z licznymi nieuformowanymi przyzmy odpadów pogórnich z fragmentami ukształtowanej skarpy północnej (rzędne od 271 do 277 m n.p.m.), wyrobisko po wyeksploatowanym materiale – przepalanej skale płonnej, zajmującej centralną część obiektu oraz obszary o bardzo zróżnicowanej jeszcze nieuformowanej rzeźbie, które występują głównie w południowej części zwałowiska.

Tereny likwidowanej kopalni „Klimontów”

Teren badań stanowiły obszary po likwidowanych obiektach kubaturowych, znajdujących się w południowej części, pozostałości po torowiskach w centralnej części oraz uformowane nadpoziomowe składowisko skały płonnej i odpadów pogórnich w północnej części. Cały obszar zajmuje powierzchnię około 25 ha. W części południowej znajdują się rozległe przyzmy gruzu budowlanego i różnego rodzaju odpadów (taśmy przenośnikowe, drewno, złom metalowy), wysokości około 3 m. Zlikwidowane torowisko znajduje się w wąwozie, od wschodu graniczącym z ogródkami działkowymi. Nadpoziomowe składowisko zostało poddane kompleksowej rekultywacji technicznej i biologicznej. Skarpy hałdy mają nachylenie 1:2,5 z uformowanymi półkami i rowami odwadniającymi. Na wierzcholinie znajduje się zbiornik z wodą deszczową.

2. STAN BADAŃ

Badania składu gatunkowego flory naczyniowej obejmujące wyżej opisane tereny poeksploatacyjne zostały zapoczątkowane w drugiej połowie XIX w. (Fiek 1881; Uechtritz 1879–1886; Wąsowicz 1874). W latach 80. XX w. badania florystyczne na tym terenie prowadził A. Sendek. Wyniki badań zawarł w opracowaniu monograficznym pt.: *Rośliny naczyniowe Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego* (Sendek 1984). W latach 1989–1996 badania prowadziła G. Woźniak (2001), a w latach 1993–1994 liczną grupę gatunków odnotował K. Jędrzejko (maszynopis), które zamieszczono w opracowaniu M. Zając (1994). W 1995 roku badania florystyczne na terenie miasta

Czeladzi, obejmujące obszar, między innymi kopalni „Czeladź”, prowadzili B. Tokarska-Guzik i A. Rostański (1998). W latach 2001–2004 K. Jędrzejko i P. Olszewski ponowili eksplorację florystyczno-ekologiczną na terenach likwidowanych kopalń węgla kamiennego. Wyniki tych badań zamieszczono w niniejszym artykule.

3. CEL I METODY BADAŃ

Podstawowym celem prowadzonych badań było opracowanie szczegółowej listy gatunków roślin naczyniowych *Tracheophyta*, porastających tereny poeksploatacyjne czterech likwidowanych kopalń węgla kamiennego w Zagłębiu Dąbrowskim. W badaniach uwzględniono częstość występowania poszczególnych gatunków, przynależność do grupy biocenologicznej oraz reprezentowany typ formy życiowej według C. Raunkiaera (1905) za L. Rutkowskim (1998). Szczególną uwagę zwrócono na zróżnicowanie gatunkowe badanej, ruderalnej flory synantropijnej i specyfikę autekologiczną poszczególnych gatunków (Zarzycki 2002). Ponadto, określono ich przywiązanie siedliskowe, dzięki wskazaniu przynależności do określonych grup siedliskowych (biocenologicznych) (Szafer, Zarzycki 1977). Sporządzono listę gatunków spontanicznie migrujących z otaczającego środowiska przyrodniczego.

Stwierdzono, że w efekcie procesu wtórnej sukcesji dochodzi do kolonizacji silnie odkształconych siedlisk antropogenicznych. Dotyczy to głównie takich miejsc, na których była składowana skała płonna (hałdy), a także wokół różnych obiektów towarzyszących przeróbce węgla kamiennego, tj. osadników, torowisk, pompowni itp.

Analizę składu gatunkowego roślin na badanych obszarach prowadzono metodą florystyczną (Jędrzejko, Klama, Żarnowiec 1997).

Sporządzono około 1250 arkuszy roślin naczyniowych, które złożono w Zielniku Naukowym Katedry i Zakładu Botaniki Farmaceutycznej i Zielaństwa Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach (Sosnowiec, ul. Ostrogórska 30). Zbiory w całości przekazano do Zielnika Naukowego Instytutu Botaniki im. W. Szafera PAN w Krakowie, ul. Lubicz 46.

4. CHARAKTERYSTYKA FLORY NACZYNIOWEJ

Uwzględniając wcześniejsze doniesienia florystyczne (Fiek 1881; Sendek 1984; Tokarska-Guzik, Rostański 1998; Uechtritz 1879–1886; Wąsowicz 1874; Woźniak 2001) oraz badania przeprowadzone w latach 2001–2004, łączna lista roślin naczyniowych stwierdzonych na terenach poeksploatacyjnych czterech zlikwidowanych kopalń obejmuje 559 gatunków (tabl. 1).

Poszczególne gatunki zostały przyporządkowane do następujących elementów:

- **grupa geograficzno-historyczna** (Mirek i in. 2002): # – apofity (gatunki rodzime), * – antropofity (zadomowione we florze polskiej), ** – taksony uprawowe, *** – efemerofity, [*] – taksony o niepewnym statusie we florze polskiej;
- **klasyfikacja socjologiczno-geologiczna gatunków** (Ellenberg i in. 1992): LK – łąkowe, L – lasów liściastych, B – borowe, O – okrajkowe, MP – muraw piaszczy-

skowych, P – muraw kwaśnych, RD – ruderalne, SG – segetalne (chwasty upraw rolniczych i ogrodowych), TR – torfowiskowe, WN – nadwodne i bagienne, NS – naskalne, W – wodne, S – solniskowe, MTS – muraw nawapiennych;

- **forma życiowa** według C. Raunkiaera (Raunkiaer 1905): M – megafanerofit (drzewo), N – nanofanerofit (krzew), C – chamefit zielny (krzewinka zielona), G – geofit (trwała roślina kłączowa lub cebulowa), H – hemikryptofit (roślina trwała, wieloletnia), Hy – hydrofit (wieloletnie i roczne rośliny wodne i bagienne), T – terofit (rośliny jednoroczne, zimujące w postaci nasion);
- **wartości wskaźnika świetlnego, wilgotności i trofizmu** według Zarzyckiego (2002).

Tablica 1. Alfabetyczny wykaz gatunków roślin naczyniowych

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
1	<i>Acer campestre</i> L.	S. 1984 – Ni	–	–	–	·	rr
2	<i>Acer negundo</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	+	+	+	fr / i
3	<i>Acer platanoides</i> L.	–	+	+	–	+	+r
4	<i>Acer platanoides</i> L. "Purpureum"	–	+	+	+	–	+r
5	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	–	+	+	+	+	fr
6	<i>Acer pseudoplatanus</i> L. "Purpureum"	–	+	+	–	+	+r
7	<i>Achillea collina</i> BECKER ex RCHB.	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
8	<i>Achillea millefolium</i> L.	–	+	+	+	+	v
9	<i>Aegopodium podagraria</i> L.	Z. 1994 – Ni	+	+	+	+	v
10	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	+	+	+	+fr / i
11	<i>Aethusa cynapium</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	+	+	+	fr
12	<i>Agrostis canina</i> L.	–	–	+	+	+	fr
13	<i>Agrostis capillaris</i> L.	S. 1984 – Ni, W.G. 2001 – Ni	+	+	+	+	v
14	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	S. 1984 – Ni, Z. 1994 – St	+	+	+	+	v
15	<i>Ajuga reptans</i> L.	Z. 1994 – Ni	+	–	–	–	r
16	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	–	–	–	+	+	+r
17	<i>Alliaria petiolata</i> (M. BIEB.) CAVARA & GRANDE	–	+	+	–	+	fr
18	<i>Allium sibiricum</i> L.	–	+	–	–	–	r
19	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) GAERTN.	–	+	+	–	+	fr
20	<i>Alnus incana</i> (L.) MOENCH	–	–	+	–	+	r
21	<i>Alopecurus geniculatus</i> L.	W.G. 2001 – Ni	+	–	–	+	fr
22	<i>Alopecurus pratensis</i> L.	–	+	–	–	+	fr
23	<i>Alyssum alyssoides</i> (L.) L.	–	+	–	–	–	r
24	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	–	+	+	–	–	+r / i
25	<i>Anagallis arvensis</i> L.	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
26	<i>Anchusa arvensis</i> (L.) M. BIEB.	S. 1984 – St	+	–	–	–	rr
27	<i>Anemone nemorosa</i> L.	–	+	–	–	–	rr
28	<i>Anethum graveolens</i> L.	–	+	–	–	–	rr
29	<i>Angelica sylvestris</i> L.	–	+	–	–	–	r
30	<i>Anthemis arvensis</i> L.	–	+	+	–	+	v
31	<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	–	+	+	+	+	v
32	<i>Anthriscus nitida</i> (WAHLENB.) HAZSL.	–	–	–	–	+	rr
33	<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) HOFFM.	–	+	+	–	–	fr
34	<i>Anthyllis vulneraria</i> L.	–	+	–	–	+	+r
35	<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. BEAUV.	W.G. 2001 – Ni	+	+	–	+	v
36	<i>Aquilegia vulgaris</i> L.	–	–	–	–	+	rr

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
37	<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) HEYNH.	S. 1984 – Ni	+	+	+	+	v
38	<i>Arabis hirsuta</i> (L.) SCOP.	W.G. 2001 – Ni	–	–	–	+	r
39	<i>Arctium lappa</i> L.	–	+	+	–	+	v
40	<i>Arctium minus</i> (HILL) BERNH.	W.G. 2001 – Ni	–	–	+	+	fr
41	<i>Arctium nemorosum</i> LEJ.	–	+	+	+	–	fr
42	<i>Arctium tomentosum</i> MILL.	W.G. 2001 – Ni	+	+	+	+	v
43	<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.	–	+	+	–	+	v
44	<i>Armeria maritima</i> subsp. <i>elongata</i> (HOFFM.) BONNIER	W.G. 2001 – Ni	–	–	–	+	r
45	<i>Armoracia rusticana</i> P. GAERTN., B. MEY. & SCHERB.	–	+	+	+	+	v
46	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P. BEAUV. ex J. PRESL & C. PRESL	W.G. 2001 – Ni	+	+	–	+	v
47	<i>Artemisia absinthium</i> L.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
48	<i>Artemisia annua</i> L.	S. 1984 – Ni	–	+	–	+	rr / i
49	<i>Artemisia campestris</i> L.	–	+	+	–	–	+r
50	<i>Artemisia vulgaris</i> L.	Z. 1994, W.G. 2001 – Ni	+	+	+	+	v
51	<i>Asparagus officinalis</i> L.	–	–	–	+	–	rr
52	<i>Aster lanceolatus</i> WILLD.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr / i
53	<i>Aster novi-belgii</i> L.	–	+	+	–	+	fr / i
54	<i>Aster x salignus</i> WILLD.	S. 1984 – St	+	+	–	–	+r / i
55	<i>Aster tradescantii</i> L.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr / i
56	<i>Astragalus glycyphyllos</i> L.	–	–	+	–	+	+r
57	<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) ROTH	–	–	+	–	–	r
58	<i>Atriplex nitens</i> SCHKUHR	W.G. 2001 – Ni	–	–	–	+	r
59	<i>Atriplex patula</i> L.	W.G. 2001 – Ni	+	+	–	+	v
60	<i>Atriplex prostrata</i> BOUCHER ex DC.	W.G. 2001 – Ni	–	–	–	+	r
61	<i>Avenula pubescens</i> (HUDS.) DUMORT.	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
62	<i>Barbarea vulgaris</i> R. BR.	–	–	+	–	–	r
63	<i>Batrachium aquatile</i> (L.) DUMORT.	–	+	–	–	–	rr
64	<i>Bellis perennis</i> L.	–	+	+	–	–	v
65	<i>Berteroia incana</i> (L.) DC.	–	+	+	–	–	fr
66	<i>Betula pendula</i> ROTH	Z. 1994 – Ni	+	+	+	+	v
67	<i>Betula pubescens</i> EHRH.	W.G. 2001 – Ni	–	–	–	+	r
68	<i>Bidens frondosa</i> L.	–	–	+	–	+	v / i
69	<i>Bidens tripartita</i> L.	W.G. 2001 – Ni	+	+	–	+	v
70	<i>Brassica napus</i> L.	–	+	+	–	–	+r
71	<i>Bromus hordeaceus</i> L.	–	+	+	–	+	v
72	<i>Bromus inermis</i> LEYSS.	–	+	+	–	+	fr
73	<i>Bromus madritensis</i> L. - efem.	S. 1984 – So	–	+	–	–	rr
74	<i>Bromus sterilis</i> L.	–	–	+	–	–	r
75	<i>Bromus tectorum</i> L.	–	+	–	–	–	r
76	<i>Bromus willdenowii</i> KUNTH	–	+	–	–	–	rr
77	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) ROTH	–	–	+	+	+	fr
78	<i>Calamagrostis canescens</i> (WEBER) ROTH	–	–	+	–	–	+r
79	<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) ROTH	Z. 1994, W.G. 2001	+	+	+	+	v
80	<i>Calendula officinalis</i> L.	S. 1984 – Ni	–	+	–	+	+r
81	<i>Callistephus chinensis</i> (L.) NEES	–	–	+	–	–	r
82	<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. BR.	Z. 1994	+	+	+	+	v
83	<i>Calystegia sylvatica</i> (KIT.) GRISEB.	S. 1984 – St	+	–	–	–	rr
84	<i>Camelina sativa</i> (L.) CRANTZ	–	+	–	–	–	r
85	<i>Campanula patula</i> L.	–	+	+	–	–	+fr
86	<i>Campanula rapunculoides</i> L.	–	+	+	–	–	fr

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
87	<i>Campanula trachelium</i> L.	–	+	+	–	–	fr
88	<i>Cannabis sativa</i> L.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
89	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) MEDIK.	–	+	+	+	+	v
90	<i>Caragana arborescens</i> LAM.	–	+	+	+	+	fr
91	<i>Cardaminopsis arenosa</i> (L.) HAYEK	–	+	+	+	+	v
92	<i>Cardaminopsis halleri</i> (L.) HAYEK	–	+	–	–	–	r
93	<i>Cardaria draba</i> (L.) DESV.	–	–	+	+	+	v / i
94	<i>Carduus acanthoides</i> L.	–	–	+	+	–	+r
95	<i>Carex digitata</i> L.	–	+	–	–	–	rr
96	<i>Carex hirta</i> L.	S. 1984 – Ni, W.G. 2001	+	+	+	+	v
97	<i>Carex lepidocarpa</i> TAUSCH	–	+	–	–	–	r
98	<i>Carex leporina</i> L.	–	–	+	–	+	fr
99	<i>Carex nigra</i> REICHARD	W.G. 2001	–	–	–	+	r
100	<i>Carex remota</i> L.	–	+	–	–	–	r
101	<i>Carlina vulgaris</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
102	<i>Carpinus betulus</i> L.	–	+	–	–	–	r
103	<i>Carum carvi</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	r
104	<i>Centaurea calcitrapa</i> L.	S. 1984 – So	–	+	–	–	rr
105	<i>Centaurea cyanus</i> L.	S. 1984 – Ni	+	+	–	+	+fr
106	<i>Centaurea diffusa</i> LAM.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr / i
107	<i>Centaurea jacea</i> L.	–	+	+	+	+	v
108	<i>Centaurea phrygia</i> L.	–	–	+	–	–	r
109	<i>Centaurea scabiosa</i> L.	–	+	+	–	–	+r
110	<i>Centaurea stoebe</i> L.	–	+	+	+	+	v
111	<i>Centaureum erythraea</i> RAFN	S. 1984 – Ni, W.G. 2001	–	+	–	+	r
112	<i>Cerastium arvense</i> L. S. S.	W.G. 2001	+	–	+	+	v
113	<i>Cerastium eriophorum</i> KIT.	–	+	–	–	–	rr
114	<i>Cerastium holosteoides</i> FR. Em. HYL.	Z. 1994	+	+	–	+	v
115	<i>Cerasus avium</i> (L.) MOENCH	–	+	+	+	+	+fr
116	<i>Cerasus vulgaris</i> MILL.	–	+	+	+	+	+r
117	<i>Chaenorhinum minus</i> (L.) LANGE	–	–	+	+	+	v
118	<i>Chaerophyllum aromaticum</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	r
119	<i>Chaerophyllum hirsutum</i> L.	–	–	–	–	+	rr
120	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) SCOP.	W.G. 2001	+	–	+	+	v
121	<i>Chamaenerion palustre</i> SCOP.	–	+	–	–	+	+r
122	<i>Chamomilla recucita</i> (L.) RAUSCHERT	–	+	–	–	–	+r
123	<i>Chamomilla suaveolens</i> (PURSH) RYDB.	–	+	+	–	+	v / i
124	<i>Chenopodium album</i> L.	–	+	+	+	+	v
125	<i>Chelidonium majus</i> L.	–	+	+	+	+	v
126	<i>Chenopodium bonus-henricus</i> L.	–	–	–	–	+	r
127	<i>Chenopodium glaucum</i> L.	–	–	–	–	+	r
128	<i>Chenopodium polyspermum</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	fr
129	<i>Chenopodium rubrum</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
130	<i>Chenopodium urbicum</i> L.	–	–	+	–	+	+r
131	<i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W. P. C. BARTON	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
132	<i>Cichorium intybus</i> L.	–	+	+	+	–	v
133	<i>Cirsium arvense</i> (L.) SCOP.	–	+	+	+	+	v
134	<i>Cirsium oleraceum</i> (L.) SCOP.	W.G. 2001	–	+	–	+	v
135	<i>Cirsium palustre</i> (L.) SCOP.	W.G. 2001	–	–	–	+	+r
136	<i>Cirsium vulgare</i> (SAVI) TEN.	W.G. 2001	+	+	+	+	v

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
137	<i>Clematis vitalba</i> L.	–	+	–	–	–	rr / i
138	<i>Conium maculatum</i> L.	–	+	+	–	–	r
139	<i>Consolida ajacis</i> (L.) SCHUR	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
140	<i>Consolida regalis</i> GRAY	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
141	<i>Convallaria majalis</i> L.	–	+	+	+	+	fr
142	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	–	+	+	+	+	v
143	<i>Conyza canadensis</i> (L.) CRONQUIST	W.G. 2001	+	+	+	+	v / i
144	<i>Corispermum hyssopifolium</i> L.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
145	<i>Corispermum intermedium</i> SCHWEIGG.	Z. 1994	+	–	–	–	r
146	<i>Coronilla varia</i> L.	S. 1984 – So	–	+	–	–	r
147	<i>Cornus alba</i> L.	–	+	+	+	+	+fr / i
148	<i>Cornus sanguinea</i> L.	–	+	+	–	+	fr
149	<i>Cornus sericea</i> L.	–	+	+	+	+	v
150	<i>Corydalis solida</i> (L.) CLAIRV.	F. 1881	–	–	–	+	rr
151	<i>Corylus avellana</i> L.	–	+	–	+	+	fr
152	<i>Corynephorus canescens</i> (L.) P. BEAUV.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
153	<i>Cosmos bipinnatus</i> CAV.	S. 1984 – Ni, St	+	–	–	+	+r
154	<i>Crataegus monogyna</i> JACQ.	–	+	+	+	+	+fr
155	<i>Crepis biennis</i> L.	–	+	–	+	+	fr
156	<i>Cucurbita pepo</i> L.	–	+	–	–	–	rr
157	<i>Cuscuta europaea</i> L.	W.M. 1874	–	–	–	+	rr
158	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) PERS - efem.	S. 1984 – So	–	+	–	–	rr
159	<i>Dactylis glomerata</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
160	<i>Danthonia decumbens</i> DC.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
161	<i>Datura stramonium</i> L.	–	–	+	–	+	+r / i
162	<i>Daucus carota</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
163	<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) P. BEAUV.	Z. 1994	+	+	–	+	v
164	<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) TRIN.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
165	<i>Descurainia sophia</i> (L.) WEBB ex PRANTL	–	+	+	+	+	+fr
166	<i>Dianthus deltoides</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
167	<i>Digitaria ischaemum</i> (SCHREB.) H. L. MÜHL.	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
168	<i>Diplaxis muralis</i> (L.) DC.	W.G. 2001	+	+	–	+	fr / i
169	<i>Dipsacus sylvestris</i> HUDS.	–	+	–	–	–	r
170	<i>Dryopteris carthusiana</i> (VILL.) H. P. FUCHS	Z. 1994	+	–	–	–	rr
171	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) SCHOTT	–	–	+	–	–	r
172	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. BEAUV.	W.G. 2001	–	–	+	+	v
173	<i>Echinocystis lobata</i> (F. MICHX.) TORR. & A. GRAY	–	+	–	–	–	r / i
174	<i>Echium vulgare</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
175	<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	–	+	–	–	+	+r / i
176	<i>Eleocharis mamillata</i> (H. LINDB.) H. LINDB. ex DÖRFL. S.S.	–	–	–	+	–	rr
177	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) ROEM. & SCHULT.	Z. 1994, W.G. 2001	+	–	–	+	+r
178	<i>Elymus caninus</i> (L.) L.	–	+	–	–	–	r
179	<i>Elymus hispidus</i> (OPIZ) MELDERIS	S. 1984 – Ni	–	–	–	–	rr
180	<i>Elymus repens</i> (L.) GOULD	W.G. 2001 – Ni	+	+	+	+	v
181	<i>Epilobium ciliatum</i> RAF.	–	–	+	+	+	fr
182	<i>Epilobium hirsutum</i> L.	–	+	+	–	+	fr
183	<i>Epilobium montanum</i> L.	–	+	+	–	+	fr
184	<i>Epilobium palustre</i> L.	–	–	+	–	+	fr
185	<i>Epilobium roseum</i> SCHREB.	W.G. 2001	–	–	–	+	rr
186	<i>Epipactis atrorubens</i> (HOFFM.) BESSER	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	r

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
187	<i>Epipactis helleborine</i> (L.) CRANTZ	–	+	–	–	+	+r
188	<i>Equisetum arvense</i> L.	–	+	+	+	+	v
189	<i>Equisetum hyemale</i> L.	–	–	–	–	+	+r
190	<i>Equisetum palustre</i> L.	–	–	+	+	+	v
191	<i>Equisetum pratense</i> EHRH.	–	–	+	–	+	r
192	<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	–	–	–	+	–	rr
193	<i>Eragrostis minor</i> HOST	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr / i
194	<i>Erigeron acris</i> L.	W.G. 2001	–	+	–	+	+r
195	<i>Erigeron annuus</i> (L.) PERS.	–	+	–	+	–	r / i
196	<i>Eriophorum angustifolium</i> HONCK.	W.G. 2001	–	–	–	+	rr
197	<i>Eriophorum latifolium</i> HOPPE	W.G. 2001	–	–	–	+	r
198	<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	P., J. 1956	–	–	–	+	rr
199	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'HÉR.	S. 1984 – St, So	+	+	–	–	+r
200	<i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	–	+	+	+	+	v
201	<i>Euonymus europaea</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	r
202	<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
203	<i>Euphorbia cyparissias</i> L.	–	+	+	–	+	v
204	<i>Euphorbia esula</i> L.	–	+	+	+	+	v
205	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	–	+	+	+	+	v
206	<i>Euphorbia peplus</i> L.	–	+	+	–	+	v
207	<i>Euphrasia rostkoviana</i> HAYNE	W.G. 2001	–	–	–	+	r
208	<i>Fagopyrum esculentum</i> MOENCH	W.M. 1874	–	–	–	+	rr
209	<i>Fagus sylvatica</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	r
210	<i>Falcaria vulgaris</i> BERNH.	–	+	–	+	–	r
211	<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Á. LÖVE	–	+	+	+	+	v
212	<i>Festuca gigantea</i> (L.) VILL.	–	+	+	–	–	r
213	<i>Festuca ovina</i> L.	S. 1984, W.G. 2001	+	+	+	+	+fr
214	<i>Festuca pratensis</i> HUDS.	S. 1984 – Ni	+	+	+	+	v
215	<i>Festuca rubra</i> L. s. s.	S. 1984 – St	+	+	+	+	v
216	<i>Ficaria verna</i> HUDS.	–	–	–	+	–	r
217	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) MAXIM.	–	+	–	–	–	+r
218	<i>Forsythia x intermedia</i> ZABEL	–	–	+	–	+	+r
219	<i>Fragaria x ananassa</i> DUCHESNE	–	+	–	+	+	fr
220	<i>Fragaria vesca</i> L.	–	+	+	–	+	v
221	<i>Fragaria viridis</i> DUCHESNE	–	–	+	+	–	r
222	<i>Fraxinus americana</i> L.	–	+	+	–	+	fr
223	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	–	+	+	+	+	+fr
224	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> MARSHALL	–	+	–	–	+	r / i
225	<i>Fumaria officinalis</i> L.	–	–	–	–	+	r
226	<i>Fumaria vaillantii</i> LOISEL.	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
227	<i>Galeobdolon luteum</i> HUDS.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	+r
228	<i>Galeopsis pubescens</i> BESSER	S. 1984 – Ni	+	+	–	+	fr
229	<i>Galeopsis tetrahit</i> L.	–	+	+	–	+	v
230	<i>Galinsoga ciliata</i> (RAF.) S. F. BLAKE	–	+	+	+	–	fr
231	<i>Galinsoga parviflora</i> CAV.	–	+	+	+	+	v / i
232	<i>Galium aparine</i> L.	–	+	+	+	+	v
233	<i>Galium mollugo</i> L.	–	+	+	–	+	v
234	<i>Galium palustre</i> L.	Z. 1994	–	–	+	+	fr
235	<i>Gentianella amarella</i> (L.) BÖRNER	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
236	<i>Gentianella uliginosa</i> (WILLD.) BÖRNER	U. 1879	–	–	–	+	rr

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
237	<i>Geranium palustre</i> L.	S. 1984 – St	+	+	+	+	v
238	<i>Geranium pratense</i> L.	–	–	–	+	–	r
239	<i>Geranium pusillum</i> BURM. f. ex L.	–	+	+	+	+	v
240	<i>Geranium robertianum</i> L.	–	+	+	+	+	+fr
241	<i>Geranium sanguineum</i> L.	S. 1984 – So	–	+	–	–	rr
242	<i>Geum urbanum</i> L.	–	+	–	+	+	+fr
243	<i>Glechoma hederacea</i> L.	–	+	+	+	+	v
244	<i>Glyceria fluitans</i> (L.) R. BR.	–	–	–	+	+	+fr
245	<i>Glyceria maxima</i> (HARTM.) HOLMB.	–	–	–	–	–	+fr
246	<i>Glyceria notata</i> CHEVALL.	–	–	–	+	+	fr
247	<i>Gnaphalium uliginosum</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	+r
248	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	S. 1984 – St	+	+	+	+	+fr / i
249	<i>Heracleum sphondylium</i> L.	–	+	+	–	+	v
250	<i>Hemiaria glabra</i> L.	–	+	–	–	–	v
251	<i>Hieracium caespitosum</i> DUMORT.	–	+	+	+	+	+fr
252	<i>Hieracium lachenalii</i> C. C. GMEL.	–	+	+	+	+	fr
253	<i>Hieracium lactucella</i> WALLR.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
254	<i>Hieracium laevigatum</i> WILLD	–	+	+	+	+	fr
255	<i>Hieracium pilosella</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
256	<i>Hieracium sabaudum</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	fr
257	<i>Hieracium umbellatum</i> L.	–	+	+	+	+	fr
258	<i>Holcus lanatus</i> L.	W.G. 2001	+	+	–	+	v
259	<i>Holcus mollis</i> L.	–	+	+	–	+	fr
260	<i>Hordeum marinum</i> HUDS.	S. 1984 – So	–	+	–	–	rr
261	<i>Hordeum jubatum</i> L.	–	–	–	–	+	rr / i
262	<i>Hordeum murinum</i> L.	–	–	–	+	+	+r
263	<i>Humulus lupulus</i> L.	–	+	+	–	–	+r
264	<i>Hyoscyamus niger</i> L.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
265	<i>Hypericum perforatum</i> L.	–	+	+	+	+	v
266	<i>Hypochoeris radicata</i> L.	–	+	+	+	+	v
267	<i>Hippophaë rhamnoides</i> L.	–	–	–	+	+	fr
268	<i>Iberis umbellata</i> L.	S. 1984 – St	+	–	–	–	rr
269	<i>Impatiens parviflora</i> DC.	–	+	+	–	+	fr / i
270	<i>Iris germanica</i> L.	–	+	+	+	+	+r
271	<i>Juglans regia</i> L.	–	+	+	–	–	+r
272	<i>Juncus articulatus</i> L. em. K. RICHT.	W.G. 2001	–	+	+	+	fr
273	<i>Juncus bufonius</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	fr
274	<i>Juncus bulbosus</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
275	<i>Juncus compressus</i> JACQ.	S. 1984 – Ni, W.G. 2001	–	–	–	+	rr
276	<i>Juncus conglomeratus</i> L. em. LEERS	W.G. 2001	–	–	+	+	+r
277	<i>Juncus effusus</i> L.	W.G. 2001	+	+	–	+	v
278	<i>Juncus filiformis</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	rr
279	<i>Juncus inflexus</i> L.	Z. 1994	+	–	+	–	+r
280	<i>Juncus squarrosus</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	rr
281	<i>Juncus tenuis</i> WILLD.	–	+	+	+	+	v / i
282	<i>Keria japonica</i> (L.) DC.	–	+	–	–	–	rr
283	<i>Knautia arvensis</i> (L.) J. M. COULT.	–	+	+	+	+	fr
284	<i>Kochia scoparia</i> (L.) SCHRAD.	S. 1984 – St	+	–	–	–	rr
285	<i>Lactuca serriola</i> L.	–	+	+	–	+	+fr
286	<i>Lamium album</i> L.	–	+	+	+	+	v

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
287	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	–	–	–	–	+	r
288	<i>Lamium purpureum</i> L.	–	+	+	+	+	v
289	<i>Lapsana communis</i> L. s. s.	–	+	+	–	+	v
290	<i>Lathyrus pratensis</i> L.	–	+	+	+	+	v
291	<i>Lathyrus tuberosus</i> L.	S. 1984 – So	–	+	–	–	rr
292	<i>Leersia oryzoides</i> (L.) SW.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
293	<i>Leontodon autumnalis</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
294	<i>Leontodon hispidus</i> subsp. <i>hastilis</i> (L.) RCHB.	–	–	+	–	–	rr
295	<i>Leontodon hispidus</i> subsp. <i>hispidus</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
296	<i>Leonurus cardiaca</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	r
297	<i>Lepidium campestre</i> (L.) R. BR.	–	+	+	+	+	fr
298	<i>Lepidium densiflorum</i> SCHARD.	S. 1984 – St	+	–	–	–	+r / i
299	<i>Lepidium ruderales</i> L.	Z. 1994	+	+	+	+	v
300	<i>Leucanthemum vulgare</i> LAM. s. s.	–	+	+	+	+	fr
301	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	–	+	+	+	+	v
302	<i>Linaria vulgaris</i> MILL.	–	+	+	+	+	+fr
303	<i>Linum catharticum</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
304	<i>Lithospermum arvense</i> L.	–	+	–	–	–	r
305	<i>Lolium multiflorum</i> LAM.	–	+	–	–	–	+r / i
306	<i>Lolium perenne</i> L.	Z. 1994, W.G. 2001	+	+	+	+	v
307	<i>Lolium temulentum</i> L.	–	+	–	–	–	+r
308	<i>Lotus corniculatus</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
309	<i>Lotus uliginosus</i> SCHKUHR	–	+	+	+	+	v
310	<i>Lupinus polyphyllus</i> LINDL.	–	+	+	+	+	fr / i
311	<i>Luzula campestris</i> (L.) DC.	–	+	+	+	+	v
312	<i>Luzula luzuloides</i> (LAM.) DANDY & WILMOTT	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
313	<i>Luzula multiflora</i> (RETZ.) LEJ.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
314	<i>Lychnis flos-cuculi</i> L.	–	+	+	+	+	v
315	<i>Lysimachia nummularia</i> L.	–	+	+	–	–	+r
316	<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	–	+	+	+	+	v
317	<i>Lycopus europaeus</i> L.	Z. 1994	–	–	+	+	+r
318	<i>Lythrum salicaria</i> L.	Z. 1994	–	–	+	+	fr
319	<i>Malus domestica</i> BORKH.	–	+	+	+	–	+r
320	<i>Malus sylvestris</i> MILL.	–	–	–	–	+	r
321	<i>Malva neglecta</i> WALLR.	–	+	+	–	–	+r
322	<i>Matricaria maritima</i> subsp. <i>inodora</i> (L.) DOSTÁL	W.G. 2001	+	+	+	+	v
323	<i>Medicago x varia</i> MARTYN	S. 1984 – St	–	–	–	–	r / i
324	<i>Medicago falcata</i> L.	S. 1984 – Ni	+	+	–	+	+fr
325	<i>Medicago lupulina</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
326	<i>Medicago sativa</i> L.	–	+	+	+	+	v / i
327	<i>Medicago x varia</i> MARTYN	S. 1984 – St	+	–	–	–	rr
328	<i>Melandrium album</i> (MILL.) GARCKE	W.G. 2001	+	+	+	+	v
329	<i>Melica nutans</i> L.	W.M. 1874	–	–	–	+	rr
330	<i>Melilotus alba</i> MEDIK.	Z. 1994, W.G. 2001	+	+	+	+	v
331	<i>Melilotus altissima</i> THUILL.	–	–	+	–	–	fr
332	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) PALL.	–	+	+	+	+	+fr
333	<i>Mentha arvensis</i> L.	S. 1984 – St	+	+	+	+	fr
334	<i>Mentha x gentilis</i> L.	S. 1984 – St	+	–	–	–	rr
335	<i>Mentha longifolia</i> (L.) L.	–	–	+	+	+	+fr
336	<i>Moehringia trinervia</i> (L.) CLAIRV.	–	–	+	+	–	r

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
337	<i>Molinia caerulea</i> (L.) MOENCH	–	–	+	+	–	+r
338	<i>Mycelis muralis</i> (L.) DUMORT.	–	–	+	–	+	+r
339	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) HILL	–	+	+	+	+	v
340	<i>Myosotis palustris</i> (L.) L. em. RCHB.	–	–	+	+	+	fr
341	<i>Myosoton aquaticum</i> (L.) MOENCH,	–	+	–	–	–	+r
342	<i>Narcissus poeticus</i> L.	–	–	–	+	–	rr
343	<i>Nardus stricta</i> L.	S. 1984 – Ni, W.G. 2001	–	–	–	+	r
344	<i>Nepeta cataria</i> L.	S. 1984– Ni	–	–	–	+	r
345	<i>Neslia paniculata</i> (L.) DESV.	S. 1984 – St	+	–	–	–	rr
346	<i>Odontites serotina</i> (LAM.) RCHB. s. s.	W.G. 2001	–	+	+	+	fr
347	<i>Oenothera biennis</i> L. s. s.	W.G. 2001	+	+	+	+	fr
348	<i>Oenothera depressa</i> GREENE	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	r
349	<i>Oenothera rubricaulis</i> KLEB.	–	+	+	+	+	fr
350	<i>Oenothera subterminalis</i> R. R. GATES	–	+	–	–	–	r
351	<i>Ononis arvensis</i> L.	–	–	–	–	+	r
352	<i>Oxalis fontana</i> BUNGE L.	–	+	+	+	+	v
353	<i>Padus avium</i> MILL.	–	+	+	–	+	fr
354	<i>Padus serotina</i> (EHRH.) BORKH.	–	+	+	+	+	v / i
355	<i>Papaver argemone</i> L.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
356	<i>Papaver dubium</i> L.	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
357	<i>Papaver rhoeas</i> L.	–	+	+	+	+	fr
358	<i>Papaver somniferum</i> L.	–	–	+	–	–	r
359	<i>Parnassia palustris</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	rr
360	<i>Parthenocissus inserata</i> (A. KERN.) FRITSCH	–	+	+	–	+	fr / i
361	<i>Pastinaca sativa</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
362	<i>Peucedanum palustre</i> (L.) MOENCH	–	–	–	+	+	+r
363	<i>Phacelia tanacetifolia</i> BENTH.	–	–	–	–	+	rr
364	<i>Phalaris arundinacea</i> var. <i>picta</i> L.	–	+	+	+	+	v
365	<i>Phalaris paradoxa</i> L. - efem.	S. 1984 – So	–	+	–	–	rr
366	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	–	–	+	–	–	r
367	<i>Philadelphus pubescens</i> LOISEL.	–	+	–	+	+	fr
368	<i>Phleum pratense</i> L.	–	+	+	–	+	v
369	<i>Phragmites australis</i> (CAV.) TRIN. ex STEUD.	W.G. 2001	+	+	+	+	+fr
370	<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) MAXIM.	–	–	–	–	+	r
371	<i>Picea abies</i> (L.) H. KARST.	–	+	+	–	–	r
372	<i>Picris hieracioides</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	fr
373	<i>Pimpinella major</i> (L.) HUDS.	–	+	+	–	+	fr
374	<i>Pimpinella saxifraga</i> L.	–	+	–	–	–	fr
375	<i>Pinus sylvestris</i> L.	W.G. 2001	+	+	–	+	fr
376	<i>Plantago arenaria</i> WALDST. & KIT.	S. 1984 – St	+	–	–	–	rr
377	<i>Plantago coronopus</i> L.	W.M. 1874	–	–	–	+	rr
378	<i>Plantago lanceolata</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
379	<i>Plantago major</i> L.	Z. 1994, W.G. 2001	+	+	+	+	v
380	<i>Plantago media</i> L.	W.G. 2001	–	–	+	+	+r
381	<i>Poa annua</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
382	<i>Poa compressa</i> subsp. <i>compressa</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
383	<i>Poa nemoralis</i> L.	–	–	+	+	+	fr
384	<i>Poa palustris</i> L.	–	+	+	–	–	r
385	<i>Poa pratensis</i> L.	Z. 1994, W.G. 2001	+	+	+	+	v
386	<i>Poa trivialis</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
387	<i>Polemonium coeruleum</i> L.	W.M. 1874	–	–	–	+	rr
388	<i>Polygala vulgaris</i> L.	–	–	–	–	+	rr
389	<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) ALL.	–	–	–	–	+	rr
390	<i>Polygonum amphibium</i> L.	–	+	+	+	+	fr
391	<i>Polygonum arenastrum</i> WALDST. & KIT	–	+	+	–	+	v
392	<i>Polygonum aviculare</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
393	<i>Polygonum bistorta</i> L.	–	–	–	–	+	v
394	<i>Polygonum hydropiper</i> L.	W.G. 2001	–	–	+	+	v
395	<i>Polygonum lapathifolium</i> subsp. <i>lapathifolium</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
396	<i>Polygonum persicaria</i> L.	Z. 1994	+	+	+	+	v
397	<i>Populus alba</i> L.	–	–	+	–	+	+r
398	<i>Populus x berolinensis</i> DIPPEL	–	+	+	–	+	fr
399	<i>Populus x canadensis</i> MOENCH	–	–	+	+	–	+r
400	<i>Populus nigra</i> L.	–	+	+	+	+	fr
401	<i>Populus nigra</i> L. "Italica"	–	–	+	+	+	fr
402	<i>Populus tremula</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
403	<i>Potamogeton natans</i> L.	–	–	–	+	–	fr
404	<i>Potentilla anserina</i> L.	–	+	+	+	+	+fr
405	<i>Potentilla arenaria</i> BORKH.	–	–	–	+	–	r
406	<i>Potentilla argentea</i> L. s. s.	–	–	–	–	+	r
407	<i>Potentilla erecta</i> (L.) RAEUSCH.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	r
408	<i>Potentilla intermedia</i> L. non WAHLENB.	–	+	+	–	+	fr / i
409	<i>Potentilla norvegica</i> L.	W.G. 2001	–	+	–	+	+r
410	<i>Potentilla recta</i> L.	–	+	+	+	+	fr
411	<i>Potentilla reptans</i> L.	–	+	+	+	+	v
412	<i>Potentilla supina</i> L.	S. 1984 – St	+	–	–	–	rr
413	<i>Prunella vulgaris</i> L.	–	+	+	+	+	v
414	<i>Prunus domestica</i> L.	–	–	+	+	+	fr
415	<i>Prunus insititia</i> L.	–	–	+	–	–	r
416	<i>Prunus spinosa</i> L.	–	+	+	+	+	fr
417	<i>Puccinellia distans</i> (JACQ.) PARL.	S. 1984 – St	+	+	+	–	fr
418	<i>Pyrola minor</i> L.	–	–	–	+	+	rr
419	<i>Pyrus communis</i> L.	–	–	+	+	+	fr
420	<i>Quercus robur</i> L.	–	+	+	+	+	fr
421	<i>Quercus rubra</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	fr / i
422	<i>Ranunculus acris</i> L. s. s.	Z. 1994	+	+	+	+	v
423	<i>Ranunculus repens</i> L.	Z. 1994	+	+	+	+	v
424	<i>Ranunculus serpens</i> SCHRANK	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
425	<i>Reseda lutea</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
426	<i>Reynoutria japonica</i> HOUTT.	–	+	+	+	+	fr / i
427	<i>Rhamnus cathartica</i> L.	–	–	–	+	–	r
428	<i>Rhinanthus alectrolophus</i> (SCOP.) POLLICH	–	+	–	–	–	+r
429	<i>Rhinanthus minor</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
430	<i>Ribes aureum</i> PURSH	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
431	<i>Ribes uva-crispa</i> L.	–	+	–	–	+	r
432	<i>Ribes rubrum</i> L.	–	+	–	–	+	r
433	<i>Robinia pseudacacia</i> L.	Z. 1994, W.G. 2001	+	+	+	+	v / i
434	<i>Rorippa amphibia</i> (L.) BESSER	–	–	–	+	+	+r
435	<i>Rorippa palustris</i> (L.) BESSER	–	+	+	+	+	v
436	<i>Rorippa sylvestris</i> (L.) BESSER	–	+	+	+	+	v

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
437	<i>Rosa canina</i> L.	S. 1984 – Ni	+	+	+	+	fr
438	<i>Rosa multiflora</i> THUNB.	–	+	–	–	–	+r
439	<i>Rosa rugosa</i> THUNB.	–	–	+	–	+	+r / i
440	<i>Rubus caesius</i> L.	–	+	+	+	+	+fr
441	<i>Rubus hirtus</i> WALDST. & KIT. AGG.	–	+	+	–	+	fr
442	<i>Rubus idaeus</i> L.	Z. 1994	+	+	+	+	v
443	<i>Rubus plicatus</i> WEIHE & NEES	–	–	+	+	–	+fr
444	<i>Rudbeckia hirta</i> L.	–	+	+	+	+	v / i
445	<i>Rudbeckia laciniata</i> L.	Z. 1994, S. 1984 – St	+	+	–	+	fr / i
446	<i>Rumex acetosa</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
447	<i>Rumex acetosella</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
448	<i>Rumex crispus</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
449	<i>Rumex hydrolapathum</i> HUDS.	–	+	–	+	+	fr
450	<i>Rumex longifolius</i> DC.	–	–	+	–	–	r
451	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
452	<i>Sagina procumbens</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	+r
453	<i>Salix acutifolia</i> WILLD.	W.G. 2001	–	–	–	+	r / i
454	<i>Salix alba</i> L.	–	+	+	–	+	fr
455	<i>Salix alba</i> L. "Tristis"	–	+	+	+	+	fr
456	<i>Salix aurita</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
457	<i>Salix caprea</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
458	<i>Salix cinerea</i> L.	–	+	+	+	+	+fr
459	<i>Salix fragilis</i> L.	–	+	+	+	+	+fr
460	<i>Salix purpurea</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	+fr
461	<i>Salix rosmarinifolia</i> L.	W.G. 2001	–	–	–	+	r
462	<i>Salsola kali</i> L.	W.G. 2001, S. 1984 – St	+	–	–	+	+r
463	<i>Salvia verticillata</i> L.	S. 1984 – Ni	–	–	+	+	+r
464	<i>Sambucus ebulus</i> L.	W.G. 2001	+	–	–	+	+r
465	<i>Sambucus nigra</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
466	<i>Sanguisorba minor</i> SCOP.	–	+	+	+	–	fr
467	<i>Saponaria officinalis</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	+	+	+	v
468	<i>Sarothamnus scoparius</i> (L.) WIMM.	–	–	–	–	+	r
469	<i>Scabiosa ochroleuca</i> L.	–	+	+	–	+	fr
470	<i>Scleranthus annuus</i> L.	–	+	–	–	–	fr
471	<i>Scrophularia nodosa</i> L.	–	+	–	–	+	+r
472	<i>Sedum acre</i> L.	W.G. 2001	+	–	+	+	fr
473	<i>Senecio ovatus</i> (PP. GAERTN., B. MEY. & SCHERB.) WILLD.	–	–	–	–	+	r
474	<i>Senecio jacobaea</i> L.	–	–	+	–	–	+r
475	<i>Senecio vernalis</i> WALDST. & KIT.	–	+	+	+	+	fr / i
476	<i>Senecio viscosus</i> L.	W.G. 2001, S. 1984 – St	+	+	+	+	fr
477	<i>Senecio vulgaris</i> L.	–	+	+	+	+	v
478	<i>Setaria pumila</i> (POIR.) ROEM. & SCHULT.	S. 1984 – St	+	+	–	–	fr
479	<i>Silene vulgaris</i> (MOENCH) GARCKE	–	+	+	–	–	fr
480	<i>Sinapis alba</i> L.	–	–	–	–	+	r / i
481	<i>Sinapis arvensis</i> L.	–	+	+	+	+	v
482	<i>Sisymbrium altissimum</i> L.	W.G. 2001	+	+	–	+	fr / i
483	<i>Sisymbrium loeselii</i> L.	–	+	+	+	+	v / i
484	<i>Sisymbrium officinale</i> (L.) SCOP.	–	+	+	+	+	v
485	<i>Solanum dulcamara</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	r
486	<i>Solidago canadensis</i> L.	Z. 1994, W.G. 2001	+	+	+	+	v / i

Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
487	<i>Solidago gigantea</i> AITON	–	+	+	+	+	+fr / i
488	<i>Solidago virgaurea</i> L. s. s.	–	–	–	–	+	r
489	<i>Sonchus arvensis</i> subsp. <i>arvensis</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
490	<i>Sonchus asper</i> (L.) HILL	–	+	+	+	+	v
491	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	–	+	+	+	+	v
492	<i>Sorbus aucuparia</i> L. em. HEDL.	–	+	+	+	+	fr
493	<i>Sorbus intermedia</i> (EHRH.) PERS.	–	+	–	–	–	r
494	<i>Spiraea media</i> SCHMIDT	–	+	+	–	+	fr
495	<i>Spiraea salicifolia</i> L.	–	+	+	–	+	fr
496	<i>Stachys palustris</i> L.	–	+	+	+	+	+fr
497	<i>Stellaria graminea</i> L.	Z. 1994	–	–	+	+	+r
498	<i>Stellaria media</i> (L.) VILL.	–	+	+	+	+	v
499	<i>Stellaria neglecta</i> WEIHE	–	+	–	–	–	rr
500	<i>Succisa pratensis</i> MOENCH	–	+	–	–	–	rr
501	<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S. F. BLAKE	–	+	+	+	+	fr / i
502	<i>Symphytum officinale</i> L.	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	fr
503	<i>Syringa vulgaris</i> L.	–	+	–	–	+	fr / i
504	<i>Tanacetum parthenium</i> (L.) SCH. BIP.	S. 1984 – St	+	+	–	–	+r / i
505	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
506	<i>Taraxacum officinale</i> F. H. WIGG	W.G. 2001	+	+	+	+	v
507	<i>Taraxacum palustre</i> (LYONS) SYMONS	P., J. 1956	–	–	–	+	rr
508	<i>Teucrium botrys</i> L.	S. 1984 – So	–	+	–	–	rr
509	<i>Thlaspi arvense</i> L.	–	+	–	–	–	+r
510	<i>Thymus pulegioides</i> L.	W.G. 2001	+	+	–	+	fr
511	<i>Tilia cordata</i> MILL.	–	+	+	–	+	fr
512	<i>Tilia platyphyllos</i> SCOP.	–	+	+	–	–	rr
513	<i>Torilis japonica</i> (HOUTT.) DC.	–	+	+	–	–	+r
514	<i>Tragopogon pratensis</i> L. s. s.	–	+	+	+	+	fr
515	<i>Trifolium arvense</i> L.	S. 1984 – Ni, St, W.G. 2001	+	+	+	+	fr
516	<i>Trifolium campestre</i> SCHREB.	S. 1984 – St	+	+	+	+	fr
517	<i>Trifolium dubium</i> SIBTH.	S. 1984 – St	+	–	–	–	r
518	<i>Trifolium fragiferum</i> L.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	r
519	<i>Trifolium medium</i> L.	–	–	+	–	+	+r
520	<i>Trifolium ochroleucon</i> HUDS.	S. 1984 – Ni	–	–	–	+	rr
521	<i>Trifolium pratense</i> L.	W.G. 2001	+	+	+	+	v
522	<i>Trifolium repens</i> subsp. <i>repens</i> L.	Z. 1994	+	+	+	+	v
523	<i>Tulipa x gesneriana</i> L.	–	–	–	–	+	rr
524	<i>Tussilago farfara</i> L.	S. 1984 – Ni, W.G. 2001	+	+	+	+	v
525	<i>Typha angustifolia</i> L.	–	–	+	+	+	fr
526	<i>Typha latifolia</i> L.	Z. 1994	+	+	+	+	fr
527	<i>Typha minima</i> HOPPE	–	–	–	+	–	r
528	<i>Ulmus glabra</i> HUDS.	–	+	–	+	+	fr
529	<i>Ulmus laevis</i> PALL.	–	+	–	–	+	+r
530	<i>Ulmus minor</i> MILL. EMEND. RICHENS	T–G, R. 1998 – St	+	–	–	–	rr
531	<i>Urtica dioica</i> L.	Z. 1994	+	+	+	+	v
532	<i>Valeriana officinalis</i> L.	–	+	+	+	+	fr
533	<i>Valeriana simplicifolia</i> KABATH	–	+	–	–	–	+r
534	<i>Verbascum lychnitis</i> L.	–	+	+	+	+	fr
535	<i>Verbascum nigrum</i> L.	–	+	+	+	+	fr
536	<i>Verbascum phlomoides</i> L.	T–G, R. 1998 –St, S. 1984 – St	+	–	–	–	r

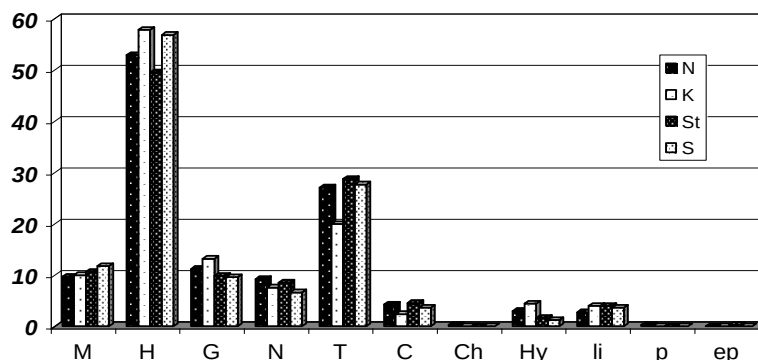
Lp.	Zbiorcza lista gatunków	Literatura	St	S	K	N	Fq
537	<i>Verbascum thapsus</i> L.	–	+	+	+	+	fr
538	<i>Veronica arvensis</i> L.	–	+	+	+	+	fr
539	<i>Veronica dillenii</i> CRANTZ		+	–	–	–	
540	<i>Veronica chamaedrys</i> L.	–	+	+	+	+	fr
541	<i>Veronica hederifolia</i> L. s. s.	–	–	–	–	+	r
542	<i>Veronica persica</i> POIR.	–	+	+	+	+	fr / i
543	<i>Veronica serpyllifolia</i> L.	–	–	+	–	–	fr
544	<i>Viburnum opulus</i> L.	–	+	–	–	+	+r
545	<i>Vicia angustifolia</i> L.	–	+	+	+	+	fr
546	<i>Vicia cracca</i> L.	–	+	+	+	+	fr
547	<i>Vicia hirsuta</i> (L.) S. F. GRAY	–	+	+	+	+	fr
548	<i>Vicia sepium</i> L.	–	+	+	+	+	fr
549	<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) SCHREB.	W.G. 2001	+	+	+	+	fr
550	<i>Vinca minor</i> L.	–	–	–	–	+	rr
551	<i>Viola arvensis</i> MURRAY	–	+	+	+	+	v
552	<i>Viola collina</i> BESSER	–	+	–	–	–	r
553	<i>Viola hirta</i> L.	–	+	–	–	–	r
554	<i>Viola odorata</i> L.	–	+	–	–	–	r
555	<i>Viola reichenbachiana</i> JORD. ex BOREAU	–	–	–	–	+	rr
556	<i>Viola riviniana</i> RCHB.	–	–	–	–	+	rr
557	<i>Viola tricolor</i> L. s. s.	–	+	+	+	+	+fr
558	<i>Vitis vinifera</i> L.	–	–	–	–	+	rr
559	<i>Xanthium spinosum</i> L.	S. 1984 – So	–	+	–	–	r / i

Objaśnienia symboli w tablicy 1:

- 1 **nazewnictwo łacińskie taksonów** przyjęto za: Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M. (2002);
- 2 **cytaty z literatury:** Sendek A. 1984 – [S. 1984 - Ni], Zając M. 1994 (mszp.) – [Z. 1994 - Ni], Fiek E. 1881 – [F. 1881], Paprzycki E., Jaromin L. 1956 – [P., J. 1956], Woźniak G. 2001 – [W.G. 2001 - Ni], Uechtritz R. 1879 – [U. 1879 - Ni], Wąsowicz M.D. 1874 – [W.M. 1874 - Ni];
- 3 **występowanie gatunku w terenie:** + – podczas przeprowadzonych badań, • – notowanie literaturowe;
- 4 **określenie częstości występowania na badanym terenie/gatunki inwazyjne** [14]: v – pospolicie, +fr – bardzo często, fr – często, +r – dość często, r – rzadko, rr – bardzo rzadko, i – gatunek inwazyjny.

5. PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

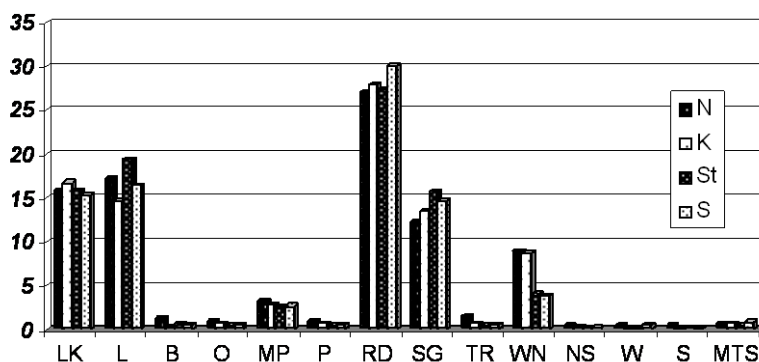
Analiza i porównanie wyróżnionych specyficznych grup gatunków we florze naczyniowej występujących na badanych obszarach (559 gatunków = 100% flory) pozwoliły na wykazanie, że ze względu na udział procentowy gatunków należących do określonego typu formy życiowej jest ona znacznie zróżnicowana, a najliczniejsze grupy tworzą hemikryptofity (N: 214 gat., K: 145 gat., St: 186 gat., S: 189 gat.) i terofity (N: 110 gat., K: 50 gat., St: 108 gat., S: 92 gat.), średnio liczne są – nanofanerofity, megafanerofity i geofity. Pozostałe są nieliczne gatunkowo.



Rys. 1. Procentowy udział form życiowych gatunków: M – megafanerofit (drzewo), H – hemikryptofity (roślina trwała – wieloletnia), G – geofit (trwała roślina kłączowa i cebulowa), N – nanofanerofit (krzew), T – terofit (rośliny jednoroczne, zimujące w postaci nasion), C – chamefit zielny (krzewinka zielona), Ch – chamefit drzewiasty, Hy – hydrofity i helofity, li – liany, p – pasożyty, ep – epifity (nie korzeniące się w ziemi)

Fig. 1. Percentage of life form groups of species: M – megaphanerophyte (tree), H – hemicryptophyte, G – geophyte, N – nanophanerophyte (shrub), T – terophyte, C – herbaceous chamaephyte, Ch – woody chamaephyte, Hy – hydrophyte, li – liana, p – parasite, ep – epiphyte

W zakresie zróżnicowania ilościowego grup synekologicznych dominują wyraźnie gatunki ruderalne (N: 109 gat., K: 70 gat., St: 103 gat., S: 100 gat.) i segetalne (N: 49 gat., K: 34 gat., St: 59 gat., S: 49 gat.). Średni udział procentowy natomiast wykazują trzy grupy gatunków, tj. nadwodne i bagienne oraz piaszczyskowe. Pozostałe cechuje mały udział gatunkowy.

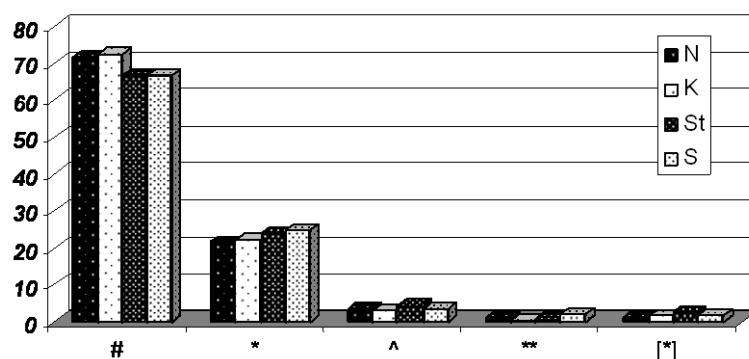


Rys. 2. Procentowy udział gatunków roślin naczyniowych w grupach synekologicznych: LK – łąkowe, L – lasów liściastych, B – borowe, O – okrajkowe, MP – muraw piaszczyskowych, P – muraw kwaśnych, RD – ruderalne, SG – segetalne, TR – torfowiskowe, WN – nadwodne i bagienne, NS – naskalne, W – wodne, S – solniskowe, MTS – muraw nawapiennych

Fig. 2. Percentage of ecological groups in flora: LK – meadow, L – deciduous woodland, B – coniferous woodland, O – shrub edges, MP – sandy grassland, P – acid grassland, RD – ruderal, SG – segetal, TR – moor, WN – swamp, NS – rocky, W – water, S – salty places, MTS – limestone grassland

Pod względem przynależności poszczególnych gatunków roślin do danej grupy geograficzno-historycznej najliczniejszym udziałem wyróżniają się synantropijne gatunki rodzime – apofity (N: 291 gat., K: 182 gat., St: 251 gat., S: 222 gat.),

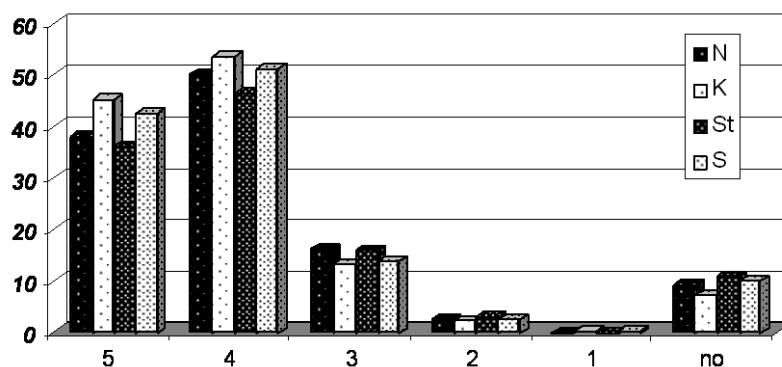
a następnie obcego pochodzenia – antropofity (N: 87 gat., K: 56 gat., St: 91 gat., S: 83 gat.). Udział roślin uprawianych i efemerofitów oraz gatunków o niepewnym statusie we florze polskiej jest niewielki.



Rys. 3. Procentowy udział grup geograficzno-historycznych gatunków: # – apofity (gatunki rodzime), * – antropofity (zadomowione we florze polskiej), ^ – taksony uprawowe, ** – efemerofity, [*] – taksony o niepewnym statusie we florze polskiej

Fig. 3. Percentage of the synanthropic groups of species: # – apophytes, * – anthropophyte established in the Polish flora, ^ – cultivated species, ** – ephemerophytes, [*] – takson of uncertain status in the Polish flora, likely to be an anthropophyte

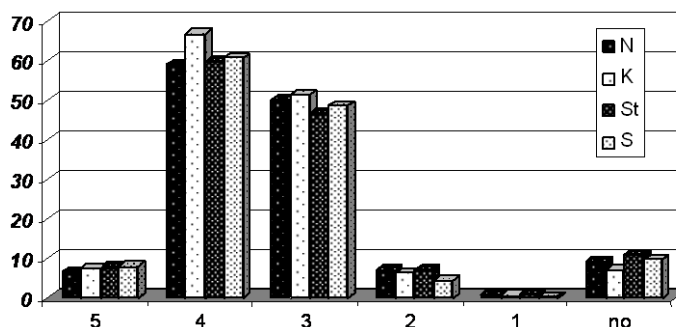
Ze względu na zróżnicowanie wartości głównych wskaźników autekologicznych, dotyczących światła, trofizmu podłoża i wilgotności, odniesionych do poszczególnych gatunków flory naczyniowej i występujących na badanych terenach stwierdzono, że w przypadku światła: najliczniejszą grupę tworzą gatunki o wysokich wymaganiach świetlnych – heliofity, wskaźnik 4–5 (N: 355 gat., K: 247 gat., St: 310 gat., S: 311 gat.), dość liczne są mezoheliofity, wskaźnik 3 (N: 66 gat., K: 33 gat., St: 60 gat., S: 46 gat.), udział pozostałych (wskaźnik 1–2) jest niski.



Rys. 4. Procentowy udział wartości wskaźnika świetlnego gatunków

Fig. 4. Percentage values of species light indicator

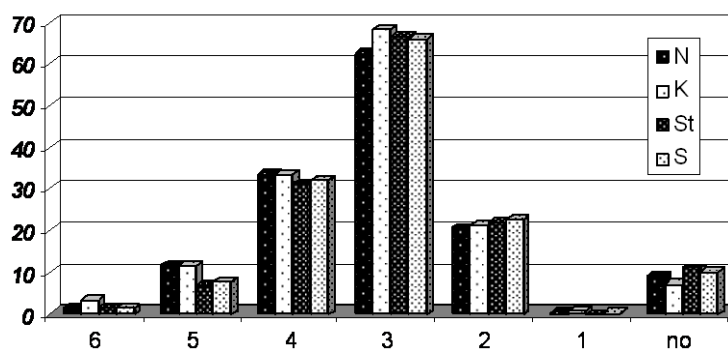
Ze względu na trofizm podłoża bardzo liczny udział w badanej florze mają gatunki mezotroficzne – podłoża średnio żyzne; wskaźnik 3–4 (N: 441 gat., K: 297 gat., St: 401 gat., S: 364 gat.), natomiast nieliczna jest grupa gatunków eutroficznych – podłoża bogato żyzne; wskaźnik 5 i oligotroficznych – skąpo żyzne; wskaźnik 1–2.



Rys. 5. Procentowy udział wartości wskaźnika trofizmu gatunków

Fig. 5. Percentage values of species nitrogen indicator

Pod względem wilgotności podłoża wyraźnie najliczniejszą grupę tworzą gatunki mezofile (N: 253 gat., K: 171 gat., St: 250 gat., S: 220 gat.), następnie higrofilne (N: 136 gat., K: 84 gat., St: 117 gat., S: 107 gat.), mezokserofilne i kserofilne, a najmniej liczne są helofilne i hydrofilne.



Rys. 6. Procentowy udział wartości wskaźnika wilgotności gatunków

Fig. 6. Percentage values of species moisture indicator

WNIOSKI

1. Przebadane tereny cechuje znaczne zróżnicowanie siedliskowe. Występują na nich wszystkie formy przekształcenia powierzchni związane z funkcjonowaniem zakładów górniczych, tj. składowiska skały płonnej (przepalanej i nieprzepalanej), osadniki mułowe, osadniki betonowe, zlikwidowane torowiska i bocznice kolejowe, place składowe, tereny po wyburzeniach.

2. Analiza i porównanie wyróżnionych specyficznych grup gatunków we florze naczyniowej występujących na badanych obszarach pozwoliły wykazać, że:
 - udział procentowy gatunków należących do określonego typu formy życiowej jest znacznie zróżnicowany, a najliczniejsze grupy tworzą hemikryptofity i terofity, średnio liczne są nanofanerofity, megafanerofity i geofity;
 - w zakresie zróżnicowania ilościowego grup synekologicznych dominują wyraźnie gatunki ruderalne i segetalne; średni udział procentowy wykazują trzy grupy gatunków, tj. nadwodne, bagienne oraz piaszczyskowe, pozostałe cechuje mały udział gatunkowy;
 - pod względem przynależności do danej grupy geograficzno-historycznej najliczniejszym udziałem wyróżniają się synantropijne gatunki rodzime (apofity), a następnie obcego pochodzenia (antropofity); udział roślin uprawianych i efemerofitów oraz gatunków o niepewnym statusie we florze polskiej jest nieliczny;
 - ze względu na zróżnicowanie wartości głównych wskaźników autekologicznych, dotyczące światła, trofizmu podłoża i wilgotności, odniesionych do poszczególnych gatunków flory naczyniowej i występujących na badanych terenach stwierdzono, że:
 - najliczniejszą grupę tworzą gatunki o wysokich wymaganiach świetlnych (heliofity, wskaźnik 4–5), dość liczne są mezoheliofity (wskaźnik 3), udział pozostałych (wskaźnik 1–2) jest nikły,
 - bardzo liczny udział w badanej florze mają gatunki mezotroficzne (podłoża średnio żyzne – wskaźnik 3–4), natomiast nieliczna jest grupa gatunków eutroficznych (bogato żyzne – wskaźnik 5) i oligotroficznych (skąpo żyzne – wskaźnik 1–2),
 - wyraźnie najliczniejszą grupę tworzą gatunki mezofilne, następnie higrofilne, mezokserofilne i kserofilne, a najmniej liczne są helofilne i hydrofilne.
3. Badania florystyczne wraz z notowaniami literaturowymi wykazały występowanie 559 taksonów roślin naczyniowych. Stwierdzono występowanie 54 gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia [14] oraz 10 gatunków podlegających ochronie prawnej [26].
4. Pomimo bogactwa gatunkowego flory spontanicznie „wkraczającej” na przebadane obszary, wymagają one jednak przeprowadzenia zabiegów rekultywacji technicznej i biologicznej, po których mogą być wykorzystane pod inwestycje – w przypadku kopalni „Sosnowiec” – oraz tereny rekreacyjno-wypoczynkowe – w przypadku kopalni „Klimontów”, „Czeladź-Saturn” i „Niwka-Modrzejów”.

Literatura

1. Braun-Blanquet J. (1964): *Pflanzensoziologie Grunzüge der Vegetationskunde*. Wien – New York, Springer.
2. Cabała S., Sypień B. (1987): *Rozwój szaty roślinnej na wybranych zwałowiskach kopalni węgla kamiennego GOP*. Archiwum Ochrony Środowiska nr 3–4, s. 169–184.
3. Cyrek A., Malczyk W., Małkowski A. (1998): *Ekspertyza górniczo-geologiczna dla KWK Niwka Modrzejów*. Katowice, Hydrogop (mscr).

4. Ellenberg H., Weber H., Dull R., Werner W., Paulissen D. (1992): *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Gottingen, Scripta Bot.
5. Fiek E. (1881): *Flora von Schlesien*. Breslau, JU. Kerns Verlag.
6. Galiński A. (1994): *Udział gatunków leczniczych w zbiorowiskach ruderalnych i segetalnych obszaru Czeladzi i Siemianowic Śląskich*. Ś.A.M. w Katowicach (Praca magisterska).
7. Jędrzejko K., Klama H., Żarnowiec J. (1997): *Zarys wiedzy o roślinach leczniczych*. Katowice, Śląska Akademia Medyczna.
8. Jędrzejko K. (1987): *Szata roślinna w krajobrazie przemysłowym Wyżyny Śląskiej*. W: *Problemy geograficzne górnośląsko-czechosłowackiego regionu przemysłowego*. Materiały Symposium polsko-czechosłowackiego, 5–7 maja, 1987. Katowice, Wydział Nauk o Ziemi U.Śl., s. 49–56.
9. Jędrzejko K. (1999): *Mchy (Bryopsida) Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego i Leśnego Pasa Ochronnego wobec antropopresji*. Mosses (Bryopsida) in the Upper Silesian Industrial District and the forest protective belt and their relation to anthropopressure. *Prace i Studia* t. 39, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wydaw. Polskiej Akademii Nauk.
10. Jędrzejko K. (1985): *Wątrobowce (Hepaticopsida) Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego i Leśnego Pasa Ochronnego na Wyżynie Śląskiej wobec antropopresji*. The liverworts (Hepaticopsida) in the Upper Silesian Industrial District and the forest protective belt in the area of the Silesian Upland and its relation to anthropopressure. Katowice, Śląska Akademia Medyczna.
11. Jędrzejko K. (2001): *Medicinal plants and herbal materials in use in Poland: a check list*. Wykaz roślin i surowców leczniczych stosowanych w Polsce. Katowice, Śląska Akademia Medyczna.
12. Kenneth A.K. (1978): *Ilościowa i dynamiczna ekologia roślin*. Warszawa, PWN.
13. Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M. (2002): *Krytyczna lista roślin naczyniowych Polski*. Vascular plants of Poland a checklist. Polish Botanical Studies. Guidebook Ser. No. 15, Polish Academy of Science, W. Szafer Institute of Botany, Kraków, 2002.
14. NOBANIS: North European and Baltic Network on Invasive Alien Species, www.artportalen.se/nobanis.
15. Olszewski P. (2001): *Flora synantropijna terenów poeksploatacyjnych Kopalni Węgla Kamiennego „Sosnowiec” (Zagłębie Dąbrowskie)*. Synanthropic flora of the post-mine sites of “Sosnowiec” Coal-Mine (Dąbrowa Basin). Materiały IX Konferencji na temat: Zapobieganie zanieczyszczeniu środowiska, 13–14 grudnia, 2001. Bielsko-Biała, Zakł. Ochr. Środ. A.T.H.
16. Olszewski P. (2003): *Flora synantropijna terenów poeksploatacyjnych Kopalni Węgla Kamiennego „Saturn” w Czeladzi (Zagłębie Dąbrowskie)*. Synanthropic flora of the post-mine sites of “Saturn” Coal-Mine (Dąbrowa Basin). *Archiwum Ochrony Środowiska* Vol. 29, No. 1, s. 81–98.
17. Paprzycki E., Jaromin L. (1956): *Podsumowanie wyników badań prób zalesienia piaskowni*. PAN, Kom. dla spraw GOP, Biul. 1, s. 7–48.
18. Patrzalek A., Rostański A. (1992): *Procesy glebotwórcze i zmiany roślinności na skarpie rekultywowanego biologicznie zwałowiska odpadów po kopalnictwie węgla kamiennego*. *Archiwum Ochrony Środowiska* nr 3–4, s. 157–168.
19. Pawłowski B. (1972): *Skład i budowa zbiorowisk roślinnych oraz metody ich badania*. W: *Szata roślinna Polski* Praca zbior. pod red. K. Zarzyckiego i W. Szafera, T.1. Warszawa, PWN, s. 237–279.

20. Raunkiaer C. (1905): *Types biologiques pour la geographie botanique*. Overs. Kongel. Danske Vidensk. Selsk. Forh. Medlemmers Arbeider No. 5, s. 347–437.
21. Rostański A. (1997): *Flora spontaniczna hałd Górnego Śląska*. Archiwum Ochrony Środowiska nr 23, s. 159–165.
22. Rostański A. (2000): *Podsumowanie badań flory terenów przemysłowych na Górnym Śląsku (1989-1999)*. Acta Biologica Silesiana, Wydaw. Uniwersytetu Śląskiego, T. 35 (jubileuszowy), s. 131–155.
23. Rostański A. (1991): *Spontaniczna sukcesja roślinności na wybranych zwalach przemysłowych w województwie katowickim*. Katowice – Sosnowiec, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Wydział Nauk o Ziemi, U.Śl. nr 3, s. 35–38.
24. Rostański A. (2000): *Trawy spontaniczne zasiedlające nieużytki przemysłowe w aglomeracji katowickiej*. Łąkarstwo w Polsce, nr 3, s. 141–150.
25. Rostański K., Tokarska-Guzik B., Kania E. (1994): *Flora naczyniowa obrzeży wybranych zalewisk pogórnich na terenie Bytomia, Jaworzna i Knuruwa*. Acta Biologica Silesiana, Wydaw. Uniwersytetu Śląskiego T. 25, s. 7–18.
26. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 lipca 2004 r. w sprawie gatunków dziko występujących roślin objętych ochroną (Dziennik Ustaw z dnia 28 lipca 2004 r.) na podstawie art. 48 Ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody.
27. Rutkowski L. (1998): *Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski Niżowej*. Warszawa, PWN.
28. Sendek A. (1984): *Rośliny naczyniowe Górnego Śląskiego Okręgu Przemysłowego*. Warszawa, PWN.
29. Sudnik-Wójcikowska B. (1988): *Słownik z zakresu synantropizacji szaty roślinnej*. Warszawa, Uniwersytet Warszawski.
30. Szafer W., Zarzycki K. (1977): *Szata roślinna Polski*. Warszawa, PWN.
31. Tokarska-Guzik B., Rostański A. (1998): *Flora naczyniowa miasta Czeladź*. Acta Biologica Silesiana, Wydaw. Uniwersytetu Śląskiego, T. 33, s. 12–58.
32. Uechtritz R. (1879–1886): *Resultate der Durchforschung der schlesischen Phanerogamenflora im Jahre 1878–1885, jahres – Ber. D. Schkes. Gesell. F. vaterl. Cultur.* 56, s. 154–176; 57, s. 323–349; 60, s. 243–284; 61, s. 249–300; 62, s. 309–341; 63, s. 216–276.
33. Wąsowicz M. (1874): *Wyniki wycieczek botanicznych, dokonanych w okolicach Mysłowic*. AU, Spraw. Kom. Fizjogr. nr 11, s. 30–40.
34. Woźniak G. (2001): *Flora roślin naczyniowych osadników ziemnych wód kopalnianych – nieużytków poeksploatacyjnych na Górnym Śląsku*. Katowice, Uniwersytet Śląski, Katedra Geobotaniki i Ochrony Przyrody, s. 7–46.
35. Zając M. (1994): *Ocena fitosocjologiczna zasobów flory leczniczej w szacie roślinnej Sosnowca (okolice peryferyjne)*. Katowice, Śląska Akademia Medyczna (Praca magisterska).
36. Zarzycki K. (2002): *Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski*. Kraków, Instytut Botaniki PAN.

Recenzent: dr Leszek Trząski

Ewa Owczarek-Nowak^{)}*

ANALIZA FUNKCJONOWANIA GMINNYCH SYSTEMÓW GOSPODAROWANIA ODPADAMI KOMUNALNYMI W WOJEWÓDZTWIE ŚLĄSKIM – TEORIA A PRAKTYKA

Streszczenie

Przeprowadzono analizę funkcjonowania gminnych systemów gospodarki odpadami komunalnymi na podstawie wyników ankietowania urzędów gmin województwa śląskiego, w których uchwalono gminne plany gospodarki odpadami (gpgo). Z ankietowanych gmin uzyskano informacje na temat sposobu wdrażania poszczególnych zadań, ujętych w gpgo, jak również napotykanych problemów. Stwierdzono, że sprawne działanie gminnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi nie było zależne od wielkości gminy. Gpgo były przygotowywane zasadniczo w sposób poprawny i przewidziano w nich realizację niezbędnych przedsięwzięć, jednak sama realizacja zaplanowanych zadań w wielu przypadkach okazała się problematyczna.

Wnioski sformułowane na podstawie wyników ankiety zostaną wykorzystane do określenia założeń do budowy modelu gminnego systemu gospodarowania odpadami.

Analysis of municipal systems of waste management functioning in Silesia Voivodeship – theory and practice

Abstract

On the basis of poll results for those municipalities in Silesian Voivodeship who passed their resolutions on municipal plans of waste management (mpwm), an analysis was performed of municipal systems of municipal waste management functioning. From these municipalities for whom the poll was conducted, an information was acquired concerning the methods of included in mpwm particular tasks' implementation, as well as the problems met. It was observed that an efficient functioning of municipal waste management system did not depend on the size of municipality. Mpwm were prepared in essentially proper way and they foresaw realisation of necessary measures, but the realisation of planned tasks itself occurred to be problematical.

The conclusions formulated on the basis of poll results will be used for defining guidelines for construction of municipal system of waste management model.

WPROWADZENIE

Zgodnie z przepisami prawa samorządy gminne mają obowiązek organizowania i nadzorowania funkcjonowania systemów gospodarowania odpadami komunalnymi (Górski 2005). Samorządy powinny między innymi zapewniać objęcie wszystkich mieszkańców gminy systemem selektywnej zbiórki odpadów komunalnych, a zebrane odpady powinny być zagospodarowywane zgodnie z obowiązującymi przepisami, w szczególności o ochronie środowiska i o odpadach. Należy również pamiętać o obowiązku ograniczania składowania na składowiskach biodegradowalnej frakcji odpadów komunalnych, co wynika z Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady

^{*)} Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach.

1999/31/EC z dnia 27 kwietnia 1999 roku w sprawie składowania odpadów. Docelowo, w 2020 roku na składowiskach będzie można składować najwyżej 35% wag. całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 roku.

Z wielu względów, spełnianie powyższych obowiązków przez samorządy gminne wymaga od nich znacznego wysiłku zarówno organizacyjnego, jak i finansowego. Jednym ze sposobów, który powinien ułatwić wdrożenie poprawnego systemu gospodarki odpadami komunalnymi, są gminne plany gospodarki odpadami, uchwalane przez radę gminy na podstawie art. 14 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 roku o odpadach (Dz. U. Nr 62 poz. 627 z późniejszymi zmianami).

Wypracowanie na terenie gminy poprawnie funkcjonującego systemu gospodarki odpadami komunalnymi nie ogranicza się jednak do przygotowania i uchwalenia prawidłowego gpgo. Tematyka ta jest bardzo specyficzna: istnieje wiele możliwych sposobów realizacji zadań związanych z gospodarką odpadami komunalnymi, jednak dokonanie najodpowiedniejszego wyboru i pomyślnie wdrożenie wybranych rozwiązań wymaga uwzględnienia wielu uwarunkowań, specyficznych dla danego obszaru.

Opracowanie modelu gminnego systemu gospodarki odpadami komunalnymi, w którym byłyby uwzględnione powyższe uwarunkowania, może ułatwić podejmowanie optymalnych decyzji przez samorząd gminy oraz przyczynić się do powstawania coraz lepiej wdrażanych gpgo. W niniejszym artykule opisano badania, które wykonano w celu sformułowania założeń do budowy tego modelu.

1. PODSTAWY TEORETYCZNE

1.1. Podstawy prawne

System gospodarowania odpadami, powstającymi na obszarze gminy, powinien charakteryzować się całościowymi rozwiązaniami, logicznie łączącymi ze sobą aspekty społeczne, ekonomiczne i organizacyjne. W szczególności dotyczy to odpadów komunalnych, zwłaszcza wytwarzanych przez osoby fizyczne. Odpadami komunalnymi, zgodnie z definicją zawartą w art. 3 ust. 3 pkt 4 ustawy o odpadach, są odpady powstające w gospodarstwach domowych, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych, pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych. Zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami dotyczącymi odpadów, przedsiębiorstwa wytwarzające odpady są zobowiązane do właściwego ich zagospodarowania i do prowadzenia ścisłej dokumentacji poszczególnych etapów tego procesu (dokumenty ewidencji odpadów), natomiast obowiązki i odpowiedzialność osób fizycznych są w tym zakresie bardzo ograniczone. Na przykład osoby fizyczne nie są zobowiązane do ewidencjonowania wytwarzanych odpadów bądź do dokładnego dokumentowania sposobu zagospodarowania czy przekazywania odpadów innym podmiotom. Nie oznacza to oczywiście, że odpady wytwarzane przez osoby fizyczne są pozbawione niekorzystnego oddziaływania na środowisko w przypadku nieprawidłowego postępowania.

Obowiązek tworzenia, utrzymywania i nadzorowania działania systemu gospodarowania odpadami wytwarzanymi przez osoby fizyczne (gospodarstwa domowe) przypada samorządowi gminnemu i stanowi zadania własne. Potwierdza to fakt,

że zadania te są konsekwentnie przypisywane samorządowi gminnemu w kilku różnych aktach prawnych o randze ustawy. Podstawy prawne najważniejszych obowiązków należących do samorządów gminnych przedstawiono w tablicy 1 (Bukowska (red.) 2005; Górski 2005; Lemański, Zabawa (red.) 2006).

Tablica 1. Podstawowe obowiązki samorządu gminnego w zakresie gospodarowania odpadami komunalnymi

Podstawa prawna, publikator	Obowiązek	Forma działania
Art. 7 ust. 1 pkt 3 ustawy z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (tekst jednolity – Dz.U.01.142.1591 ze zmianami)	Wskazanie zaspokajania potrzeb wspólnoty samorządowej, w zakresie m.in. utrzymania czystości i porządku oraz urządzeń sanitarnych i wysypisk oraz unieszkodliwiania odpadów komunalnych, jako zadania własnego gminy	Ogólna norma kompetencyjna
Art. 14 ust. 5 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U.01.62.628 ze zmianami)	Opracowanie projektu gminnego planu gospodarki odpadami (wójt, burmistrz, prezydent miasta) i uchwalenie go (rada gminy) jako części gminnego programu ochrony środowiska	Czynność materialno-techniczna, akt normatywny (uchwała)
Art. 14 ust. 13 i 14 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U.01.62.628 ze zmianami)	Składanie sprawozdania z realizacji gminnego planu gospodarki odpadami i aktualizacja planu (wójt, burmistrz, prezydent miasta)	Czynność materialno-techniczna
Art. 16a ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U.01.62.628 ze zmianami)	1. Zapewnienie objęcia wszystkich mieszkańców gminy zorganizowanym systemem odbierania wszystkich rodzajów odpadów komunalnych 2. Zapewnienie warunków do funkcjonowania systemu selektywnego zbierania i odbierania odpadów komunalnych 3. Zapewnienie funkcjonowania instalacji i urządzeń służących do odzysku i unieszkodliwiania odpadów komunalnych 4. Zapewnienie warunków ograniczenia masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji kierowanych do składowania	Ogólna norma kompetencyjna
Art. 26 ust. 5 i 6 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U.01.62.628 ze zmianami)	Opiniowanie projektów zezwoleń na prowadzenie działalności w zakresie odzysku i unieszkodliwiania odpadów, w tym komunalnych (wójt, burmistrz, prezydent miasta)	Akt administracyjny (postanowienie)
Art. 28 ust. 2 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U.01.62.628 ze zmianami)	Opiniowanie projektów zezwoleń na prowadzenie działalności w zakresie zbierania lub transportu odpadów, w tym komunalnych (wójt, burmistrz, prezydent miasta)	Akt administracyjny (postanowienie)
Art. 34 ust. 1 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U.01.62.628 ze zmianami)	Nakazanie posiadaczowi odpadów ich usunięcie z miejsc nieprzeznaczonych do ich składowania bądź magazynowania ze wskazaniem sposobu wykonania (wójt, burmistrz, prezydent miasta)	Decyzja administracyjna
Art. 3 ust. 2 pkt 6a ustawy z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (tekst jednolity – Dz.U.05.236.2008)	Udostępnianie mieszkańcom gminy na stronie internetowej i w sposób ogólnie przyjęty informacji o działających na terenie gminy podmiotach zbierających zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny, pochodzący z gospodarstw domowych	Czynność materialno-techniczna
Art. 5 ust. 6 ustawy z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (tekst jednolity – Dz.U.05.236.2008)	Sprawowanie nadzoru nad wykonaniem przez właścicieli nieruchomości obowiązków polegających na zbieraniu odpadów komunalnych powstających na terenie nieruchomości zgodnie z wymaganiami zawartymi w regulaminie utrzymania czystości i porządku oraz na pozbywaniu się odpadów komunalnych, zgodnie z obowiązującymi przepisami (wójt, burmistrz, prezydent miasta)	Zadania nadzorczo-kontrolne
Art. 6a ustawy z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (tekst jednolity – Dz.U.05.236.2008)	Może przejąć – za ustaloną opłatą – od właścicieli nieruchomości obowiązki w zakresie wyposażenia nieruchomości w urządzenia do zbierania odpadów komunalnych, utrzymywania tych urządzeń w należytym stanie technicznym oraz zbierania odpadów komunalnych powstających na terenie tej nieruchomości (rada gminy)	Akt prawa miejscowego (uchwała)
Art. 7–9 ustawy z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (tekst jednolity – Dz.U.05.236.2008)	Sprawowanie nadzoru i kontroli nad podmiotami prowadzącymi działalność w zakresie odbierania odpadów komunalnych – zezwolenia, nadzór, kontrola działalności (wójt, burmistrz, prezydent miasta)	Decyzje administracyjne, czynności materialno-techniczne, zadania nadzorczo-kontrolne
Art. 162 ust. 5 i 6 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (tekst jednolity – Dz.U.06.129.902 ze zmianami)	Przyjmowanie od osób fizycznych niebędących przedsiębiorcami informacji o substancjach stwarzających szczególne zagrożenie dla środowiska i przedkładanie tych informacji wojewodzie – dot. m.in. azbestu (wójt, burmistrz, prezydent miasta)	Czynność materialno-techniczna

Źródło: Opracowanie własne.

Po przeanalizowaniu obowiązujących przepisów prawnych można wyciągnąć wniosek, że samorząd gminny ma obowiązek:

- zorganizowania systemu zbierania, odbierania, odzysku i unieszkodliwiania odpadów komunalnych, w tym systemu zbiórki selektywnej (podczas gdy mieszkańcy gminy są zobowiązani do działania w ramach tego systemu – w zasadzie nie mają oni możliwości samodzielnego zorganizowania sobie unieszkodliwiania wszystkich wytwarzanych przez siebie odpadów komunalnych w zgodzie z obowiązującymi przepisami),
- zapewnienia budowy i eksploatacji urządzeń i instalacji służących do odzysku i unieszkodliwiania odpadów komunalnych (samodzielnie, wspólnie z innymi samorządami lokalnymi, wspólnie z przedsiębiorcami bądź poprzez umożliwienie działania niezależnego przedsiębiorcy w tym zakresie), dotyczy to zarówno odpadów powstałych na terenie gminy, jak i przywiezionych.

1.2. Gminne plany gospodarki odpadami (gpgo)

Plany gospodarki odpadami mają stanowić część programów ochrony środowiska, przyjmowanych na podstawie przepisów ustawy – Prawo ochrony środowiska. Są opracowywane na szczeblu krajowym, wojewódzkim, powiatowym i gminnym, w sposób zapewniający ich zgodność z innymi ważnymi dokumentami strategicznymi, związanymi z ochroną środowiska: z *Polityką ekologiczną* państwa oraz z planami gospodarki odpadami wyższego szczebla.

Mimo że plany gospodarki odpadami nie mają charakteru aktu normatywnego, tzn. nie określa się w nich obowiązków adresowanych do podmiotów pozostających poza systemem administracji publicznej, to jednak posiadacze odpadów dotyczą w sposób pośredni. Zgodnie z art. 7 ust. 1 ustawy o odpadach, posiadacze odpadów są zobowiązani do postępowania z odpadami według zasad gospodarowania odpadami, wymagań ochrony środowiska oraz planów gospodarki odpadami. Zapisy w planach znajdują też odzwierciedlenie w procedurze udzielania zezwoleń – decyzji administracyjnych – w zakresie gospodarki odpadami. W przypadku wnioskowania o pozwolenie na gospodarowanie odpadami w sposób, który jest niezgodny z planami gospodarki odpadami, właściwy organ (wojewoda lub starosta) jest zobowiązany do odmowy wydania pozwolenia (np. art. 18 ust. 3 pkt 2, art. 22 ust. 1 pkt 2, art. 29 ust. 1 pkt 3 ustawy o odpadach).

We wszystkich planach gospodarki odpadami powinny być podane między innymi:

- opis aktualnego stanu gospodarki odpadami,
- cele w zakresie gospodarki odpadami z podaniem terminów ich osiągnięcia,
- rodzaje przedsięwzięć i harmonogram ich realizacji,
- instrumenty finansowe służące do realizacji celów w zakresie gospodarowania odpadami,
- system gospodarowania odpadami,
- system monitoringu i sposób oceny realizacji celów założonych w planie.

Gminny plan gospodarki odpadami (gpgo) dotyczy odpadów komunalnych powstających na obszarze gminy oraz przywożonych na jej obszar, z uwzględnieniem odpadów komunalnych ulegających biodegradacji oraz odpadów niebezpiecznych zawartych w odpadach komunalnych. Szczegółowy zakres gpgo został określony w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 kwietnia 2003 r. w sprawie sporządzenia planów gospodarki odpadami (Dz.U.03.66.620, zmiana: Dz.U.06.46.333).

Zasadniczo, treść gpgo pozostaje w ścisłym związku z zakresem obowiązków samorządu gminnego. Zorganizowanie systemu gospodarowania odpadami komunalnymi jest obowiązkiem gminy i należy do jej zadań własnych, zatem w gpgo są uwzględniane przede wszystkim te zagadnienia, jednakże nie muszą się do nich ograniczać (Górski 2005).

2. PRAKTYKA

2.1. Metodyka prowadzenia badań

Badania wykonano w ramach pracy doktorskiej, przygotowywanej w Śląskim Środowiskowym Studium Doktoranckim w Katowicach¹. Zostały one wykonane w celu oceny sposobu realizowania zadań określonych w gminnych planach gospodarki odpadami, w szczególności wskazania tych obowiązków, których wykonywanie sprawia samorządom lokalnym poważniejsze problemy. Wyniki badań zostaną wykorzystane do opracowania informatycznego modelu gminnego systemu gospodarki odpadami, który mógłby ułatwić wdrożenie na terenie gminy systemu gospodarki odpadami zgodnej z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Badania polegały na przeprowadzeniu ankiety w urzędach gmin na terenie województwa śląskiego. Ograniczenie badań do terenu województwa śląskiego było podyktowane następującymi względami:

- mimo że jest to region niewielki obszarowo, charakteryzuje go niespotykana w skali kraju różnorodność zarówno pod względem geograficznym, demograficznym, jak i gospodarczym,
- w województwie śląskim znajdują się gminy o charakterze rolniczym, przemysłowym i turystycznym, o różnym stopniu zaawansowania rozwoju i o różnym podejściu do zagadnień zrównoważonego rozwoju,
- zapewnienie właściwego podejścia do gospodarowania odpadami ma na terenie województwa śląskiego niezwykle duże znaczenie, gdyż region ten cechuje duża gęstość zaludnienia (394 osób/km² przy średniej krajowej 122 osób/km²), czego konsekwencją jest znaczna wielkość strumienia odpadów komunalnych, powstających na małym obszarze.

Ankiety zostały przesłane pocztą elektroniczną lub pocztą tradycyjną do urzędów gmin, w których plan gospodarki odpadami został już uchwalony. Zagadnienia, które uwzględniono w ankiecie, zostały syntetycznie przedstawione w tablicy 2.

¹ http://www.gig.katowice.pl/gig/studia_kursy/index_doktoranckie.php

Tablica 2. Zagadnienia ujęte w ankiecie dotyczącej gminnego planu gospodarki odpadami

Zagadnienie	Możliwe odpowiedzi
Przystąpienie do sporządzenia sprawozdania z realizacji gpgg	Tak, sprawozdanie jest na końcowym etapie Tak, sprawozdanie jest w czasie przygotowania Nie przystąpiono do sporządzania sprawozdania
Realizacja wybranych zadań ujętych w wojewódzkim planie gospodarki odpadami dla województwa śląskiego [4]: - działania mające na celu edukację mieszkańców w zakresie gospodarowania odpadami, - inwentaryzacja i opracowanie harmonogramu usuwania azbestu.	Tak, takie zadania ujęto i są realizowane Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane Nie, takich zadań nie ujęto w gpgg
Odsetek mieszkańców gminy objętych systemem odbioru odpadów komunalnych	Tak, wszyscy Część mieszkańców jest objęta takim systemem – szacunkowy % Na terenie gminy nie istnieje zorganizowany system odbioru odpadów komunalnych
Odsetek mieszkańców gminy, którzy zawarli umowę na odbiór odpadów komunalnych	Mniej niż 50% 51–65% 66–80% 81–100%
System selektywnej zbiórki odpadów komunalnych	Tak, takie zadania ujęto i są realizowane Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane Nie, takich zadań nie ujęto
Utworzenie gminnego punktu zbiórki odpadów niebezpiecznych (GPZON)	Tak, takie zadania ujęto i są realizowane Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane Nie, takich zadań nie ujęto
Ograniczenie składowania odpadów biodegradowalnych na składowiskach odpadów	Tak, takie zadania ujęto i są realizowane Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane Nie, takich zadań nie ujęto
Selektywna zbiórka i zagospodarowanie odpadów opakowaniowych	Tak, takie zadania ujęto i są realizowane Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane Nie, takich zadań nie ujęto
Selektywna zbiórka i zagospodarowanie odpadów po sprzęcie elektrycznym i elektronicznym	Tak, takie zadania ujęto i są realizowane Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane Nie, takich zadań nie ujęto
Selektywna zbiórka i zagospodarowywanie odpadów niebezpiecznych, powstających na terenie gminy	Tak, takie zadania ujęto i są realizowane Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane Nie, takich zadań nie ujęto
Problemy gminy z realizacją gpgg	Dowolne
Uwagi: - wypełniający ankietę mogli dopisać własne uwagi i spostrzeżenia po każdym kolejnym pytaniu, - gminy, które uchwaliły gpgg przed 2005 rokiem, zostały poproszone o przedstawienie planowanych w gpgg i faktycznie osiągniętych w 2005 wielkości — dla pytań 5–10, - w przypadku miast na prawach powiatu, zagadnienia ujęte w ankiecie dotyczyły jedynie realizacji zadań gminnych.	

2.2. Wyniki badań

Przed rozpoczęciem ankietowania dokonano ogólnego rozeznania, dotyczącego liczby gmin mających uchwalony gpgg. Informacje uzyskano z Urzędu Marszałkowskiego Województwa Śląskiego. Otrzymane dane zestawiono w tablicy 3.

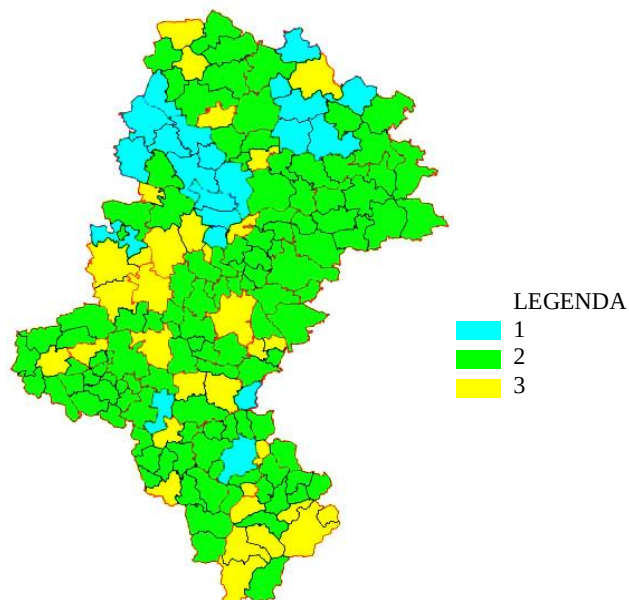
Na rysunku 1 przedstawiono konturową mapę województwa śląskiego, na której zaznaczono gminy, w których przyjęto gpgg w poszczególnych latach.

Biorąc pod uwagę powyższe dane, ankiety rozesłano do 145 gmin (zarówno miejskich, wiejskich, jak i miast na prawach powiatu). Odpowiedzi uzyskano z 87 gmin (60%), nie uzyskano z 58 (40%).

Tablica 3. Zestawienie liczby gmin, w których przyjęto gminny plan gospodarki odpadami

Wielkość	Liczba	Procent
Ogólna liczba gmin w województwie	167	100
Liczba gmin posiadających uchwalony gpgo	145	86,83
Uchwalanie gpgo w poszczególnych latach:		
- razem:	145, w tym:	(100)
- 2004	112	77,93
- 2005	32	22,07

Źródło: Opracowanie własne na podstawie informacji z Urzędu Marszałkowskiego Województwa Śląskiego oraz danych zawartych w Biuletynie Informacji Publicznej (BIP) dostępnym na stronach internetowych gmin.



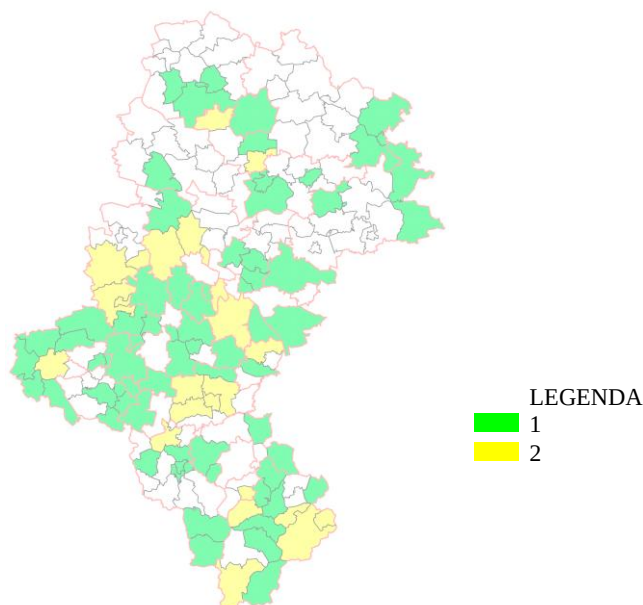
Rys. 1. Ogólne zestawienie gmin, w których przyjęto gpgo (stan na 1 kwietnia 2006 r.): 1 – gminy bez uchwalonego gpgo, 2 – gminy z gpgo uchwalonym w 2004 r., 3 – gminy z gpgo uchwalonym w 2005 r.

Fig. 1. General breakdown of municipalities for whom mpwm was passed (state on April 1st, 2006): 1 – municipalities without mpwm passed, 2 – municipalities with mpwm, which passed their resolutions in 2004, 3 – municipalities with mpwm who passed their resolutions in 2005

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Marszałkowskiego Województwa Śląskiego oraz danych zawartych w BIP dostępnym na stronach internetowych gmin. Wykorzystano mapę podziału administracyjnego, pobraną z Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Katowicach²⁾.

Na rysunku 2 przedstawiono konturową mapę województwa śląskiego zawierającą zestawienie gmin, od których uzyskano wypełnione ankiety, z podaniem roku uchwalenia gpgo.

²⁾ <http://www.wodgik.katowice.pl/>



Rys. 2. Zestawienie gmin, od których uzyskano wypełnione ankiety dotyczące gpgg: 1 – gminy z gpgg uchwalonym w 2004 r., 2 – gminy z gpgg uchwalonym w 2005 r.

Fig. 2. Breakdown of municipalities from whom fulfilled poll questionnaires concerning mpwm were retrieved: 1 – municipalities with mpwm who passed their resolutions in 2004, 2 – municipalities with mpwm who passed their resolutions in 2005

Źródło: Opracowanie własne. Wykorzystano mapę podziału administracyjnego, pobraną z Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Katowicach.

Wyniki przeprowadzonej ankiety zamieszczono w tablicy 4. Interesująco przedstawiają się w niej dane na temat trudności we wdrażaniu zapisów gpgg. Należy podkreślić, że ankieta była sporządzona w taki sposób, aby samorządy lokalne mogły samodzielnie określić problemy, które są najważniejsze podczas realizacji zapisów gpgg.

Nie przedstawiono w niej bowiem konkretnych przykładów takowych, co miało na celu uwzględnienie wszystkich możliwych przypadków i zapewnienie, że wypełniający ankietę nie będą sugerowali się gotowymi sformułowaniami.

Zdaniem autorki, oceniając dane, nie należy sugerować się stosunkowo niewielką liczbą ankiet, w których wymieniono napotykanne problemy – 55 ankiet, co daje 63,22% nadesłanych. O trudnościach w realizacji zapisów planów gospodarki odpadami świadczy fakt, że praktycznie w przypadku każdej badanej kategorii zadań liczba odpowiedzi *Takie zadania ujęto, ale nie są realizowane* jest znacząca: od 9,20% w przypadku zadań polegających na zorganizowaniu systemu selektywnej zbiórki odpadów komunalnych do 55,17% dla zadań polegających na zorganizowaniu Gminny Punkt Zbiórki Odpadów Niebezpiecznych (GPZON). Należy podkreślić, że wypełniający ankiety stosunkowo rzadko wskazywali przyczyny takiego stanu rzeczy.

Tablica 4. Wyniki ankiety dotyczącej realizacji gpgo

Wyszczególnienie	Liczba	Procent
Ogólna liczba rozesłanych ankiet	145	
Liczba otrzymanych wypełnionych ankiet	87	60
Uchwalanie gpgo w poszczególnych latach:		
- razem:	87	100, w tym:
- 2004	66	75,86
- 2005	21	24,14
Przystąpienie do sporządzenia sprawozdania z realizacji gpgo:		
- Tak, sprawozdanie jest w końcowym etapie	2	2,3
- Tak, sprawozdanie jest w czasie przygotowania	13	14,94
- Nie przystąpiono do sporządzania sprawozdania	47	54,02
- Brak danych	25	28,74
Realizacja wybranych zadań ujętych w wojewódzkim planie gospodarki odpadami dla województwa śląskiego:		
- Działania wykonywane w celu edukacji mieszkańców w zakresie gospodarowania odpadami:		
o Tak, takie zadania ujęto i są realizowane	72	82,76
o Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane	13	14,94
o Nie, takich zadań nie ujęto	2	2,30
o Brak danych	0	0,00
- Inwentaryzacja i opracowanie harmonogramu usuwania azbestu:		
o Tak, takie zadania ujęto i są realizowane	54	62,07
o Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane	23	26,44
o Nie, takich zadań nie ujęto	10	11,49
o Brak danych	0	0,00
Odsetek mieszkańców gminy objętych systemem odbioru odpadów komunalnych:		
- Tak, wszyscy	51	58,62
- Część mieszkańców jest objęta takim systemem	34	39,08
- Na terenie gminy nie istnieje zorganizowany system odbioru odpadów komunalnych	1	1,15
- Brak danych	1	1,15
Odsetek mieszkańców gminy, którzy zawarli umowę na odbiór odpadów komunalnych:		
- mniej niż 50%	6	6,90
- 51–65%	7	8,05
- 66–80%	17	19,54
- 8–100%	54	62,07
- Brak danych	3	3,45
System selektywnej zbiórki odpadów komunalnych:		
- Tak, takie zadania ujęto i są realizowane	79	90,80
- Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane	8	9,20
- Nie, takich zadań nie ujęto	0	0,00
- Brak danych	0	0,00
Utworzenie gminnego punktu zbiórki odpadów niebezpiecznych (GPZON)		
- Tak, takie zadania ujęto i są realizowane	22	25,29
- Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane	48	55,17
- Nie, takich zadań nie ujęto	15	17,24
- Brak danych	2	2,30
Ograniczenie składowania odpadów biodegradowalnych na składowiskach odpadów:		
- Tak, takie zadania ujęto i są realizowane	34	39,08
- Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane	42	48,28
- Nie, takich zadań nie ujęto	9	10,34
- Brak danych	2	2,30
Selektywna zbiórka i zagospodarowanie odpadów opakowaniowych:		
- Tak, takie zadania ujęto i są realizowane	66	75,86
- Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane	17	19,54
- Nie, takich zadań nie ujęto	4	4,60
- Brak danych	0	0,00
Selektywna zbiórka i zagospodarowanie odpadów po sprzęcie elektrycznym i elektronicznym:		
- Tak, takie zadania ujęto i są realizowane	25	28,74
- Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane	43	49,43
- Nie, takich zadań nie ujęto	19	21,84
- Brak danych	0	0,00
Selektywna zbiórka i zagospodarowywanie odpadów niebezpiecznych, powstających na terenie gminy:		
- Tak, takie zadania ujęto i są realizowane	40	45,98
- Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane	39	44,83
- Nie, takich zadań nie ujęto	6	6,90
- Brak danych	2	2,30

W tablicy 5 wyszczególniono problemy wymienione w przesłanych ankietach z uwzględnieniem częstotliwości ich wskazywania.

Tablica 5. Wymienione w ankietach problemy napotykane podczas realizacji gpgo

Zagadnienie	Liczba	Procent
Ankiety zawierające informacje o problemach	55	63,22
Ankiety niezawierające informacji o problemach	32	36,78

Wymieniane problemy:	Liczba	% nadesłanych	% ogółem
Brak środków finansowych na realizację zadań	39	70,91	44,83
Niska świadomość ekologiczna mieszkańców	19	34,55	21,84
Zbyt częste zmiany przepisów dotyczących gospodarowania odpadami	5	9,09	5,75
Zapewnienie wymaganego stopnia ograniczenia składowania odpadów biodegradowalnych na składowiskach odpadów	4	7,27	4,60
Mieszkańcy uchylają się od podpisania umowy na odbiór odpadów komunalnych	4	7,27	4,60
Powstawanie nielegalnych („dzikich”) wysypisk odpadów	4	7,27	4,60
Skomplikowane i długotrwałe procedury, konieczne w przypadku realizacji niektórych zadań zawartych w gpgo	4	7,27	4,60
Brak jednoznacznych uwarunkowań prawnych	4	7,27	4,60
Ewidencja wszystkich odpadów powstających na terenie gminy	3	5,45	3,45
Zapewnienie bezpieczeństwa w punktach zbiórki odpadów niebezpiecznych	2	3,64	2,30
Pozyskiwanie danych dotyczących faktycznych poziomów odzysku odpadów	2	3,64	2,30
Palenie odpadów komunalnych w paleniskach domowych	2	3,64	2,30
Brak kompostowni w pobliżu gminy	2	3,64	2,30
Właściciele nieruchomości nie składają informacji dotyczących azbestu	2	3,64	2,30
Zapewnienie wymaganego poziomu odzysku dla odpadów opakowaniowych	2	3,64	2,30
Zła sytuacja materialna mieszkańców powoduje zły odbiór społeczny zagadnień związanych z gospodarką odpadami	2	3,64	2,30
Brak wiedzy przedsiębiorstw na temat gospodarki odpadami	2	3,64	2,30
Wysokie koszty likwidacji „dzikich” wysypisk	1	1,82	1,15
Przejęcie przez gminy obowiązków w zakresie zbierania i odbierania odpadów komunalnych wymaga przeprowadzenia referendum	1	1,82	1,15
Zapewnienie strumienia odpadów wystarczającego do zapewnienia rentowności planowanych przedsięwzięć	1	1,82	1,15
Słaby przepływ informacji dotyczących gospodarki odpadami na szczeblu ogólnowojeńskim	1	1,82	1,15
Brak stacji przeładunkowych odpadów niebezpiecznych (SPON)	1	1,82	1,15
Duża powierzchnia niezrekultywowanych obszarów, na których są deponowane odpady	1	1,82	1,15

Interesujący materiał do analizy stanowiły uwagi uzupełniające poszczególne pytania. Uwagi przedstawiono w przypadku 61 przesłanych ankiet (70,11%). Szczególnie często były to informacje dotyczące zagadnień związanych z odpadami niebezpiecznymi, na przykład stopnia zaawansowania prac związanych z inwentaryzacją i harmonogramem usuwania azbestu, organizacją działania GPZON, wskazaniem sposobu zbierania odpadów niebezpiecznych w gminie, w sytuacji, gdy GPZON jeszcze nie funkcjonuje. W kilku przypadkach były to informacje dotyczące funkcjonowania systemu selektywnej zbiórki odpadów, na przykład że sprawdził się i że jest akceptowany przez mieszkańców, realizacji przedsięwzięć, na przykład budowa kompostowni oraz egzekwowania od właścicieli nieruchomości obowiązku legalnego pozbywania się odpadów. Przykładowo, wskazywano na przygotowanie

ewidencji już zawartych umów, prowadzenie regularnych kontroli, informowano, że od podpisania umów uchylają się osoby posiadające domki letniskowe. Niekiedy treść uwag budziła niepokój, na przykład w jednej z ankiet podano, że praktycznie wszystkie zadania ujęte w gpgo *będą realizowane w późniejszym terminie*.

WNIOSKI

Analizując przesłane ankiety, jak również plany gospodarki odpadami, dostępne na stronach internetowych samorządów lokalnych, można łatwo dojść do wniosku, że o ile plany są przygotowywane w sposób poprawny i przewidują realizację niezbędnych przedsięwzięć, o tyle wykonywanie zadań ujętych w planach w wielu przypadkach jest problematyczne.

Potwierdzeniem tej tezy był fakt znacznie rzadszego określania w ankiecie odpowiedzi *Nie, takich zadań nie ujęto* (od 0 do 21,84%) niż *Tak, takie zadania ujęto, ale nie są realizowane* (od 9,20 do 55,17%). Nie udało się wskazać zadania, które we wszystkich ankietowanych gminach byłoby realizowane.

Na uwagę zasługuje duże zróżnicowanie sposobu realizacji założeń gpgo. Warto podkreślić, że wysoki poziom systemu gospodarowania odpadami komunalnymi można było zaobserwować zarówno w przypadku niewielkich gmin, jak i dużych miast (na prawach powiatu). Mimo stosunkowo dużej liczby wskazań na niską świadomość ekologiczną mieszkańców, istnieje wiele pozytywnych przykładów współpracy mieszkańców z samorządem gminnym – selektywna zbiórka odpadów z gospodarstw domowych nie byłaby możliwa bez takiej współpracy.

Rzadziej niż oczekiwano ankietowani wskazywali na brak środków finansowych jako przyczynę problemów we wdrażaniu gpgo, jednak aspektu ekonomicznego omawianych zagadnień lekceważyć nie można. Należy dążyć do tego, aby system gospodarki odpadami w gminach w jak największym stopniu był samofinansujący, gdyż w wielu przypadkach obciążenie mieszkańców kosztami jego funkcjonowania może spowodować brak akceptacji społecznej – w dwóch przypadkach wskazano, że niskie dochody ludności powodują zły odbiór prób wdrażania systemu gospodarki odpadami w gminie. Aby w większym stopniu skłonić społeczeństwo do akceptacji wzrostu wydatków przeznaczonych na właściwe zagospodarowanie odpadów komunalnych, należałoby podjąć szerokie działania edukacyjne w celu zwiększenia świadomości ekologicznej poszczególnych grup mieszkańców, na przykład dzieci i młodzież, gospodynie domowe, pracowników różnych sektorów, rolników itp. Efektów takich działań nie należy jednak oczekiwać zbyt szybko, gdyż zmiany mentalności zachodzą powoli.

Należy podkreślić, że mimo stosunkowo niewielu sygnałów ze strony ankietowanych, wskazujących, że częste zmiany prawa, ogólna niespójność przepisów o odpadach i znaczny stopień skomplikowania wymaganych procedur, utrudniają prowadzenie gospodarki odpadami w gminie, jest to dość poważny problem. Uproszczenie, a także ujednolicenie przepisów i nadanie im największej możliwej spójności, z pewnością ułatwiłoby realizację założeń gpgo i zagospodarowywanie odpadów komunalnych zgodne z zasadą zrównoważonego rozwoju.

Literatura

1. Bukowska J.E. (red.) (2005): *Zadania organów administracji w zakresie ochrony środowiska*. Białystok, Wydaw. Ekonomia i Środowisko.
2. Górski M. (2005): *Gospodarowanie odpadami w świetle prawa wspólnotowego i polskiego prawa wewnętrznego*. Poznań, Wydaw. Futura.
3. Lemański J.F., Zabawa S. (red.) (2006): *Zarządzanie gospodarką odpadami — gospodarowanie odpadami w świetle obowiązującego prawa*. Poznań, Wydaw. Futura.
4. Plan gospodarki odpadami dla województwa śląskiego, przyjęty uchwałą Sejmiku Województwa Śląskiego z dnia 25 sierpnia 2003 r.
5. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. Nr 62 poz. 627 z późniejszymi zmianami).
6. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (tekst jednolity – Dz. U. z 2006 r. Nr 129 poz. 302) (Dz. U. Nr 62 poz. 628 z późniejszymi zmianami).
7. Ustawa z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (tekst jednolity – Dz. U. z 2001 r. Nr 142 poz. 1591 z późniejszymi zmianami).
8. Ustawa z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (tekst jednolity – Dz. U. z 2005 r. Nr 236 poz. 2008 z późniejszymi zmianami).

Recenzent: doc. dr hab. inż. Barbara Białecka

Adam Szade, Mariusz Szot

TECHNICZNE METODY KONTROLI PODSTAWOWYCH OBIEKTÓW ZAKŁADU GÓRNICZEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane techniki i urządzenia pomiarowe wspomagające prace geodezyjne prowadzone na podstawowych obiektach zakładów górniczych. Zaproponowane rozwiązania zostały opracowane w Głównym Instytucie Górnictwa i są obecnie stosowane w górnictwie. Przedstawiono także specjalistyczne urządzenia pomiarowe, w tym laserowe czujniki, wskaźniki i sondy stosowane w nowoczesnych pomiarach i kontroli urządzeń wyciągowych szypów górniczych i innych obiektów zakładów górniczych.

Technical methods of control of essential mine objects

Abstract

In this paper, chosen techniques and measuring devices were presented supporting geodetic works for essential mine objects. Proposed solutions were developed in Central Mining Institute and are presently applied in mining. Specialist measuring devices were also presented including laser sensors, indicators and probes used in modern measurements and control of hoisting devices of mine shafts and other mine objects.

WPROWADZENIE

Działalność górnicza ma istotny wpływ na pracę podstawowych obiektów znajdujących się w zakładach górniczych, a także na powierzchnię terenu. Zwiększenie intensywności wydobywania skraca czas niezbędny do kontroli obiektów będących w ruchu ciągłym. Istotne jest więc stosowanie takich technik i sprzętu pomiarowego, aby zapewnić szybkie i dokładne wykonanie pomiarów, bez dezorganizacji pracy.

W ostatnich latach obserwuje się znaczne zmiany i modernizowanie bazy pomiarowej; są wdrażane nowe technologie oraz wprowadzane niekonwencjonalne rozwiązania konstrukcyjne.

Zmiany te są spowodowane między innymi zacieśnianą się współpracą między branżami przemysłowymi i jednostkami naukowymi. Przykładem zmian może być zwiększenie zakresu stosowania urządzeń laserowych w pomiarach geodezyjnych na powierzchni i pod ziemią oraz przyrządów elektronicznych. Lepsze parametry techniczne, dokładność pomiaru, powiększony zasięg pomiarów, zwiększanie pamięci zewnętrznych i wewnętrznych urządzeń rejestrujących, mnogość i dostępność programów użytkowych – to tylko niektóre wdrożenia w ostatnim dziesięcioleciu.

W niniejszym artykule przedstawiono opracowane technologie i stosowany sprzęt na przykładzie pomiarów prostoliniowości torów prowadzenia naczyń wykonywanych w szypach, jak i konstrukcjach wież szypowych.

Wdrożenie konkretnego rozwiązania lub technologii jest podyktowane bezpieczeństwem pracy, dokładnością i ilością wygenerowanych informacji oraz kosztami.

1. ŚRODKI TECHNICZNE STOSOWANE W TECHNICIE POMIAROWEJ

Wdrożenie nowych rozwiązań w miernictwie górniczym i geodezji można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- wdrażanie techniki pomiarowej,
- wdrażanie sposobów pomiarów mierniczych i geodezyjnych.

W poniższych dwóch zestawieniach przedstawiono wybrane i najczęściej stosowane, w ostatnim dziesięcioleciu, przyrządy (tabl. 1) i rodzaje pomiarów, w których znajdują one zastosowanie (tabl. 2).

Tablica 1. Rodzaje przyrządów stosowanych w miernictwie górniczym

Przyrządy	Zastosowanie na powierzchni	Zastosowanie w miernictwie górniczym
GPS	pomiary osnów wysokościowych i sytuacyjnych	orientacja osnów na powierzchni badanie stałości punktów
Dalmierze	pomiary długości boków osnów poziomych	pomiary długości w ciągach kopalnianych i na powierzchni orientacja wysokościowa pomiary deformacji w szybach
Teodolity elektroniczne	pomiary kątów poziomych i pionowych w sieciach sytuacyjnych	pomiary kątów poziomych i pionowych w ciągach kopalnianych
Dalmierze ultradźwiękowe	pomiary długości	pomiary komór i niedostępnych pustek odbiory robót
Girteodolity	pomiary azymutów w osnowach poziomych	orientacja sytuacyjna kopalni pomiary azymutów w ciągach przebitkowych pomiary zdeformowanych szybów kopalnianych
Lasery	tyczenie kierunków poziomych i pionowych sterowanie maszynami np. budowlanymi geometria suwnic sygnalizacja punktów pionowość konstrukcji	tyczenie kierunków stabilizacja osi szybu kontrola prostoliniowości np. ścian pomiary pionowości szybu sterowanie maszynami sygnalizacja punktów
Grawimetry	pomiary wektora przyspieszenia ziemskiego	wykrywanie pustek przemysłowych i zaburzeń geologicznych pomiary zmian naprężeń w górotworze
Skannery laserowe	pomiary inwentaryzacyjne obiektów przemysłowych i zabytkowych	inwentaryzacja komór, szybów, szybików pomiary odkształceń
Interferometry radarowe	inwentaryzacja obiektów na powierzchniach stałych i ruchomych	rejestracja zjawisk osówiskowych próby rejestracji niecek obniżeniowych i granicy wpływu

Tablica 2. Rodzaje prac pomiarowych

Rodzaj pomiaru	Przyrządy
Osnowy poziome	GPS, dalmierze elektroniczne, teodolity elektroniczne, giroteodolity, stacje totalne
Osnowy wysokościowe	niwelatory elektroniczne, dalmierze elektroniczne, GPS, stacje totalne, grawimetry
Osnowy sytuacyjne	tachimetry elektroniczne, stacje totalne
Kompleksowy obiektu	tachimetry elektroniczne, stacje totalne, lasery, giroteodolity
Deformacje powierzchni terenu i wyrobisk górniczych	dalmierze elektroniczne, stacje, lasery, kamery fotogrametryczne, urządzenia telemetryczne

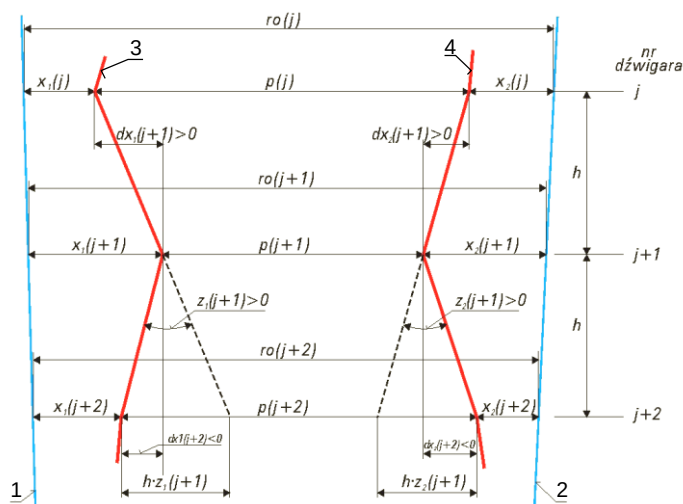
2. SPECJALISTYCZNE URZĄDZENIA POMIAROWE

W Głównym Instytucie Górnictwa od wielu lat są opracowywane i wdrażane do badań przemysłowych specjalistyczne urządzenia pomiarowe, z przeznaczeniem do współpracy z konwencjonalnymi urządzeniami geodezyjnymi. Poniżej przedstawiono takie urządzenia do pomiarów urządzeń wyciągowych i szybów.

2.1. Tortester szybowy

Opracowana w Głównym Instytucie Górnictwa, w latach 90. XX wieku, metoda tortester szybowy i metoda pomiaru toru prowadzenia naczyń wyciągowych, została wdrożona do badań przemysłowych. Przeprowadzono pomiary w ponad 200 wyciągach szybowych, co pozwoliło na jej udoskonalenie.

Pomijając dyskusyjność dopuszczalnych wartości odchyłek montażu zbrojenia szybowego, można zauważyć, że zmontowany ciąg przewodniczy stanowi tor złożony z odcinków prostych (rys. 1) o załamaniach na wysokości dźwigarów.



Rys. 1. Schemat fragmentu zarysów naprzeciwnych ciągów przewodniczych: 1, 2 – linie odniesienia, 3, 4 – linie zarysów ciągów przewodniczych

Fig. 1. Layout of fragments of contours of opposite guide lines: 1, 2 – reference lines, 3, 4 – contour lines of guide lines

Aby obydwa ciągi spełniały założone wymagania (Bura, Kawulok 1994; Rozporządzenie... 2002) odnośnie do przyrostu ich odciętych, musi zachodzić

$$|x(j+1) - x(j)| = |dx(j+1)| \leq dx_{gr} = 3 \text{ mm} \quad (1)$$

Jeżeli w szybie jest mierzony kąt z między sąsiednimi odcinkami prostymi toru, to dla przyjętych założeń kąt ten można określić na podstawie przyrostów dx

$$z(j+1) = \frac{dx(j+1) - dx(j+2)}{h} \quad (2)$$

Sprawdzenie, czy pierwsza nierówność jest spełniona można zastąpić określeniem, czy kąt załamania $z(j+1)$ nie przekracza granicznej wartości. Tę graniczną wartość z_{gr} można obliczyć podstawiając maksymalne dopuszczalne wartości przyrostów, z uwzględnieniem ich znaku, do wzoru

$$z_{gr} = \frac{6}{h}, \text{ rad} \quad (3)$$

Kąty załamania na każdym dźwigarze powinny więc spełniać nierówność

$$|z(j)| \leq z_{gr} \quad (4)$$

Czołowe płaszczyzny naprzeciwległych ciągów prowadniczych powinny być tak usytuowane w szybie, by dopuszczalna wartość ich tolerancji nie przekraczała dopuszczalnych wartości określonej powyżej. Przyrosty odciętych zarysów torów $dx(j+1)$ na dwóch sąsiednich dźwigarach oraz rozstaw między nimi są współzależne.

Ogólnie warunek sprzężenia wyraża wzór

$$x_1(j) + x_2(j) + p(j) = r_o(j) \quad (5)$$

gdzie:

- j – numer kolejny dźwigara,
- x_1, x_2 – odcięte zarysów ciągów,
- $p(j)$ – rozstaw ciągów,
- $r_o(j)$ – lokalny rozstaw linii odniesienia.

Przyjmuje się, że lokalne rozstawy linii odniesienia na sąsiednich dźwigarach są w przybliżeniu równe

$$r_o(j) \approx r_o(j+1) \quad (6)$$

Zapisując warunki sprzężenia dla dwóch sąsiednich dźwigarów w postaci:

$$x_1(j) + x_2(j) + p(j) = r_o(j) \quad (7)$$

$$x_1(j+1) + x_2(j+1) + p(j+1) = r_o(j+1) \quad (8)$$

oraz określając przyrosty przez odcięte zarysu układem równań:

$$\left. \begin{aligned} dx_1(j+1) &= x_1(j+1) - x_1(j) \\ dx_2(j+1) &= x_2(j+1) - x_2(j) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

a także dodając do siebie równania układu, otrzymuje się

$$p(j+1) + dx_1(j+1) + dx_2(j+1) = p(j) \quad (10)$$

Następnie biorąc pod uwagę, że:

$$p(j) = l_s(j) + l_p \quad (11)$$

$$p(j+1) = l_s(j+1) + l_p \quad (12)$$

gdzie:

$p(j)$ – rozstaw ciągów

l_p – rozstaw prowadnic ślizgowych,

$l_s(j)$ – luz sumaryczny,

otrzymuje się warunek sprzężenia przyrostów dx z luzami sumarycznymi

$$l_s(j+1) + dx_1(j+1) + dx_2(j+1) = l_s(j) \quad (13)$$

Jeżeli nierówności ciągów prowadników są opisane za pomocą kątów załamania z , otrzymuje się zależności:

$$\left. \begin{aligned} hz_1(j+1) &= dx_1(j+1) - dx_1(j+2) \\ hz_2(j+1) &= dx_2(j+1) - dx_2(j+2) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

gdzie:

h – pionowy odstęp między dźwigarami,

dx_1, dx_2 – przyrosty zarysów.

Wykorzystując układ równań (14) dla poziomów $j, j+1, j+2$ i zależności (13) otrzymuje się wyrażenie określające sprzężenie kątów załamania naprzeciwległych ciągów prowadników z luzami sumarycznymi, w postaci

$$l_s(j+1) + \frac{h}{2} z_1(j+1) + \frac{h}{2} z_2(j+1) = sls(j+1) \quad (15)$$

gdzie sls – średni luz sumaryczny na poziomach sąsiednich dźwigarów

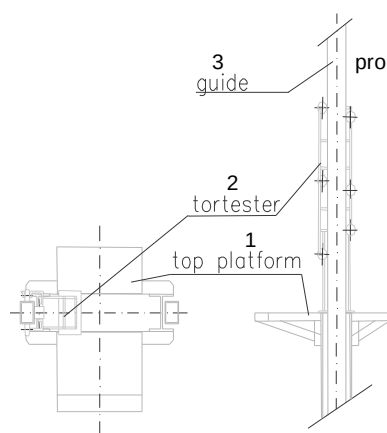
$$sls(j+1) = \frac{1}{2}[l_s(j) + l_s(j+1)] \quad (16)$$

Analiza uzyskanych danych i określanie korekt nierówności i rozstawu ciągów prowadniczych są przeprowadzane w układzie trójkątnym kolejno na poziomach wszystkich dźwigarów w szybie. W badaniach został wykorzystany także układ, którego podstawą jest trójkąt równoboczny o długości boku, będący parametrem układu O_1, O_2 (rys. 2). Wierzchołki O_1, O_2, O_3 odpowiadają zerom osi współrzędnych

y_1, y_2, y_3 . W układzie takim każdy punkt A ma trzy współrzędne y_{1A}, y_{2A}, y_{3A} , których suma jest parametrem układu

$$y_{1A} + y_{2A} + y_{3A} = \overline{O_1 O_2} > 0$$

Aby uzyskać dane do wyznaczenia zarysów torów prowadzenia naczyń i nierówności przewodników, jest wykorzystywany tortester typu TS-2 lub TS-3 (rys. 2, fot. 1). Kontrola torów prowadzenia naczyń w szybach i wyznaczanie koniecznych korekt tych torów polega na automatycznym, jednoczesnym sprawdzeniu nierówności na czołowych i bocznych płaszczyznach obu ciągów przewodników danego naczynia wyciągowego i rozstawu między nimi, dla kolejnego poziomu pomiaru „i” oraz w funkcji sygnałów „D_z” od kolejno mijanych dźwigarów w szybie.



Rys. 2. Schemat tortestera typu TS-3:
1 – platforma, 2 – tortester, 3 – prowadnik

Fig. 2. Layout of track tester type TS-3:
1 – platform, 2 – track tester, 3 – guide



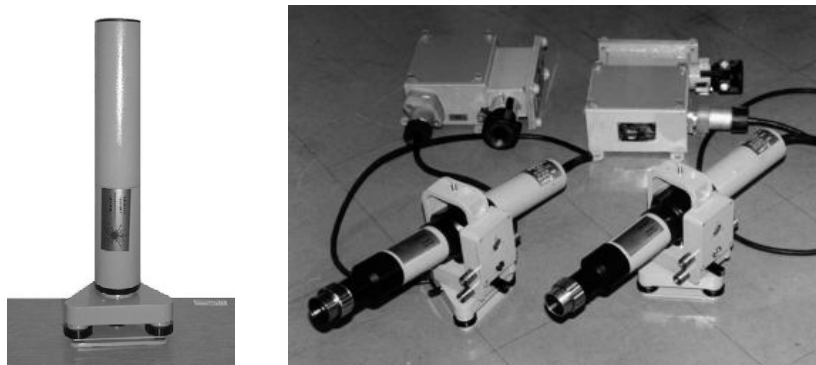
Fot. 1. Tortester typu TS-3

Phot. 1. Track tester
type TS-3

Badanie prostoliniowości ciągów przewodników odbywa się w czasie jazdy pomiarowych naczyń z prędkością rewizyjną (1 m/s). Pomiary są wykonywane automatycznie. Wyniki są następnie przeliczane na składowe rozstawu p_1 i p_2 przewodników oraz kąty z_1 i z_2 załamania między sąsiednimi odcinkami siecznych toru prowadzenia po czołowych płaszczyznach ciągów przewodników 3 i 4 oraz kąty z_3 i z_4 załamania między sąsiednimi odcinkami siecznych toru prowadzenia po bocznych płaszczyznach tych ciągów. Wykonuje się przynajmniej trzy jazdy pomiarowe każdym naczyniem. Wyniki pomiarów są rejestrowane cyfrowo. Dane pomiarowe są analizowane komputerowo w laboratorium, przy użyciu opracowanego do tego celu oprogramowania. Rezultatem są zalecenia dla kopalni, odnośnie do wymaganych korekt przewodników.

2.2. Laserowy monitoring konstrukcji górniczych

Laser górniczy typu GL-3BM i jego późniejsze – doskonalsze wersje – są stosowane już ćwierć wieku, do prowadzenia wyrobisk korytarzowych, prostoliniowego prowadzenia ścian, szybików, upadowych, rektyfikacji przenośników i torów kolejki. Obecnie jest stosowany laser typu EW-3 produkowany w Głównym Instytucie Górnictwa (rys. 2). Jest on o połowę lżejszy od poprzednich, wyjściowa wiązka ma moc 1 mW, przy znacznie mniejszej rozbieżności (10 mm na 150 m). Stanowi on też zasadniczą część pionownika laserowego, stosowanego do kontroli obudów szybowych, rektyfikacji przewodników szybowych czy, jak w latach ubiegłych, do pionowania drążonych szybów (PRG Mysłowice).



Fot. 2. Laser górniczy typu EW-3 (prod. GIG) i pionownik z laserem typu Nd:YAG

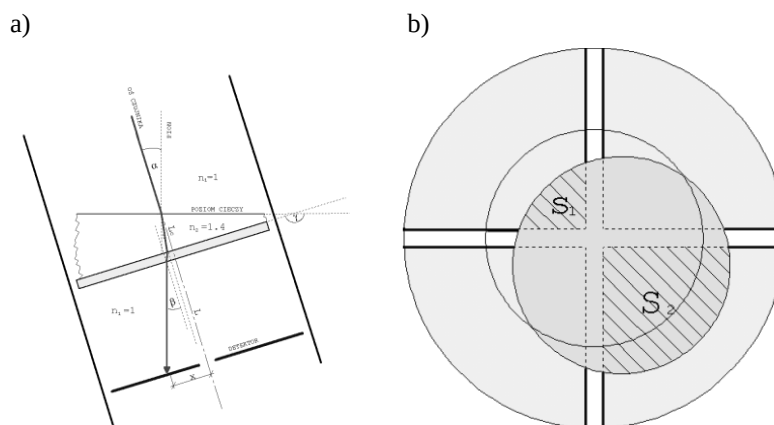
Phot. 2. Type EW-3 mine laser (producer: CMI) and laser plumbing device with Nd:YAG laser type

Obecnie są testowane w kopalniach – opracowane i zbudowane w GIG – wskaźniki kierunku i pionowniki o nowych konstrukcjach (fot. 2 po prawej). Do ich budowy zastosowano laser krystaliczny na granacie itrowo-aluminiowym (YAG) domieszko- wany neodymem i pracujący na drugiej harmonicznej, czyli długości fali odpowiadającej barwie zielonej. Lasery te są pompowane za pomocą lasera półprze- wodnikowego. Oprócz zmniejszenia gabarytów i masy urządzenia uzyskano lepszą propagację wiązki laserowej, szczególnie w wyrobiskach z parą wodną (Szade 2002).

Możliwa jest także ciągła i automatyczna kontrola wież szybowych i obmurzy szybowych z zastosowaniem iskrobezpiecznej wersji laserowych czujników drgań i wychyleń, opracowanych w Głównym Instytucie Górnictwa. W pierwszym przypadku czujnik montowany jest na słupach trzonu wieży szybowej, a w drugim na elemencie pośrednim między strefami ścięcia obmurza szybowego (rys. 3).

Sposób ciągłego pomiaru wychyleń, odkształceń lub drgań konstrukcji jest ściśle związany z budową i zasadą działania laserowego czujnika drgań i wychyleń, który jest opatentowanym rozwiązaniem Głównego Instytutu Górnictwa. Czujnik ten został opatentowany (Szade i in. – Patent P-322933) i na 53. Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technik Brussels EUREKA'2004, nagrodzony złotym medalem.

Laserowy czujnik drgań i wychyleń budowli pozwala na dokładny i ciągły pomiar wielkości wychyleń obiektu, zapewniając automatyzację pomiarów geodezyjnych. Wynik w formie graficznego wydruku komputerowego (lub zapisu na taśmie rejestratora) daje pełny obraz zmian zarówno wartości wychyleń (w milimetrach wychylenia na każdy metr wysokości), ich kierunków (np. względem stron świata), jak i czasu, w którym wystąpiły. Pomiar polega na rejestrowaniu odchylenia wiązki laserowej od jej wyjściowego – pionowego położenia zerowego – po przejściu przez klin cieczowy (rys. 3).



Rys. 3. Zasada działania czujnika wychyleń z klinem cieczowym (a) i przemieszczenie plamki na fotodetektorze (b)
Fig. 3. Principle of operation of tilt sensor with a liquid wage (a) and spot displacement on photodetector (b)

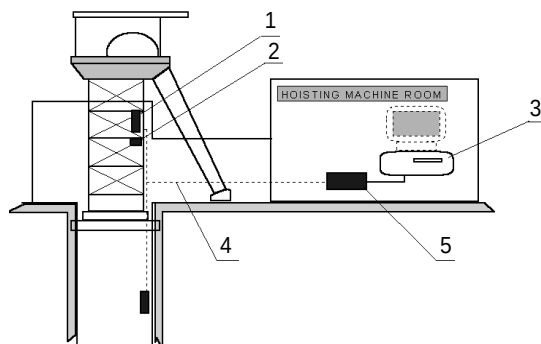
Sygnal z każdej części krzemowego fotodetektora jest funkcją oświetlonej powierzchni. Wzmocniony jest wprowadzany za pomocą karty A/D do komputera, gdzie następuje programowa analiza i rejestracja sygnału (Bochenek i in. 2002b).

Wielomiesięczne analizy wskazań czujników zainstalowanych na wieżach wyciągowych (rys. 4) wskazują niejednokrotnie na wyraźną okresowość zmian wartości wychyleń i kierunków. Najczęściej zmiany długookresowe są związane z porami roku, z czego wynika, że warunki hydrogeologiczne mogą być przyczyną niestabilności położenia wieży. Ich wpływ może się ponadto sumować z odkształceniami górotworu spowodowanymi wpływami dokonanej eksploatacji górniczej.

Na chwilowe wychylenie wieży wpływają też takie czynniki, jak obciążenie eksploatacyjne wieży, czy wygięcie spowodowane czynnikami termicznymi (nasłonecznienie). Pomimo, że są one okresowe w czasie doby i nie mają wpływu na zmianę wypadkowego statycznego wychylenia wieży, nie mogą być bagatelizowane. Są one wyraźne (np. do 2 mm/m dla wież stalowych), a niekorzystne nałożenie wszystkich wskazanych czynników może spowodować przekraczanie kątów granicznych natarcia liny wyciągowej. W związku z powyższym do zdalnej kontroli przesunięcia poziomego pomostu na wysokości kół linowych w kierunku prostopadłym do osi ciągnięcia, zastosowano również system laserowy.

Podobnie, jak na wieży wyciągowej, czujniki wychyleń o dokładności pomiaru 0,01 mm/m mogą być stosowane do kontroli stabilności obmurzy szybowych. I tak

spektakularnym zastosowaniem czujnika była instalacja w strefie ścięcia obudowy, na głębokości 260 m szybu kopalni „Morcinek”. Powstała deformacja była nadzorowana w sposób ciągły. W obu przypadkach rejestratory cyfrowe, monitory i sygnalizatory znajdowały się w sterowniach maszyn wyciągowych, a za pomocą laserowych systemów pomiarowych bezpośrednio było nadzorowane bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń wyciągowych.



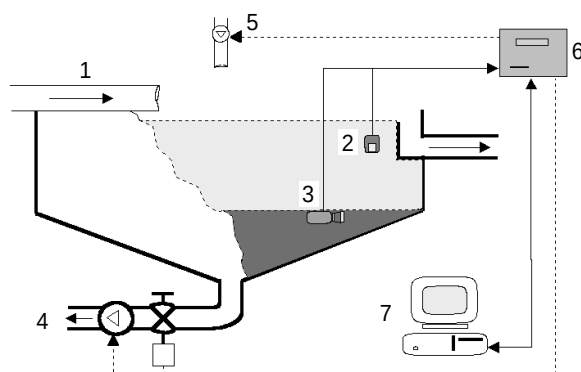
Rys. 4. Monitoring wież i obmurzy szybowych z zastosowaniem laserowych czujników – rozmieszczenie elementów: 1 – czujnik w skrzynce IP-54, 2 – zasilacz iskrobezpieczny, 3 – komputerowa rejestracja i analiza danych, 4 – kabel telefoniczny, 5 – odbiornik z izolacją optoelektryczną

Fig. 4. Monitoring of shafts and shaft supports with the use of laser sensors – layout of elements: 1 – sensor in IP-54 box, 2 – spark-proof power supply, 3 – computer recording and data processing, 4 – telephone cable, 5 – receiver with opto-electrical insulation

Laserowe systemy pomiarowe wyposażone w opisane czujniki służą również do ciągłego i automatycznego monitoringu wielu obiektów na powierzchni (budynki mieszkalne, wieże, kościoły, kominy itp.), które podlegają wpływom eksploatacji górniczej (Bochenek i in. 2002b).

Węglowe zbiorniki retencyjne w kopalniach są elementem systemu transportu węgla na powierzchnię, w których może następować istotna zmiana jakości węgla (sortymentu). Dzieje się tak, gdy w zbiorniku nie utrzymuje się określonego poziomu wypełnienia. Ta minimalna wielkość wypełnienia (tzw. „poduszka”) wpływa również w zasadniczy sposób na trwałość okładziny w dolnej partii zbiornika, zaś ewentualna jej wymiana pociąga za sobą znaczne koszty. Do ciągłej kontroli wypełnienia zbiorników stosowano dotąd urządzenia akustyczne lub radarowe, jednak trudne warunki eksploatacji tych urządzeń w zbiorniku sprawiały, że pewność ich działania była dyskusyjna. Do rozwiązania tego problemu zaproponowano wykorzystanie urządzeń laserowych, będących połączeniem automatycznego laserowego dalmierza paralaktycznego z laserowym czujnikiem drgań i wychyleń.

Sondy będące połączeniem granulometru laserowego z głowicami ultradźwiękowymi zastosowano w badaniach składu ziarnowego górniczych zawieszin wodno-mułowych. Mogą one pracować w automatycznych systemach sterowania „on line” procesami sedymentacji wymuszonej (rys. 5).



Rys. 5. Laserowo-akustyczne sondy w procesach sedymentacji wymuszonej: 1 – nadawa, 2 – sonda optyczna, 3 – sonda ultradźwiękowa, 4 – wylew, 5 – dozowanie flokulanta, 6 – sterownik, 7 – komputer

Fig. 5. Laser-acoustic probes in processes of forced sedimentation: 1 – feed, 2 – optical probe, 3 – ultrasonic probe, 4 – outflow, 5 – flocculent feeding, 6 – controller, 7 – computer

Prace badawcze prowadzone w GIG z zastosowaniem granulometru laserowego własnej konstrukcji pozwoliły na opracowanie metody szybkiej analizy skuteczności różnych flokulantów stosowanych w procesach wodno-mułowych zakładów przerobczych.

Na podstawie wyników badań zostały sformułowane następujące wnioski:

- opisane urządzenia wspomagają konwencjonalne metody i sprzęt geodezyjny,
- urządzenia charakteryzują się dużą dokładnością pomiarową i w istotny sposób skracają czas pomiarów, i poprawiają bezpieczeństwo ich wykonywania,
- uzyskane certyfikaty pozwalają na stosowanie ich w podziemnych zakładach górniczych.

Literatura

1. Bochenek W., Motyka Z., Passia H., Szade A. (2002a): *Laserowy monitoring obiektów na terenach górniczych*. Prace Naukowe GIG, Seria Konferencje nr 41.
2. Bochenek W., Motyka Z., Passia H., Szade A. (2002b): *Reaction of buildings to diversified environmental conditions, including mining and geotectonic, on the basis of continuous monitoring with the use of laser tilt and vibration sensors*. 4th International Conference on Vibration Measurements by Laser Techniques, Ancona. Proc. of SPIE, Vol. 4072, s. 239–244.
3. Bura L., Kawulok St. (1994): *Określanie korekt nierówności i rozstawu torów prowadzenia naczyń wyciągowych w szybie*. Prace Naukowe GIG nr 788.
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26.06.2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i eksploatacji maszyn górniczych w podziemnych zakładach górniczych, wraz z obowiązującymi załącznikami. Dz. U. nr 139 poz. 1169.
5. Szade A. (2002): *Aktualny stan techniki laserowej w górnictwie – możliwości rozwoju i zastosowań*. Przegląd Górniczy nr 7–8.
6. Szade A. i in.: Polski Patent P-322 933 – Sposób oraz urządzenie do ciągłego optoelektronicznego pomiaru wychyleń budowli i konstrukcji inżynierskich.

Recenzent: dr inż. Stanisław Stałęga

Bożena Tracz^{)}*

EWOLUCJA DOBORU WODOMIERZY NA TŁE SPADKU ZUŻYCIA WODY W BUDYNKACH WIELOLOKALOWYCH

Streszczenie

W artykule omówiono zmianę zużycia wody w Bielsku-Białej ogółem oraz w grupie odbiorców tego miasta, wykorzystujących wodę w gospodarstwach domowych w okresie od 1991 do 2005 roku. Wymieniono podstawowe przyczyny, które mają wpływ na zmniejszenie zużycia wody w gospodarstwach domowych. Przeanalizowano zużycie wody w dziesięciu budynkach wielolokalowych w latach 2000–2005. Zaprezentowano sposób dobierania wodomierzy w badanych budynkach. Porównano w nich zużycie wody w odniesieniu do 2000 roku oraz w każdym roku w odniesieniu do poprzedniego roku. Przedstawiono zmiany zużycia wody w grupie odbiorców gospodarstwa domowe Bielska-Białej i spółdzielni mieszkaniowych SM 1 i SM 2. Stwierdzono, że parametry pracy dobieranych urządzeń pomiarowych powinny w jak największym zakresie obejmować przepływy rzeczywiste, a stosowanie wodomierzy o podwyższonej klasie metrologicznej nie zawsze jest wskazane.

Evolution of water meters selection on the background of water consumption in multidwelling buildings

Abstract

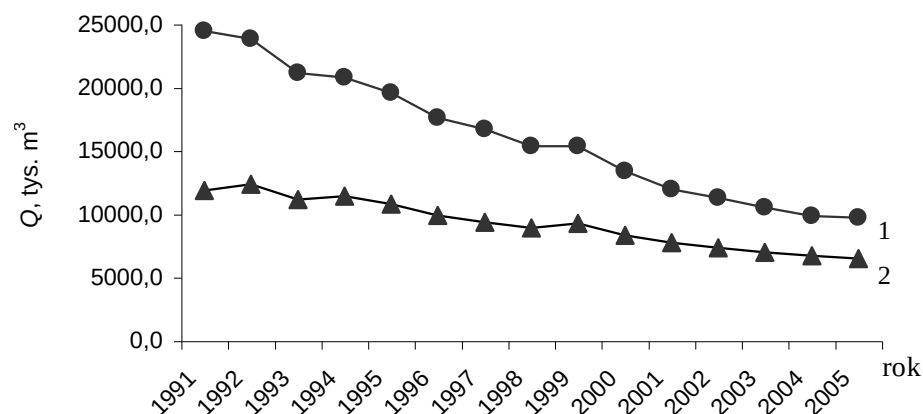
In this paper, the water consumption in Bielsko-Biala was discussed both in total and for the group of consumers in this town using water for their house-keeping in the period of time from 1991 to 2005.

The main reasons were mentioned, which have influence on the decrease of water consumption in households. Water consumption in the years 2000–2005 was analysed for ten multidwelling buildings. The way of water meters selection for buildings under investigation was presented. The water consumption for these buildings was compared by its referring to year 2000, and in every year by referring to the previous year. The changes of water consumption were presented in the group of consumers from households in Bielsko-Biala and housing co-operatives SM 1 and SM 2. It was found that the working parameters of selected measuring devices should include real flows in possibly extended range, and using of water meters with higher metrological class is not always advisable.

WPROWADZENIE

W ostatnich kilkunastu latach w przedsiębiorstwie wodociągowym AQUA S.A. w Bielsku-Białej, tak jak w innych przedsiębiorstwach tego typu w całym kraju, obserwuje się ciągły spadek zużycia wody. W latach 1991–2005 zużycie wody w Bielsku-Białej zmniejszyło się o około 60%, przy czym w gospodarstwach domowych zmniejszyło się o około 46% (rys. 1).

^{*)} AQUA S.A. w Bielsku-Białej. Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach.



Rys. 1. Zużycie wody w Bielsku-Białej w latach 1991–2005: Q – zużycie wody, 1 – ogółem, 2 – w tym w gospodarstwach domowych

Fig. 1. Water consumption in Bielsko-Biala in the years 1991–2005: Q – water consumption, 1 – in total, 2 – in this: in households

Tak duży spadek zużycia wody, w tym w gospodarstwach domowych, jest spowodowany zmianami: gospodarczymi, społecznymi i ekonomicznymi, jakie w ostatnich kilkunastu latach wystąpiły w naszym kraju. Jednym z podstawowych czynników, które wpłynęły na zmianę ilości zużywanej wody przez odbiorców, jest wzrost ceny za jej dostawę. Wzrost ceny spowodował szukanie oszczędności przez odbiorców. Rozpoczęto stosowanie wodooszczędnych technologii i urządzeń. Mycie naczyń w coraz bardziej popularnych zmywarkach, które pobierają na jeden cykl mycia około 20 dm³ wody, czy zamiana kąpeli w wannie na kąpiel pod prysznicem, również wpływają na zmniejszenie zużycia wody w przeciętnym gospodarstwie domowym (Tracz, Ryś, Chopiak 2005).

Zaczęto zwracać coraz większą uwagę na modernizację i uszczelnianie instalacji wodociągowych. W 1991 roku przecieki na instalacjach wodociągowych budynków wielolokalowych wynosiły od 55 do 52 dm³/M·d, co na przykład w budynku 60-mieszkaniowym dawało przepływ rzędu 0,4–1,2 m³/h. Po uszczelnieniu instalacji oraz powszechnym montażu wodomierzy podliczników przecieki na instalacjach wahały się w granicach od 20 do 200 dm³/h. Taka sytuacja spowodowała, że wodomierze główne, które były montowane w budynkach wielolokalowych często były wodomierzami przewymiarowanymi i nie mierzyły prawidłowo ilości wody w nich zużywanej (Koral 2004).

Instalacja wodomierzy podliczników wpłynęła na zmniejszenie zużycia wody przez mieszkańców, ponieważ stworzyła ona warunki do oszczędzania wody i kontroli jej poboru przez samego lokatora (Klugiewicz, Pasela 2005).

Zgodnie z literaturą stosowanie normy PN-B-01706:1992 dla doboru wodomierzy przy znacznym spadku zużycia wody, powodowało na ogół zaniżanie mierzonych jej ilości (Bylka, Szczehowiak 2005; Tuz, Królikowski 2005). Dlatego AQUA S.A., tak jak większość przedsiębiorstw wodociągowych w kraju, rozpoczęła działania zmierzające do ograniczenia strat związanych z błędnym pomiarem tego zużycia.

Podjęto próby doboru wodomierzy w taki sposób, aby ich zakresy pomiarowe obejmowały rzeczywiste krzywe rozbioru wody w poszczególnych budynkach. Początkowo dobierano wodomierze o mniejszych przepływach nominalnych, następnie w niektórych budynkach zaczęto stosować wodomierze o podwyższonej klasie metrologicznej i szerszym zakresie pomiarowym.

2. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

2.1. Opis doświadczenia

Pomiary zużycia wody wykonano w budynkach wielolokalowych, w których woda jest wykorzystywana w gospodarstwach domowych, należących do dwóch bielskich spółdzielni mieszkaniowych, które oznaczono symbolami SM 1 i SM 2.

W celu sprawdzenia, czy podjęte przez przedsiębiorstwo AQUA S.A. działania pozwoliły na ograniczenie strat wody związanych z błędnym pomiarem przewymiarowanych wodomierzy i zilustrowania jak, w miarę zmniejszania się zużycia wody, dobierano wodomierze, sporządzono rysunki (3–12), na których zaznaczono wymianę wodomierzy w poszczególnych budynkach. Wodomierze, które zostały zdemontowane w budynkach w 2003 roku, zostały zbadane na stanowisku legalizacyjnym AQUA S.A. w celu sprawdzenia dokładności pomiaru dla przepływów: maksymalnego q_s , pośredniego q_b , minimalnego q_{min} . Punkty, w których mierzono zużycie wody oraz zaznaczono wymiany wodomierzy, zestawiono w tablicy 1.

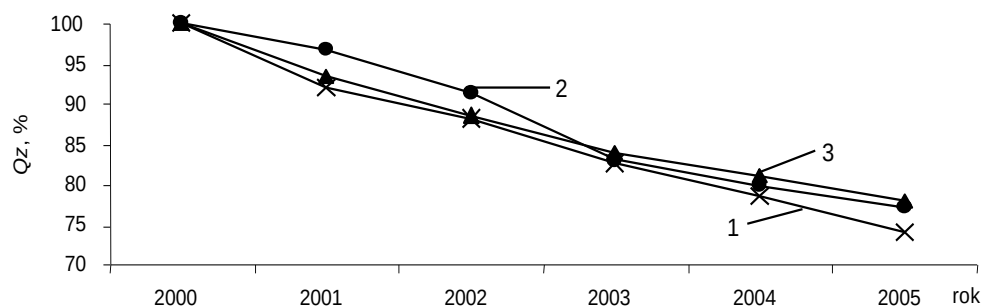
Tablica 1. Budynki, w których dokonano pomiarów zużycia wody i wymieniono wodomierze

Spółdzielnia mieszkaniowa	Oznaczenie badanego budynku	Przepływ średniodobowy Q, m ³ /dobę		Typ/średnica (mm) wodomierza zamontowanego w danym budynku		Przepływ nominalny wodomierza zamontowanego w budynku Q, m ³ /h		Zmiany w zużyciu wody w odniesieniu do 2000 roku %
		2000	2005	2000 styczeń	2005 grudzień	2000 styczeń	2005 grudzień	
SM 1	A7	38,7	29,7	MP / 50	MN/ 40	15	10	(-) 23
SM 1	J8	12,5	9,9	MP / 50	20/kl „C”	15	2,5	(-) 21
SM 1	H4	12,3	10,1	MW / 50	20/kl „C”	15	2,5	(-) 18
SM 1	K1	2,6	4,3	JS / 40	15/kl „C”	10	1,5	(+) 65
SM 1	H6	11,9	8,7	WS / 32	20/kl „C”	6	2,5	(-) 27
SM 2	A13	19,4	15,7	MP / 50	MN/32	15	6	(-) 19
SM 2	A9	32,8	21,3	MP / 50	32/kl „C”	15	5	(-) 35
SM 2	F4	18,9	13,0	JS / 40	25/kl „C”	10	3,5	(-) 31
SM 2	H2	6,4	4,7	WS / 32	20/kl „C”	6	2,5	(-) 27
SM 2	I3	6,2	5,2	WS / 25	20/kl „C”	3,5	2,5	(-) 16

2.2. Analiza zmiany zużycia wody w odniesieniu do 2000 roku

Na rysunku 2 przedstawiono procentową zmianę zużycia wody w odniesieniu do 2000 roku dla Bielska-Białej w grupie gospodarstwa domowe, SM 1 i SM 2. W latach 2000–2005 zużycie wody zmniejszyło się o: 22,2% w Bielsku-Białej, 23% w SM 1

oraz 26% w SM 2. Należy zauważyć, że 99,6% mieszkań spółdzielni SM 1 już w 2000 roku było wyposażonych w indywidualne wodomierze – podliczniki. W SM 2 w 2000 roku wodomierze podliczniki były zamontowane tylko w 86,9% wszystkich mieszkań spółdzielni. W 2004 roku mieszkania SM 2 zostały opomiarowane w 98%. Znacznie większy spadek zużycia wody w SM 2, od zaobserwowanego w grupie odbiorców: gospodarstwa domowe Bielska-Białej i SM 1, może być spowodowany właśnie oszczędzaniem wody w lokalach mieszkalnych przez świadomość opomiarowania indywidualnych mieszkań spółdzielni.



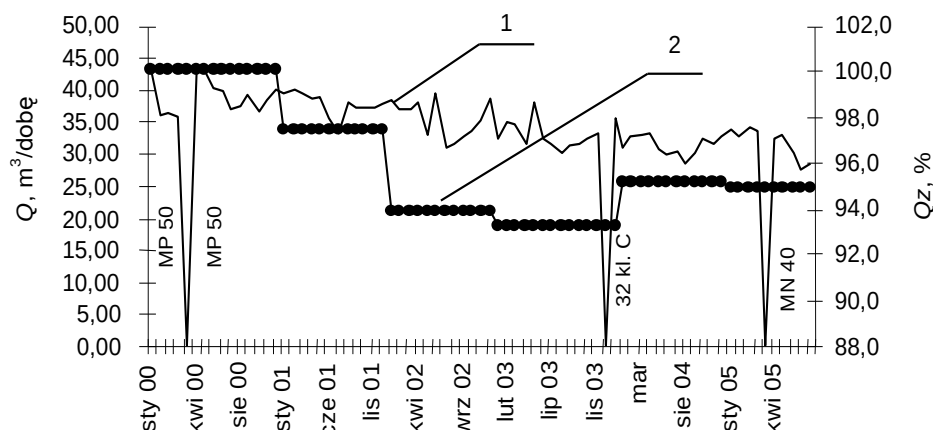
Rys. 2. Zmiana zużycia wody w odniesieniu do 2000 roku w latach 2000–2005: Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody w: 1 – SM 2, 2 – SM 1, 3 – Bielsko-Białej ogółem

Fig. 2. Change of water consumption in the years 2000–2005 in relation to the year 2000: Qz – change in water consumption; water consumption in: 1 – SM 2, 2 – SM 1, 3 – Bielsko-Biala in total

2.3. Analiza zmian zużycia wody w poszczególnych budynkach spółdzielni mieszkaniowych

W budynku oznaczonym symbolem A7 w kwietniu 2000 roku stwierdzono uszkodzenie wodomierza typu MP 15 m³/h (wodomierz nie wskazywał zużycia wody). Uszkodzony wodomierz został wymieniony na nowy (MP 15 m³/h). Przez kolejne lata obserwowano ciągły spadek zużycia wody w odniesieniu do roku poprzedniego, który wynosił odpowiednio 2,6% w 2001 roku, 6,1% w 2002 roku, 6,8% w 2003 roku. W grudniu 2003 roku podjęto decyzję o wymianie wodomierza MP o przepływie nominalnym 15 m³/h na wodomierz o mniejszej średnicy, mniejszym przepływie nominalnym i wyższej klasie metrologicznej. Wymontowany wodomierz MP 15 m³/h sprawdzono na stanowisku legalizacyjnym w zakresie błędów pomiarowych. Przy przepływie minimalnym q_{min} wodomierz nie wskazywał zużycia wody, przy przepływie q_s błąd wynosił -0,4%, a dla przepływu q_t 0%. W miejsce wymontowanego wodomierza MP 15 m³/h zamontowano wodomierz klasy C o średnicy 32 mm i przepływie nominalnym 5 m³/h. Po wymianie nie zaobserwowano, aby zarejestrował on większe zużycie wody w budynku. Jednak udało się zahamować tendencję spadkową zużycia wody w odniesieniu do roku poprzedniego. W 2004 roku pobór wody zmniejszył się o 4,9% w odniesieniu do 2003 roku i o 5,1% w 2005 roku w odniesieniu do 2004 roku. Ponieważ budynek ma 11 kondygnacji, w kwietniu 2005 roku wymontowano wodomierz klasy C o średnicy 32 mm i w jego miejsce zamonto-

wano wodomierz mokrobieżny o średnicy 40 mm i przepływie nominalnym $10 \text{ m}^3/\text{h}$. W odniesieniu do 2000 roku zużycie wody w budynku A7 zmniejszyło się o około 23%.

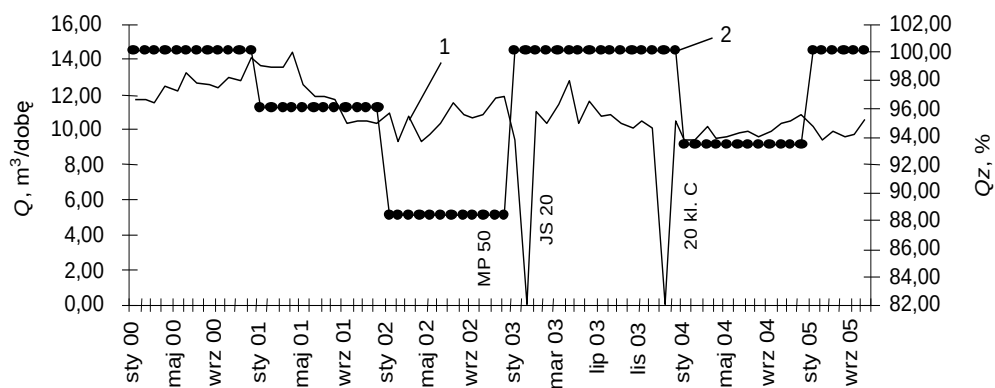


Rys. 3. Zużycie wody w budynku A7 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

Fig. 3. Water consumption for the building A7 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year

W budynku oznaczonym symbolem J8 od stycznia 2000 roku obserwowano ciągły spadek zużycia wody w odniesieniu do roku poprzedniego odpowiednio o: 4% w 2001 roku i 11,7% w 2002 roku. W lutym 2003 roku wymieniono wodomierz typu MP o przepływie nominalnym $15 \text{ m}^3/\text{h}$ na wodomierz typu JS o średnicy 20 mm i przepływie nominalnym $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Po wymianie wodomierza zarejestrowano takie samo zużycie wody, jak w poprzednim roku. Po zmianie średnicy wodomierza w tym budynku podjęto decyzję o zamontowaniu wodomierza o podwyższonej klasie metrologicznej – klasie C i tej samej średnicy. W grudniu 2003 roku wymieniono wodomierz JS o przepływie nominalnym $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$, średnicy 20 mm i klasie metrologicznej B na wodomierz o przepływie nominalnym $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ i klasie metrologicznej C. Zdemontowany wodomierz JS $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ zbadano na stanowisku legalizacyjnym w zakresie błędów pomiarowych. Błędy te wynosiły odpowiednio dla przepływu: $q_p = 0,2\%$, $q_t = -2,2\%$, $q_{\min} = -2,8\%$. Wodomierz w przypadku przepływów q_t i $q_{\min}$ zaniżał wskazania. Pomimo wymiany wodomierza zarejestrowane zużycie wody w budynku zmniejszyło się o około 7% w 2004 roku w odniesieniu do 2003 roku. Zużycie wody w budynku w 2005 roku było takie samo jak w 2004 roku. W odniesieniu do 2000 roku zużycie wody w budynku J8 zmniejszyło się o około 21%.

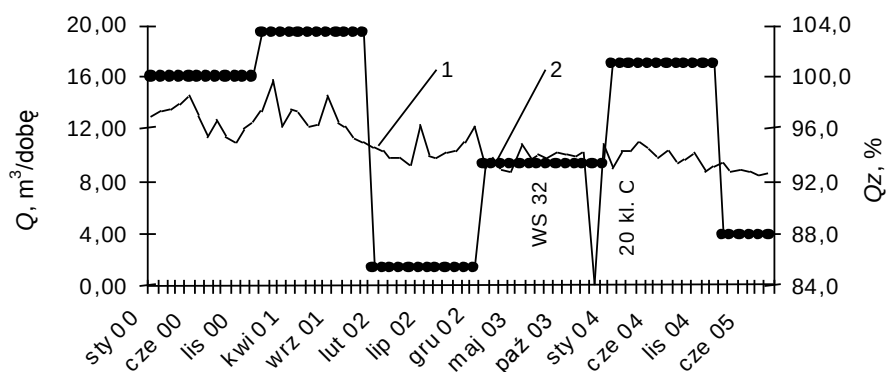
W budynku oznaczonym symbolem H6 w 2001 roku zarejestrowane zużycie wody wzrosło o około 3% w odniesieniu do 2000 roku. W kolejnych latach ulegało zmniejszeniu. W odniesieniu do 2001 roku zużycie wody w 2002 zmniejszyło się o około 18%, a w 2003 roku zarejestrowane przepływy stanowiły około 93%



Rys. 4. Zużycie wody w budynku J8 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

Fig. 4. Water consumption for the building J8 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year

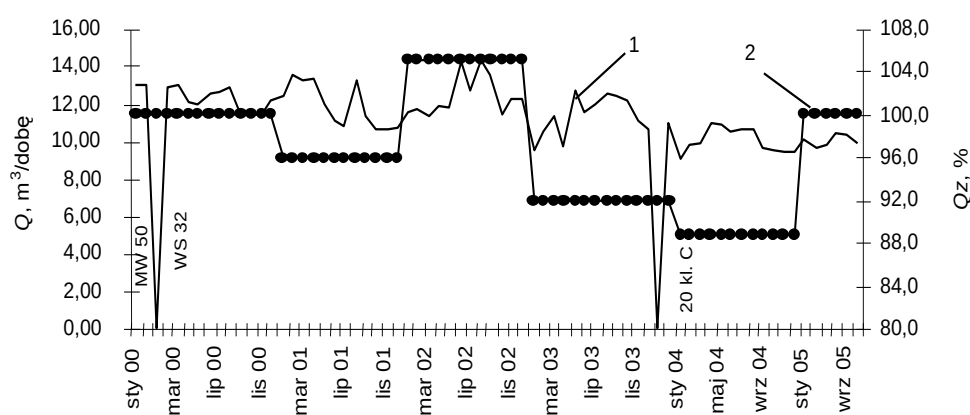
zarejestrowanych przepływów z 2002 roku. W grudniu 2003 roku wymieniono wodomierz typu WS 6 m³/h na wodomierz o średnicy 20 mm, przepływie nominalnym 2,5 m³/h i wyższej klasie metrologicznej. Wodomierz WS 6 m³/h zbadano na stanowisku legalizacyjnym w zakresie dopuszczalnych błędów pomiarowych. Błędy wynosiły odpowiednio dla $q_s = 1,5\%$, $q_t = -3,2\%$, $q_{\min} = -2,8\%$. Wodomierz zaniżał wskazania dla przepływu q_t i $q_{\min}$. Po wymianie, zarejestrowane zużycie wody w budynku było nieznacznie większe, o około 1%, w odniesieniu do 2003 roku, natomiast w 2005 roku było mniejsze, o około 11% w odniesieniu do 2004 roku. W badanym budynku w odniesieniu do 2000 roku zużycie wody zmniejszyło się o około 27%.



Rys. 5. Zużycie wody w budynku H6 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

Fig. 5. Water consumption for the building H6 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year

W budynku H4 w lutym 2000 roku wymieniono wodomierz typu MW o średnicy 50 mm i przepływie nominalnym 15 m³/h na wodomierz WS o średnicy 32 mm i przepływie nominalnym 6 m³/h. W badanym budynku zużycie wody w 2001 roku było o około 4% mniejsze niż w 2000 roku. W 2002 roku wystąpił wzrost zużycia wody w budynku o około 5% w odniesieniu do 2001 roku. Jednak w 2003 roku nastąpił spadek w odniesieniu do 2002 roku o około 8%. Obserwując spadek zużycia wody w budynku w grudniu 2003 roku, wymieniono wodomierz typu WS o przepływie nominalnym 6,0 m³/h na wodomierz o średnicy 20 mm i przepływie nominalnym 2,5 m³/h oraz podwyższonej klasie metrologicznej. Wymiana nie spowodowała zarejestrowania większych przepływów w budynku niż były zarejestrowane w 2003 roku. Zużycie wody w 2004 roku zmniejszyło się o około 12% w odniesieniu do poprzedniego roku, a w 2005 roku zużycie wody utrzymało się na tym samym poziomie co w 2004 roku. Zdemontowany wodomierz typu WS 6,0 m³/h zbadano na stanowisku legalizacyjnym w zakresie błędów pomiarowych. Błędy te wynosiły dla przepływu $q_s = 1,2\%$, $q_t = -2,4\%$, $q_{min} = -2,1\%$. Wodomierz nieznacznie zaniżał wskazania. W odniesieniu do 2000 roku zużycie wody w budynku zmniejszyło się o około 18%.

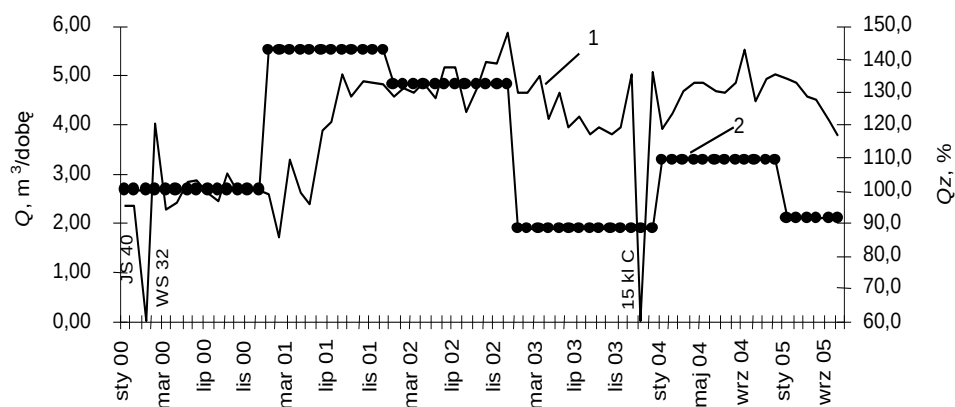


Rys. 6. Zużycie wody w budynku H4 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

Fig. 6. Water consumption for the building H4 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year

W budynku oznaczonym symbolem K1 w lutym 2000 roku wymontowano wodomierz typu JS 10 m³/h i zamontowano wodomierz typu WS o średnicy 32 mm i przepływie nominalnym 6 m³/h. Po wymianie zarejestrowano wzrost zużycia wody. W 2001 roku zużycie wody zwiększyło się o około 42% w stosunku do zużycia z 2000 roku. Średniodobowy przepływ roczny w tym okresie wynosił około 3,7 m³/dobę. W 2002 roku zarejestrowano w budynku zużycie wody o około 32% większe niż w poprzednim roku. Średni dobowy przepływ roczny w 2002 roku wynosił około 4,9 m³/dobę. W 2003 roku zużycie wody w budynku wyniosło tylko 88% zużycia z 2002 roku. Została więc podjęta decyzja o wymianie wodomierza typu WS 6,0 m³/h na wodomierz o średnicy 15 mm, przepływie nominalnym 1,5 m³/h

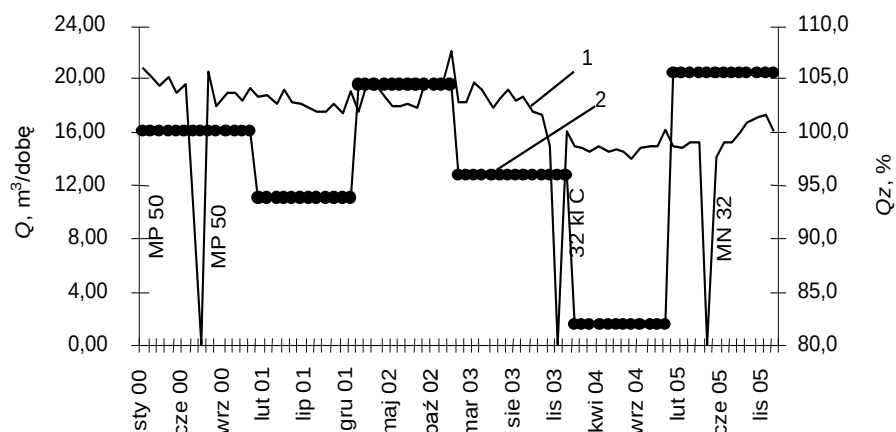
i podwyższonej klasie metrologicznej. W 2004 roku zużycie wody zwiększyło się o około 9% w odniesieniu do 2003 roku. Zużycie wody w 2005 roku stanowiło około 92% zużycia z 2004 roku. Na stanowisku legalizacyjnym zbadano błędy pomiarowe wodomierza typu WS 6 m³/h. Błędy te wynosiły dla przepływów $q_s = 1,3\%$, $q_t = -2,5\%$, $q_{\min} = -2,4\%$. W budynku K1 zużycie wody w odniesieniu do 2000 roku zwiększyło się o około 65%.



Rys. 7. Zużycie wody w budynku K1 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

Fig. 7. Water consumption for the building K1 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year

W budynku A13 w lipcu 2000 roku wymieniono uszkodzony wodomierz typu MP 15 na nowy wodomierz typu MP 15 m³/h. W latach wykonywania badań w budynku tym występował ciągły spadek zużycia wody. W 2001 roku zużycie wody zmniejszyło się o około 7% w porównaniu z 2000 rokiem, w 2002 roku zwiększyło się o około 4% w odniesieniu do 2001 roku, a w 2003 roku zmniejszyło się o około 4% w odniesieniu do 2002 roku. W związku z tym, że zużycie wody w budynku zmniejszało się, w listopadzie 2003 roku, wodomierz typu MP 15 został wymieniony na wodomierz o średnicy 32 mm i przepływie nominalnym 5 m³/h oraz podwyższonej klasie metrologicznej. Po wymianie wodomierz typu MP 15 m³/h zbadano na stanowisku legalizacyjnym w zakresie dopuszczalnych błędów pomiarowych. Błędy te wynosiły dla przepływu $q_s = 4,51\%$, dla $q_t = -4,98\%$, dla $q_{\min}$ wodomierz nie wskazywał zużycia wody. Pomimo, że wcześniej zamontowany w tym budynku wodomierz zaniżał wskazania, a przy $q_{\min}$ nie wskazywał zużycia wody oraz mimo wymiany wodomierza na wodomierz o podwyższonej klasie metrologicznej, nie zaobserwowano zwiększonego zużycia wody w tym obiekcie. W 2004 roku w badanym budynku zużyto tylko 81,9% wody zużytej w 2003 roku. Dlatego w kwietniu 2005 roku wymieniono wodomierz klasy C o przepływie nominalnym 5 m³/h na wodomierz mokrobeżny o średnicy 40 mm i przepływie nominalnym 10 m³/h. Zarejestrowane w 2005 roku zużycie wody w budynku było o około 5% większe niż w roku poprzednim. W odniesieniu do 2000 roku zużycie wody w budynku zmniejszyło się o około 19%.

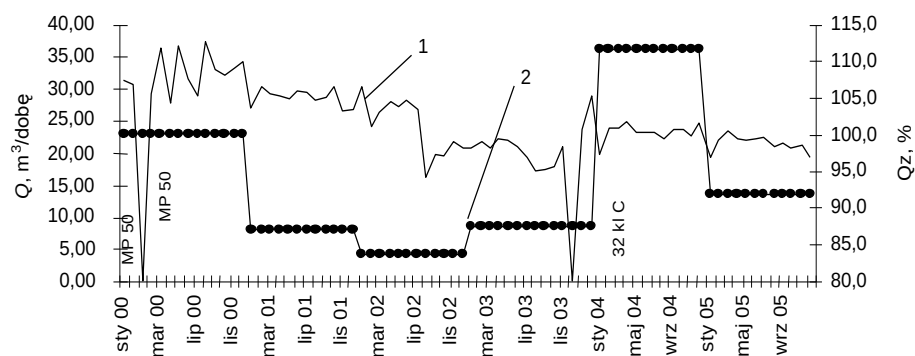


Rys. 8. Zużycie wody w budynku A13 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

Fig. 8. Water consumption for the building A13 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year

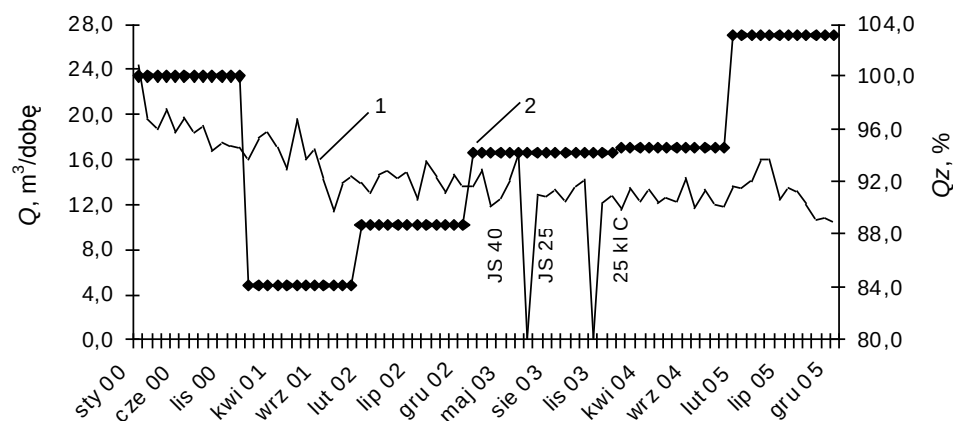
W budynku A9 w lutym 2000 roku wymieniono w ramach legalizacji wodomierz typu MP 50 na wodomierz typu MP 50. W latach 2000–2003 zaobserwowano ciągły spadek rocznych przepływów średniodobowych z $30 \text{ m}^3/\text{dobę}$ do około $20 \text{ m}^3/\text{dobę}$. W 2001 roku zużycie wody zmniejszyło się o około 13% w odniesieniu do 2000 roku, w 2002 roku o 16,5% w odniesieniu do 2001 roku, natomiast w 2003 roku zużycie wody zmniejszyło się o około 13% w porównaniu z 2002 rokiem. W związku z ciągłym zmniejszaniem się zużycia wody, w listopadzie 2003 roku wymieniono wodomierz typu MP 15 m^3/h na wodomierz o średnicy 32 mm, przepływie nominalnym $5 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz podwyższonej klasie metrologicznej. Po wymianie wodomierza zaobserwowano w budynku wzrost zużycia wody w odniesieniu do 2003 roku o około 12%. W 2005 roku zużycie wody w budynku zmniejszyło się o około 8% w odniesieniu do 2004 roku. Wodomierz typu MP 15, który został wymontowany w listopadzie 2003 roku, został sprawdzony na stanowisku legalizacyjnym w zakresie dopuszczalnych błędów pomiarowych. Okazało się, że w przypadku wszystkich badanych przepływów wodomierz nie wskazał zużycia. W odniesieniu do 2000 roku zużycie wody w budynku zmniejszyło się o około 35%.

W budynku F4 w 2001 roku zużycie wody zmniejszyło się o około 16% w odniesieniu do 2000 roku, w 2002 roku o około 11% w odniesieniu do 2001 roku. W roku 2003 dwa razy wymieniono wodomierz. W maju wymieniono wodomierz typu JS $10 \text{ m}^3/\text{h}$ na wodomierz JS o średnicy 25 mm i przepływie nominalnym $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$, a następnie w grudniu na wodomierz o średnicy 25 mm i przepływie nominalnym $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz podwyższonej klasie metrologicznej. W 2003 roku zarejestrowano zmniejszenie zużycia wody w badanym budynku już tylko o około 6% w porównaniu z 2002 rokiem, w 2004 roku zużycie zmniejszyło się o około 5% w odniesieniu do 2003 roku, natomiast w 2005 roku zaobserwowano wzrost zużycia wody o około 3% w odniesieniu do 2004 roku. W porównaniu z 2000 rokiem zużycie wody w budynku zmniejszyło się o około 31%.



Rys. 9. Zużycie wody w budynku A9 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

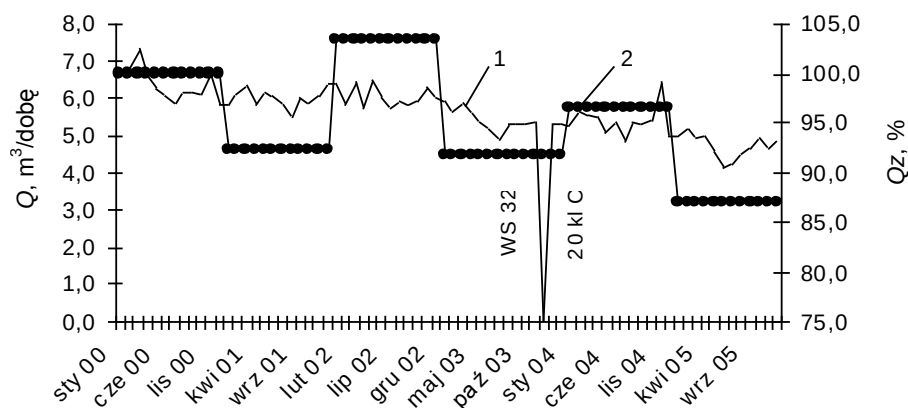
Fig. 9. Water consumption for the building A9 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year



Rys. 10. Zużycie wody w budynku F4 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

Fig. 10. Water consumption for the building F4 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year

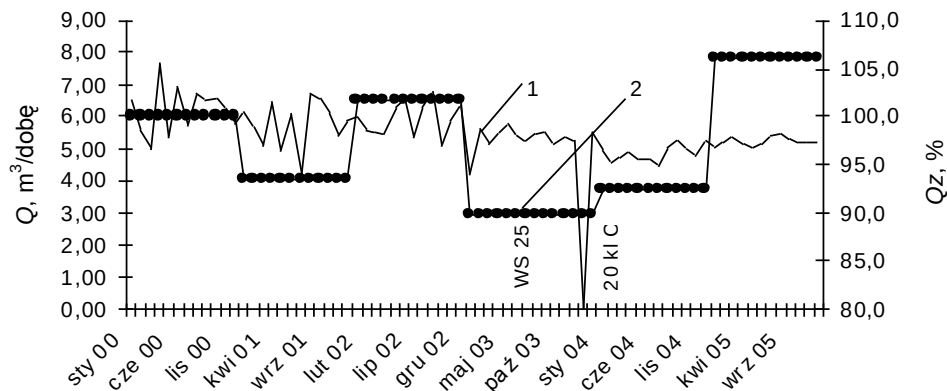
W budynku H2 w 2001 roku zużycie wody zmniejszyło się o około 8% w odniesieniu do 2000 roku. W 2002 roku zużycie wody zwiększyło się o około 3% w odniesieniu do 2001 roku, w 2003 roku zużycie wody zmniejszyło się o około 8% w porównaniu z 2002 rokiem. Ponieważ roczne przepływy średniodobowe zmniejszały się w grudniu 2003 roku wymieniono wodomierz typu WS 6 m³/h i średnicy 32 mm na wodomierz o średnicy 20 mm, przepływie nominalnym 2,5 m³/h oraz o podwyższonej klasie metrologicznej. Zużycie wody w 2004 roku wynosiło około 96% zużycia z 2003 roku, natomiast w 2005 roku wynosiło tylko około 87% zużycia z 2004 roku. Wymontowany wodomierz typu WS 32 został sprawdzony na stanowisku legalizacyjnym w zakresie błędów pomiarowych. Błędy te wyniosły dla przepływu $q_s = 3,1\%$, $q_t = -0,6\%$, $q_{\min} = -0,1\%$. W odniesieniu do 2000 roku zużycie wody w budynku zmniejszyło się o około 27%.



Rys. 11. Zużycie wody w budynku H2 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

Fig. 11. Water consumption for the building H2 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year

W budynku I3 zużycie wody w 2001 roku było o około 6% mniejsze niż w 2000 roku, w 2002 roku było o około 2% większe niż zużycie w roku poprzednim, natomiast w 2003 roku zmniejszyło się o około 10% w stosunku do zużycia z 2002 roku. W grudniu 2003 roku wymieniono wodomierz typu WS 3,5 m³/h na wodomierz o średnicy 20 mm, przepływie nominalnym 2,5 m³/h oraz podwyższonej klasie metrologicznej. Zużycie wody w 2004 roku zmniejszyło się o około 7% w odniesieniu do roku poprzedniego, natomiast w 2005 roku zużycie wody zwiększyło się o około 6% w porównaniu z 2004 rokiem. Zdemontowany wodomierz typu WS 3,5 m³/h zbadano na stanowisku legalizacyjnym w zakresie dopuszczalnych błędów pomiarowych. Błędy te wynosiły dla przepływu $q_s = 0,6\%$, $q_t = 0\%$, $q_{\min} = 0,6\%$. W odniesieniu do 2000 roku zużycie wody w budynku zmniejszyło się o około 16%.

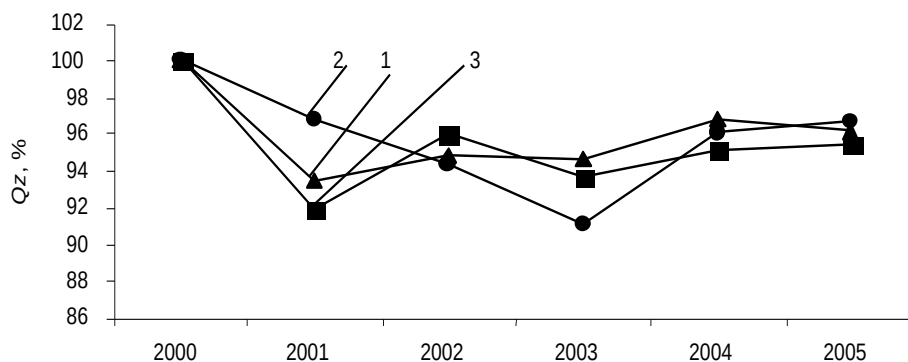


Rys. 12. Zużycie wody w budynku I3 w latach 2000–2005: Q – zużycie wody, Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody: 1 – średnie dobowe, 2 – średnie roczne w odniesieniu do poprzedniego roku

Fig. 12. Water consumption for the building I3 in the years 2000–2005: Q – water consumption, Qz – change in water consumption; water consumption: 1 – average daily, 2 – average yearly in relation to the previous year

2.4. Analiza zmiany zużycia wody w odniesieniu do poprzedniego roku

Na rysunku 13 przedstawiono procentową zmianę zużycia wody w odniesieniu do poprzedniego roku dla spółdzielni mieszkaniowych SM 1 i SM 2 oraz grupy gospodarstw domowych w Bielsku-Białej. Można zauważyć, że od 2003 roku spadek zużycia wody ulegał stopniowemu wyhamowaniu. Co prawda nie obserwowano wzrostu zużycia wody większego niż został zarejestrowany w latach poprzednich, jednak można zaobserwować ograniczenie tendencji spadkowej w zużyciu wody.



Rys. 13. Zużycie wody w odniesieniu do poprzedniego roku w latach 2000–2005: Qz – zmiana zużycia wody; zużycie wody w: 1 – Bielsku-Białej ogółem, 2 – SM 1, 3 – SM 2

Fig. 13. Water consumption in relation to the previous year for years 2000–2005: Qz – change in water consumption; water consumption in: 1 – Bielsko-Biala total, 2 – SM 1, 3 – SM 2

PODSUMOWANIE

W badanych budynkach wielolokalowych spółdzielni mieszkaniowych, w latach 2000–2005 stwierdzono ciągle zmniejszanie się zużycia wody. W odniesieniu do 2000 roku jedynie w budynku K1 zarejestrowano zwiększone zużycie wody. Po wymianie w tym budynku wodomierza typu JS 10 m³/h na wodomierz typu WS 6 m³/h wzrost ten był znaczący. Należy więc przypuszczać, że wodomierz typu JS 10 m³/h był wodomierzem uszkodzonym i przewymiarowanym, nie mierzył przepływów minimalnych, a pozostałe przepływy mierzył z dużymi błędami.

W badanych budynkach w większości przypadków po zamontowaniu wodomierza o mniejszej średnicy i mniejszym przepływie nominalnym można było zarejestrować ograniczenie tendencji spadku zużycia wody. Tylko w budynkach oznaczonych symbolami H4 i A13 po wymianie wodomierzy na wodomierze o mniejszej średnicy i jednocześnie podwyższonej klasie metrologicznej zaobserwowano dalszy znaczący spadek zużycia wody. Taka sytuacja mogła być spowodowana uszkodzeniem „nowych” wodomierzy i wodomierze te zachowywały się inaczej niż przewidywał to ich producent w karcie urządzenia.

We wszystkich dziesięciu budynkach na przełomie listopada i grudnia 2003 roku wymieniono wodomierze na dokładniejsze o podwyższonej klasie metrologicznej,

jednak tylko w budynkach H6, K1, A9 zarejestrowano przepływy, które nieznacznie (około 10%) przekroczyły przepływy zarejestrowane przed wymianą na wodomierz klasy C. Z powyższych przykładów wynika, że najważniejsze jest dobranie urządzenia pomiarowego o takich parametrach jego pracy, aby w jak największym zakresie obejmowały rzeczywiste przepływy, występujące w budynkach. Po przeanalizowaniu przedstawionych przykładów można stwierdzić, że wymiana wodomierzy na urządzenia o podwyższonej klasie metrologicznej nie zawsze jest wskazana. Zgodnie z literaturą najpierw powinno się dobrać wodomierz o odpowiedniej średnicy, a w następnej kolejności podwyższać jego klasę metrologiczną (Koral 2004).

Podjęmowane w przedsiębiorstwie AQUA S.A. decyzje związane z wymianą wodomierzy przyczyniły się do ograniczenia jednej z przyczyn spadku zużycia wody w badanych budynkach – strat pozornych związanych z pomiarem ilości dostarczanej do odbiorcy wody. Działania te w znaczący sposób przyczyniły się do wyhamowania w ostatnim okresie tendencji spadkowej zużycia wody w grupie odbiorców: gospodarstwa domowe w Bielsku-Białej.

Literatura

1. Bylka H., Szczechowiak E. (2005): *Zarządzanie wodomierzami*. Wodociągi–Kanalizacja nr 2 (11).
2. Klugiewicz J., Pasela R. (2005): *Badania wpływu wodomierzy mieszkaniowych na zużycie wody w budynkach wielorodzinnych na osiedlu Wyżyny w Bydgoszczy*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 1.
3. Koral W. (2004): *Wodomierz w przedsiębiorstwie wodociągowym*. Wodociągi–Kanalizacja nr 2 (11).
4. Tracz B., Ryś M., Chopiak J. (2005): *Analiza przyczyn spadku konsumpcji wody w Bielsku-Białej*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Problemy zaopatrzenia w wodę i oczyszczania ścieków w warunkach gospodarki rynkowej i wymogów Unii Europejskiej, Szczyrk, październik 2005 r. Bielsko-Biała, AQUA S.A.
5. Tuz P.K., Królikowski A. (2005): *Wskazania wodomierzy domowych i mieszkaniowych – przyczyny rozbieżności i metody ich bilansowania*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 2.

Recenzent: mgr inż. Krzysztof Korczak

Justyna Latoszek^{)}, Barbara Bialecka*

MONITORING PLANU GOSPODARKI ODPADAMI NA PRZYKŁADZIE BYTOMIA

Streszczenie

W artykule przedstawiono wstępną ocenę realizacji planu gospodarki odpadami w Bytomiu, a także propozycję jego monitorowania na podstawie rozszerzonego, w stosunku do przedstawionego w planie, zestawu wskaźników. Zgodnie z planem do monitorowania realizacji planu jest wykorzystywanych 12 wskaźników (tabl. 1). W celu prowadzenia pełnego monitoringu gospodarki odpadami w mieście, a także łatwiejszego nią zarządzania, zaproponowano 57 wskaźników. Ich opis oraz jednostki miary zostały zawarte w tablicy 2. Mogą być one wykorzystane do monitorowania obszarów, którymi są: odpady komunalne, odpady niebezpieczne, odpady z sektora gospodarczego, składowiska odpadów i edukacja ekologiczna. Analiza tak znacznej liczby wskaźników pozwoli na wyciągnięcie bardziej wnikliwych wniosków dotyczących sytuacji zachodzącej na danym obszarze, obejmujących całą gospodarkę odpadami w mieście.

Analizując dane, uzyskane z Urzędu Miejskiego w Bytomiu, Urzędu Marszałkowskiego w Katowicach, Bytomskiego Przedsiębiorstwa Komunalnego, Gminnego Punktu Zbiórki Odpadów Niebezpiecznych i Regionalnego Zakładu Odzysku i Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych, i oszacowane na ich podstawie wskaźniki, stwierdzono, że system gospodarki odpadami nie funkcjonuje w mieście prawidłowo.

Monitoring of the Plan of Waste Management on an example of Bytom

Abstract

In the paper an introductory evaluation of realisation of waste management plan for Bytom and a proposition of its monitoring on a basis of indices set, extended in comparison with the one presented in the plan, was presented. According to the plan, 12 indices is used for monitoring the plan realisation (Table 1). 57 indices were proposed to achieve the aim of full monitoring of waste management in the town. Their description and units of measure are contained in Table 2. They may be used for monitoring such areas as: municipal wastes, dangerous wastes, wastes from the economic sector, waste dumps and ecological education. An analysis of such abundant number of indices allows to draw more discerning (more discriminated) conclusions concerning state of affairs on a given area, including whole the waste management in a town.

Analysing the data, obtained from the Municipality of Bytom, Marshal Office in Katowice, Bytom Municipal Enterprise, Municipal Collecting Point of Dangerous Wastes and Regional Plant of Utilisation and Rendering Municipal Wastes Harmless, and the indices assessed on their basis it was found that the system of waste management is not functioning properly in the town.

^{*)} Politechnika Śląska.

WPROWADZENIE

Plan gospodarki odpadami (PGO) z założenia powinien przyczyniać się do prawidłowej gospodarki odpadami zarówno na poziomie lokalnym, jak i krajowym. Jest on częścią programu ochrony środowiska. Dobrze opracowany, wdrożony oraz ciągle monitorowany, a także modernizowany umożliwia osiągnięcie efektów ekologicznych, społecznych i ekonomicznych, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju.

Zobowiązanie każdej gminy, powiatu i województwa do sporządzenia planu gospodarki odpadami jest zawarte w Ustawie z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach. W Bytomiu taki plan opracowano w 2004 roku. Od tamtego czasu upłynęły 2 lata. W jakim stopniu zrealizowano cele i zadania w nim zapisane wykaże sprawozdanie, które powinno być przygotowane przez organ wykonawczy, w tym przypadku prezydenta miasta w 2006 roku.

W artykule przedstawiono wstępną ocenę realizacji Planu Gospodarki Odpadami dla Miasta Bytom, a także propozycję monitorowania planu na podstawie rozszerzonego, w stosunku do przedstawionego w planie, zestawu wskaźników pozwalających na kompleksową ocenę gospodarki odpadami w mieście.

1. PODSTAWY PLANU GOSPODARKI ODPADAMI

Plan gospodarki odpadami jest częścią gminnego programu ochrony środowiska (Bilitewski, Hardtle, Marek 2003; Plan... 2003). Powinien on zawierać informacje dotyczące:

- aktualnego stanu gospodarki odpadami w gminie,
- prognozowanych zmian w zakresie gospodarki odpadami,
- działań zmierzających do poprawy sytuacji w zakresie gospodarowania odpadami,
- sposobów finansowania realizacji zamierzonych celów,
- systemu monitoringu i oceny realizacji zamierzonych celów.

1.1. Wymagania prawne

Plan gospodarki odpadami powinien być aktualizowany nie rzadziej niż raz na 4 lata. Sprawozdanie z realizacji planu jest przygotowywane co dwa lata i przedkładane w Sejmiku Województwa, Radzie Powiatu lub Radzie Gminy. W przypadku, gdy uchwalony plan będzie wymagał modyfikacji – przed upływem wymaganych ustawowo 4 lat, powinno być przeprowadzone stosowne postępowanie w celu jego aktualizacji (Brinkmann, Kundegorski 2005; Komisja Europejska 2003; Plan... 2003).

1.2. Monitoring i ocena wdrażania planu gospodarki odpadami

Podstawę monitoringu i oceny wdrażania planu stanowią następujące działania:

1. Przyjęcie wskaźników określających:

- wielkość strumienia odpadów komunalnych,
- stopień odzysku i powtórnego wykorzystania odpadów,

- ekonomiczną efektywność przedsięwzięć na rzecz ograniczenia strumienia odpadów i zwiększenie stopnia odzysku,
- monitoring elementów środowiska związanych z gospodarką odpadami (zanieczyszczenia wód podziemnych, liczba i powierzchnia dzikich wysypisk).

Wskaźniki te należy przyjąć, mając na uwadze:

- limity wynikające z prognozy oraz wdrażania dyrektyw Unii Europejskiej,
- dotychczasowy stan środowiska.

2. Systematyczne zbieranie informacji o stanie gospodarki wszystkimi rodzajami odpadów na terenie miasta, przez wyznaczoną komórkę organizacyjną (Komisja Europejska 2003).

Obecnie w Polsce nie jest jeszcze prowadzone kompleksowe monitorowanie odpadów, a strumienie odpadów nie są dokładnie ewidencjonowane w miejscu ich wytwarzania, bądź też znikają w kolejnych etapach cyklu życia odpadów również z uwagi na brak właściwej ich ewidencji. Ponadto, pozyskiwanie wszystkich danych o odpadach w pełnym zakresie w praktyce jest nieosiągalne. Z tego względu podstawę procesu tworzenia systemu monitoringu odpadów stanowi określenie priorytetów, zarówno w odniesieniu do strumieni odpadów, jak i podmiotów na rynku gospodarki odpadami, które należy monitorować (Latoszek 2006).

Przy ustalaniu priorytetów należy wziąć pod uwagę kryteria bezpośrednio związane z dwoma nadrzędnymi celami monitoringu, a mianowicie możliwością oceny wdrażania działań z zakresu gospodarki odpadami oraz dążeniem do regulacji i kontroli rynku w odniesieniu do występujących na nim podmiotów.

Zalecane kryteria to: wielkość strumieni odpadów, szczególne właściwości strumieni odpadów, wytwórcy odpadów, instalacje do unieszkodliwiania/odzysku odpadów, wymogi europejskie, cele, które są sprecyzowane w planach gospodarki odpadami na poszczególnych szczeblach. Powyższe kryteria są powiązane i należy je rozważać we wzajemnym kontekście.

2. AKTUALNA SYTUACJA W ZAKRESIE GOSPODARKI W BYTOMIU

Należy podkreślić, że nie ma wiarygodnych informacji na temat przepływu ilościowego i jakościowego poszczególnych strumieni odpadów wywożonych z terenu Bytomia oraz dostarczanych do odzysku lub unieszkodliwiania na jego terenie.

Podstawowe zagrożenia ekologiczne w Bytomiu wynikają z:

- istnienia dzikich składowisk odpadów, zlokalizowanych w lasach i na terenach przemysłowych,
- braku w mieście zintegrowanej i wystarczającej sieci instalacji i urządzeń do odzysku i unieszkodliwiania odpadów spełniających wymagania określone w przepisach o ochronie środowiska,
- niekontrolowanego wywozu odpadów i nieczystości na miejsca to tego celu nieprzeznaczone,
- małej efektywności selektywnej zbiórki odpadów,

- braku systemu gospodarowania odpadami wielkogabarytowymi, remontowo-budowlanymi oraz odpadami niebezpiecznymi (w tym bateriami i akumulatorami, sprzętem elektronicznym i elektrycznym, zużytymi olejami, oponami, odpadami weterynaryjnymi),
- braku systemu gospodarki odpadami biodegradowalnymi (Plan... 2004).

Zbiórką i wywozem odpadów są objęci prawie wszyscy mieszkańcy miasta. Sposób zbiórki odpadów jest prowadzony w systemie „umownym”, tj. mieszkańcy powierzyli obowiązek wykonywania zadań z zakresu gospodarki odpadami podmiotom prawnym na drodze umowy. Wywóz odbywa się regularnie, z częstotliwością zgodną z zawartymi umowami, na ustalonych trasach wywozowych lub na żądanie. Transport na składowiska jest jednostopniowy (bezpośredni transport do miejsca odzysku lub unieszkodliwienia) (Czarnomski 1998; Latoszek 2006), specjalistycznymi samochodami.

Odpady objęte zbiórką są odbierane na podstawie indywidualnych umów z mieszkańcami lub zarządcami nieruchomości oraz z podmiotami gospodarczymi przez wyspecjalizowane firmy. Wywozem odpadów na terenie miasta zajmują się wyspecjalizowane firmy. Według danych z 2005 roku 37 podmiotów ma zezwolenie na prowadzenie tego typu działalności¹⁾. Zgodnie z art. 9a, ust. 2 ustawy (Ustawa z dnia 23 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach) każda z tych firm ma obowiązek przysyłania do Urzędu Miejskiego informacji o ilości odpadów komunalnych zebranych na terenie miasta oraz sposobie ich zagospodarowania. Dopiero na ich podstawie będzie można dokładnie ustalić liczbę mieszkańców objętych systemem zorganizowanej i selektywnej zbiórki odpadów.

W gospodarce odpadami z sektora gospodarczego należy zwrócić uwagę na zagrożenia wynikające z transportu odpadów (przede wszystkim niebezpiecznych). Przez miasto przebiega wiele głównych szlaków komunikacyjnych mogących być potencjalnym źródłem zagrożeń ekologicznych spowodowanych transportem odpadów do zakładu „Orzeł Biały” S.A., w którym znajduje się instalacja do odzysku odpadów niebezpiecznych (Plan... 2004). Kolejnym istotnym zagrożeniem jest przywrócenie użytkowego charakteru terenom przemysłowym (zwłaszcza pogórnym i pofutnierzom), co wymaga wykonania prac rekultywacyjnych na obszarze ponad 110 ha gruntów (Latoszek 2006).

Urząd Miejski w Bytomiu przykłada dużą wagę do edukacji ekologicznej. Corocznie są organizowane różne akcje między innymi „Sprzątanie Świata”, obchody „Dni Ziemi”. Dofinansowuje również wydawnictwa o tematyce ekologicznej oraz funduje nagrody przyznawane w konkursach o tej tematyce.

¹⁾ Dane z Wydziału Gospodarki Komunalnej i Inwestycji Urzędu Miejskiego w Bytomiu.

3. MONITORING PLANU GOSPODARKI ODPADAMI DLA MIASTA BYTOM

3.1. Wskaźniki do oceny stopnia realizacji PGO

PGO dla Bytomia został opracowany w 2004 roku, a pierwsze sprawozdanie z jego realizacji powinno zostać sporządzone pod koniec 2006 roku. W planie tym znajduje się 12 wskaźników monitorowania jego realizacji (tabl. 1).

Tablica. 1. Wskaźniki monitorowania realizacji PGO (Plan... 2004)

Cel	Wskaźniki	Oczekiwany stan w 2010 roku
Wdrożenie systemu gospodarki odpadami komunalnymi	Ilość zebranych odpadów komunalnych [Mg/rok] / ilość wytworzonych odpadów komunalnych obliczona wskaźnikowo [Mg/rok]	Wzrost skuteczności zbiórki odpadów komunalnych
	Ilość odzyskanych odpadów [Mg]: - wielkogabarytowych - budowlanych	Osiągnięcie: - 50% odzysku - 40% odzysku
	Ilość wykorzystanych osadów ściekowych [Mg/rok] / ilość wytworzonych osadów ściekowych	Wzrost wskaźnika
	Ilość odzyskiwanych surowców wtórnych [Mg], w tym: - tworzywa sztuczne - papier i tektura - szkło - blacha stalowa i aluminium - opakowania wielomateriałowe	Wzrost ilości odzyskiwanych surowców wtórnych
Objęcie zbiórką wszystkich strumieni odpadów niebezpiecznych	Ilość zebranych odpadów [Mg] niebezpiecznych ze strumienia odpadów komunalnych	Osiągnięcie: 50% zebranych odpadów z ogólnej ilości wytworzonych
	Ilość odpadów powstających w placówkach medycznych [Mg/rok]: - odpady o charakterze komunalnym - odpady infekcyjne i specjalne	Zmniejszenie ilości odpadów o charakterze infekcyjnym i specjalnym
	Ilość odpadów powstających w placówkach weterynaryjnych [Mg]: - odpady infekcyjne - odpady specjalne	Zmniejszenie ilości odpadów o charakterze infekcyjnym i specjalnym
	Ilość materiałów zawierających azbest [m ²]	Zmniejszenie ilości materiałów zawierających azbest na terenie miasta
Minimalizacja ilości odpadów przemysłowych	Ilość wytwarzanych odpadów w sektorze gospodarczym [tys. Mg], w tym: - niebezpiecznych	Zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów
	Ilość odpadów z sektora gospodarczego poddanych odzyskowi lub unieszkodliwieniu [%], w tym: - odzysk - unieszkodliwianie (w tym składowanie)	Zwiększanie stopnia odzysku odpadów
	Ilość odpadów niebezpiecznych poddanych odzyskowi lub unieszkodliwieniu [%], w tym: - odzysk - unieszkodliwianie (w tym składowanie)	Zwiększanie stopnia odzysku odpadów
Rekultywacja składowisk odpadów przemysłowych	Tereny poprzemysłowe do rekultywacji [ha]	Zmniejszenie powierzchni przeznaczonej do rekultywacji

W celu pełnego monitoringu gospodarki odpadami w mieście, a także łatwiejszego nią zarządzania zaproponowano 57 wskaźników. Ich lista, opis oraz jednostki miary zostały zawarte w tablicy 2. Zaproponowane wskaźniki można podzielić na dwie grupy: ilościowe i opisowe. Mogą one być wykorzystane do monitorowania następujących odpadów: komunalnych, odpadów niebezpiecznych, odpadów z sektora gospodarczego, składowisk odpadów oraz edukacji ekologicznej. Analiza tak znacznej liczby wskaźników pozwala na wyciągnięcie bardziej wnikliwych wniosków dotyczących sytuacji zachodzącej na danym obszarze, obejmujących całą gospodarkę odpadami w mieście.

Tablica 2. Zaproponowane wskaźniki monitorowania realizacji zadań z zakresu gospodarki odpadami

Ob- szar	Wskaźnik	Jednostka	Informacje dodatkowe
1	2	3	4
Odpady komunalne	Ilość zebranych odpadów komunalnych [Mg/rok] / ilość wytworzonych odpadów komunalnych obliczona wskaźnikowo [Mg/rok] · 100	%	Oczekiwany stan w 2010 r.: wzrost skuteczności zbiórki odpadów komunalnych (wskaźnik nagromadzenia 435 kg odpadów na 1 mieszkańca)
	Udział odpadów komunalnych deponowanych na składowiskach	Mg	Zakłada się, że różnica między ilością zebranych a deponowanych odpadów na składowiskach wynika z wywożenia odpadów na inne składowiska niż w Bytomiu
	Ilość zebranych selektywnie odpadów komunalnych [Mg/rok] / ilość zebranych odpadów komunalnych [Mg/rok] · 100	%	Oczekiwany stan w 2010 r.: wzrost selektywnej zbiórki odpadów komunalnych
	Ilość zebranych selektywnie odpadów komunalnych [Mg/rok] / ilość wytworzonych odpadów komunalnych [Mg/rok] · 100	%	Oczekiwany stan w 2010 r.: wzrost selektywnej zbiórki odpadów komunalnych.
	Ilość wytworzonych odpadów komunalnych na 1 mieszkańca na rok	kg	–
	Ilość zebranych odpadów komunalnych w przeliczeniu na 1 mieszkańca na rok	kg	–
	Ilość odpadów komunalnych ulegających biodegradacji, w tym: - odzysk i unieszkodliwienie - składowanie - konieczny dodatkowy recykling	Mg	Oczekiwany stan w 2010 r.: 50% odzysku odpadów komunalnych ulegających biodegradacji, 75% składowanych w stosunku do całkowitej ilości odpadów komunalnych ulegających biodegradacji, wytworzonych w 1995 r., zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 5 Dyrektywy Rady 1999/31/EC
	Ilość wytworzonych odpadów wielkogabarytowych, w tym odzysk	Mg (%)	Oczekiwany stan w 2010 r.: 50% odzysku odpadów wielkogabarytowych
	Ilość odpadów wielkogabarytowych wytworzonych na 1 mieszkańca na rok	kg	–
	Ilość wytworzonych odpadów budowlanych, w tym, odzysk	Mg (%)	Oczekiwany stan w 2010 r.: 40% odzysku odpadów budowlanych
	Ilość odpadów budowlanych wytworzonych na 1 mieszkańca na rok	kg	–
	Ilość odzyskiwanych surowców wtórnych, w tym: tworzywa sztuczne, papier i tektura, szkło, blacha stalowa i aluminium, opakowania wielomateriałowe	Mg	Oczekiwany stan w 2010 r.: wzrost skuteczności systemu selektywnej zbiórki surowców wtórnych (do 2006 r. powinna obejmować wszystkich mieszkańców)
	Ilość odpadów opakowaniowych w strumieniu odpadów komunalnych, w tym: papierowe i tekturowe, wielomateriałowe, z tworzyw sztucznych, szklane, z blachy stalowej, aluminiowe, drewniane i z materiałów naturalnych	Mg	–

1	2	3	4
Odpady komunalne	Ilość odpadów opakowaniowych poddanych recyklingowi, w tym: papierowe i tekturowe, wielomaterialowe, z tworzyw sztucznych, szklane, z blachy stalowej, aluminiowe, drewniane i z materiałów naturalnych	Mg	Oczekiwany stan w 2010 r.: wzrost ilości odpadów opakowaniowych poddanych recyklingowi (porównanie z ilościami odpadów opakowaniowych występujących w strumieniu odpadów komunalnych)
	Mieszkańcy miasta objęci zorganizowaną zbiórką odpadów	tys. (%)	Oczekiwany stan w 2006 r.: objęcie wszystkich mieszkańców systemem zorganizowanej zbiórki odpadów
	Mieszkańcy objęci systemem selektywnej zbiórki	tys. (%)	Oczekiwany stan w 2006 r.: objęcie wszystkich mieszkańców systemem selektywnej zbiórki odpadów
	Obiekty gospodarki odpadami komunalnymi, w tym: linie do segregacji, kompostownie, linie do demontażu odpadów wielkogabarytowych, inne	wskaźnik opisowy	Należy się skupić na postępach prac nad każdym obiektem, w szczególności nad sortownią i kompostownią jako jednymi z obiektów systemu gospodarki odpadami w Bytomiu
	Ilość wykorzystanych osadów ściekowych [Mg/rok] / ilość wytworzonych osadów ściekowych [Mg/rok] · 100	%	Oczekiwany stan w 2010 r.: wzrost wykorzystania powstałych osadów ściekowych lub pełne wykorzystanie osadów ściekowych
	Sposób postępowania z osadami ściekowymi, wykorzystane, w tym: na cele przemysłowe, na cele rolnicze, kompostowane, przekształcone termicznie, składowane (miejsce składowania), inne	Mg	Osad ustabilizowany nie jest jednoznacznie zdefiniowany w Polsce i UE; w Polsce proponuje się przyjąć za miarę wystarczającego ustabilizowania osadu zmniejszenie zawartości suchej masy organicznej (s.m.o.) o 38% w wydzielonym urządzeniu stabilizacji [5]
	Nakłady na gospodarkę odpadami komunalnymi	PLN/rok	Informacje dotyczą lat 2004–2007
Odpady niebezpieczne	Ilość zebranych odpadów niebezpiecznych ze strumienia odpadów komunalnych	Mg	Oczekiwany stan w 2010 r.: 50% zebranych odpadów niebezpiecznych z ogólnej ilości wytworzonych
	Stopień unieszkodliwienia odpadów niebezpiecznych ze strumienia odpadów komunalnych	Mg (%)	–
	Ilość wytworzonych odpadów niebezpiecznych na 1 mieszkańca na rok	kg	–
	Ilość zebranych odpadów niebezpiecznych na 1 mieszkańca na rok	kg	–
	Ilość wytwarzanych odpadów niebezpiecznych w sektorze gospodarczym, w tym: odzysk, unieszkodliwianie (w tym składowanie)	tys. Mg (%)	–
	Ilość wytwarzanych odpadów niebezpiecznych w sektorze gospodarczym przez Małe i Średnie Przedsiębiorstwa (MŚP)	tys. Mg	–
	Ilość MŚP objętych systemem zbiórki odpadów niebezpiecznych	%	–
	Ilość odpadów powstających w placówkach medycznych	Mg	Data ustalenia danych wyjściowych – 2007 r.
	Ilość odpadów powstających w placówkach weterynaryjnych	Mg	Data ustalenia danych wyjściowych – 2007 r.
	Ilość materiałów: - zawierających azbest - usuniętych i unieszkodliwionych	m ²	Założenie: pełna inwentaryzacja, usunięcie i unieszkodliwienie wszystkich wyrobów zawierających azbest
	Urządzenia zawierające PCB: ilość i masa urządzeń, ilość i masa zdekontaminowanych oraz unieszkodliwionych urządzeń	ilość (Mg)	Założenie: pełna inwentaryzacja, zdekontaminowanie i unieszkodliwienie wszystkich urządzeń zawierających PCB
	Obiekty gospodarki odpadami niebezpiecznymi, w tym: GPZON, zakład produkcji granulatów i kruszyw, inne	wskaźnik opisowy	Należy skupić się na postępach prac nad każdym obiektem, w szczególności nad GPZON jako jednym z obiektów systemu gospodarki odpadami w Bytomiu
	Nakłady na gospodarkę odpadami niebezpiecznymi	PLN/rok	Informacje dotyczą lat 2004–2007

1	2	3	4
Odpady z sektora gospodarczego	Ilość odpadów wytworzonych w sektorze gospodarczym, w tym: przemysł wydobywczy, sektor energetyczny, hutnictwo ołowiu, budowlano-remontowe	tys. Mg	Założenie: monitorowanie wytwórców największych ilości odpadów
	Ilość odpadów z sektora gospodarczego poddanych odzyskowi lub unieszkodliwieniu, w tym: odzysk i unieszkodliwianie	tys. Mg lub %	Oczekiwany stan w 2010 r.: zwiększenie stopnia odzysku odpadów z sektora gospodarczego
	Udział odpadów z sektora gospodarczego deponowanych na składowisku	tys. Mg (%)	–
	Ilość wytworzonych odpadów opakowaniowych, w tym: papierowe i tekturowe, wielomateriałowe, z tworzyw sztucznych, szklane, z blachy stalowej, aluminiowe, drewniane i z materiałów naturalnych	Mg	–
	Ilość odpadów opakowaniowych poddanych recyklingowi, w tym: papierowe i tekturowe, wielomateriałowe, z tworzyw sztucznych, szklane, z blachy stalowej, aluminiowe, drewniane i z materiałów naturalnych	Mg	Oczekiwany stan w 2010 r.: wzrost ilości odpadów opakowaniowych poddanych recyklingowi
	Stopień wykorzystania gospodarczych odpadów przemysłowych	%	–
	Obiekty gospodarki odpadami z sektora gospodarczego innych niż niebezpieczne	wskaźnik opisowy	Zagospodarowanie tych odpadów leży w gestii przedsiębiorstw, które je wytwarzają
	Liczba MŚP objętych ewidencją i kontrolą pod kątem prowadzonej gospodarki odpadami	%	–
	Liczba podmiotów gospodarczych z wdrożonym systemem zarządzania środowiskiem ISO 14000	liczba	–
	Liczba podmiotów gospodarczych objętych systemem Czystszej Produkcji	liczba	–
Składowiska odpadów	Nakłady na gospodarkę odpadami z sektora gospodarczego	PLN/rok	Informacje dotyczą lat 2004-2006
	Zamknięte i zrehabilitowane składowiska odpadów niespełniające wymogów ochrony środowiska	wskaźnik opisowy	–
	Czynne składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne	wskaźnik opisowy	–
	Czynne składowiska odpadów niebezpiecznych	wskaźnik opisowy	–
	Ilość dzikich składowisk odpadów	wskaźnik opisowy	–
	Ilość zlikwidowanych dzikich składowisk odpadów	wskaźnik opisowy	–
	Tereny poprzemysłowe do rekultywacji	wskaźnik opisowy	–
	Nakłady na realizację zadań w ramach obszaru składowiska odpadów	pln/rok	Informacje dotyczą lat 2004–2006
Edukacja ekologiczna	Miejskie ośrodki edukacji ekologicznej	wskaźnik opisowy	–
	Liczba szkół prowadzących zajęcia z zakresu ochrony środowiska, w tym gospodarki odpadami	wskaźnik opisowy	–
	Liczba, jakość i skuteczność akcji, konkursów itp. edukacyjno-informacyjnych skierowanych do szkół	wskaźnik opisowy	–
	Przedsięwzięcia o charakterze edukacyjno-informacyjnym w zakresie gospodarki odpadami skierowanych do przedsiębiorstw	wskaźnik opisowy	–
	Inicjatywy społeczności lokalnych w zakresie gospodarki odpadami	wskaźnik opisowy	–
	Nakłady na realizację zadań w ramach obszaru edukacja ekologiczna	PLN/rok	Informacje dotyczą lat 2004–2006

Źródło: opracowanie własne.

Zdaniem autorów, monitoring prowadzony z wykorzystaniem zaproponowanych wskaźników obejmuje całościowo gospodarkę odpadami. Opracowany zestaw wskaźników ma charakter uniwersalny i umożliwia zastosowanie go do oceny sytuacji w innych gminach, a ewentualna korekta listy wskaźników, w celu lepszego dostosowania do realiów danej gminy, jest prosta do przeprowadzenia.

Monitoring gospodarki odpadami z wydzielonymi jak wyżej pięcioma obszarami umożliwia skupienie uwagi na najważniejszych problemach Bytomia, czyli budowie systemu gospodarki odpadami, likwidacji dzikich składowisk odpadów, rekultywacji i zagospodarowaniu terenów poprzemysłowych, ciągłej i skutecznej edukacji ekologicznej mieszkańców.

3.2. Monitoring gospodarki odpadami

Dane do oszacowania powyższych wskaźników uzyskano z:

- Urzędu Miejskiego w Bytomiu,
- Urzędu Marszałkowskiego w Katowicach,
- Bytomskiego Przedsiębiorstwa Komunalnego (BPK) sp. z o.o., które zarządza między innymi składowiskiem odpadów przy Al. Jana Pawła II 10, oczyszczalnią ścieków oraz jest odpowiedzialne za budowę sortowni odpadów komunalnych,
- Gminnego Punktu Zbiórki Odpadów Niebezpiecznych (GPZON),
- kompostowni odpadów – infrastruktury Regionalnego Zakładu Odzysku i Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych (RZOiUOK).

Przedstawiają one stan na koniec 2005 roku i na ich podstawie można stwierdzić, jak postępują prace nad wprowadzaniem kolejnych postanowień przepisów prawnych z zakresu gospodarki odpadami (Latoszek 2006).

Analizując uzyskane dane i oszacowane z ich wykorzystaniem wskaźniki można stwierdzić, że system gospodarki odpadami w mieście nie funkcjonuje prawidłowo. Odpady są w większości zmieszane i takie trafiają na składowiska odpadów, gdyż nie ma w mieście sortowni. Jest prowadzona zbiórka na składowisku, ale tylko odpadów z tworzyw sztucznych (butelek PET). Wszelkie inne surowce wtórne trafiają do punktów skupu złomu i metali kolorowych.

Odpady ulegające biodegradacji trafiają wraz z pozostałymi odpadami na składowisko. Zresztą i tak nie byłoby możliwości ich zagospodarowania z powodu braku kompostowni.

Nie został wdrożony system zbiórki odpadów wielkogabarytowych. Sporadyczne akcje hipermarketów to za mało. Większość starego sprzętu AGD i RTV jest skupowana jako złom przez punkty skupu złomu i metali kolorowych. Pozostałe są wywożone na składowiska lub palone.

Odpady budowlane razem z pozostałymi odpadami komunalnymi trafiają na składowiska odpadów lub dzikie składowiska. Jedynie w przypadku większych prac budowlano-remontowych lub używania osobnych kontenerów na ten rodzaj odpadów, są one zagospodarowywane przez firmy zajmujące się zbiórką i transportem tychże odpadów. Brak jednak informacji na czym to zagospodarowywanie polega.

Odpady niebezpieczne nie są oddzielane i wraz z pozostałymi odpadami komunalnymi trafiają na składowiska odpadów.

Duża część odpadów jest palona, w celu zaoszczędzenia na opale lub porzucana w lasach, na nieużytkach, gdzie z czasem tworzą się dzikie składowiska.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Podsumowując, należy stwierdzić, że system gospodarki odpadami nie został wdrożony, a także że nie ma infrastruktury niezbędnej do jego prawidłowego funkcjonowania. W takim przypadku założenia dotyczące zadań ilościowych, które miały zostać osiągnięte do 2006 roku, nie zostaną zrealizowane.

Należy także podkreślić znaczne trudności w monitorowaniu realizacji Planu Gospodarki Odpadami dla Miasta Bytom, co jest spowodowane brakiem rzeczywistych danych, nieopartych jedynie na prognozach, dotyczących między innymi ilości zebranych odpadów niebezpiecznych ze strumienia odpadów komunalnych, gdyż nie funkcjonują: system zbiórki odpadów niebezpiecznych od mieszkańców oraz punkt ich segregacji i wywożenia do odpowiedniego zagospodarowania.

Do monitorowania PGO zaproponowano 57 wskaźników, które mogą być wykorzystywane do wspomagania zarządzania planem gospodarki odpadami. Ze względu na ich uniwersalny charakter można je zastosować do oceny gospodarki odpadami w każdym mieście. Wnioski, dotyczące gospodarki odpadami w Bytomiu, opracowane na podstawie analizy wskaźników, przedstawiono poniżej.

OBSZAR – ODPADY KOMUNALNE

Brak rzeczywistych danych dotyczących gospodarki odpadami komunalnymi. Wynika to z braku sprawnego systemu zagospodarowywania odpadów komunalnych, mówiąc ogólnie odpady komunalne nie podlegają segregacji, czy to „u źródła”, czy też przez podmioty zajmujące się wywozem odpadów. Nie można jednak uogólniać tego na obszar całego miasta, w wielu punktach są poustawiane kolorowe pojemniki na oddzielne odpady. Działania te jednak nie przekładają się na konkretne wartości liczbowe. Założenie, że od 2005 roku wszyscy mieszkańcy będą objęci systemem selektywnej zbiórki było błędne. Dobra sytuacja natomiast w zakresie gospodarki osadami ściekowymi jest zapewne spowodowana niedawnymi inwestycjami przeprowadzonymi w oczyszczalni ścieków Centralna. Informacje na temat budowy obiektów infrastruktury Regionalnego Zakładu Odzysku i Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych są niepokojące; zadanie to nie jest realizowane.

Wniosek: Nie można ocenić stanu gospodarki w zakresie odpadów komunalnych i ich poszczególnych frakcji ze względu na brak rzeczywistych danych. Dobrze przedstawia się sytuacja w zakresie osadów ściekowych i ich wykorzystania.

OBSZAR – ODPADY NIEBEZPIECZNE

Bardzo mała liczba danych do oceny gospodarki odpadami niebezpiecznymi pozwala na stwierdzenie, że nie są podejmowane żadne prace. Problem braku sprawnego

systemu gospodarki odpadami, w tym przypadku niebezpiecznymi, pojawia się po raz kolejny. Nie udało się uzyskać danych na temat Gminnego Punktu Zbiórki Odpadów Niebezpiecznych, w związku z tym założono, że nie rozpoczęto jeszcze prac nad jego budową.

Wniosek: Brak działań dotyczących budowy systemu gospodarki odpadami niebezpiecznymi. Spośród wszystkich monitorowanych obszarów ten prezentuje się najgorzej. Jedynie odpady niebezpieczne z sektora gospodarczego są zagospodarowywane.

OBSZAR – ODPADY Z SEKTORA GOSPODARCZEGO

Gospodarka odpadami z sektora gospodarczego jest prowadzona dobrze, chociaż uzyskane dane nie były kompletne. Wystąpiły problemy z oceną Małych i Średnich Przedsiębiorstw pod kątem gospodarki odpadami niebezpiecznymi oraz problem z danymi na temat stosowanych przez przedsiębiorstwa systemów zarządzania środowiskowego i Czystszej Produkcji.

W przypadku przedsiębiorstw reprezentujących cztery największe grupy wytwórców odpadów nie można było określić, czy ilość odpadów zmniejsza się. Było to spowodowane brakiem kompletnych danych, to samo odnosiło się do sposobów ich zagospodarowywania. Informacja, że w 2003 roku poddano odzyskowi 99,6% odpadów jest mało wiarygodna, gdyż nie wiadomo, jakiej ilości wytworzonych odpadów dotyczy. Informacje o odpadach opakowaniowych bazowały na prognozach, co wskazuje na niepełne stosowanie przepisów ustawy z 11 maja 2001 roku o opakowaniach i odpadach opakowaniowych oraz ustawy z 11 maja 2001 roku o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej. Sytuacja Małych i Średnich Przedsiębiorstw, dotycząca gospodarki odpadami z sektora gospodarczego, podobnie jak w przypadku gospodarki odpadami niebezpiecznymi, jest zła. Można założyć, że nie wiadomo ile podmiotów inwestuje we wdrażanie systemów zarządzania środowiskowego i Czystszą Produkcję. Miasto powinno być tym zainteresowane, ponieważ ma to podstawowe znaczenie dla minimalizacji ilości wytwarzanych odpadów w sektorze gospodarczym.

Wniosek: Miasto prowadzi racjonalną gospodarkę odpadami z sektora gospodarczego.

OBSZAR – SKŁADOWISKA ODPADÓW

Prace na zamkniętym składowisku odpadów przy ul. Kamieńskiej zostały zakończone w terminie. Jest ono prawidłowo monitorowane przez Bytomskie Przedsiębiorstwo Komunalne sp. z o.o. To samo dotyczy czynnego składowiska przy Al. Jana Pawła II 10. Prace rekultywacyjne na terenach pogórnich zostały w większości przypadków zakończone lub będą zakończone z końcem 2006 roku. Odpady zlokalizowane na terenach pohutniczych są eksploatowane.

Przy ryczałtowym systemie płacenia za usuwanie odpadów inwentaryzacja dzikich składowisk jest utrudniona, nie ma także pewności, czy po pewnym czasie składowiska nie powstaną ponownie w tych samych miejscach.

Wniosek: Program eksploatacji, zamykania i monitorowania składowisk odpadów w mieście jest realizowany prawidłowo. Nie dotyczy to dzikich składowisk, w przypadku których sytuacja jest niepokojąca.

OBSZAR – EDUKACJA EKOLOGICZNA

Edukacja ekologiczna jest prowadzona wśród uczniów i młodzieży, chociaż nie ma danych dotyczących skuteczności akcji i konkursów, nie wiadomo, w ilu szkołach są prowadzone zajęcia z zakresu ochrony środowiska oraz w ilu placówkach jest omawiany problem odpadów. Uzyskane informacje o przedsięwzięciach edukacyjno-informacyjnych skierowanych do przedsiębiorstw są niewystarczające. Najgorzej prezentują się akcje edukacyjno-informacyjne skierowane do mieszkańców. Tego typu działania nie są prowadzone. Nawet, jeżeli miasto rozpoczęło jakiekolwiek prace nad wdrażaniem systemu gospodarki odpadami, to lokalne społeczeństwo nie jest o tym informowane.

Wniosek: Miasto nie dociera ze swoimi inicjatywami w zakresie edukacji ekologicznej do znacznej liczby mieszkańców i przedsiębiorstw.

Analiza i ocena zebranych informacji prowadzi do stwierdzenia, że system gospodarki odpadami w Bytomiu nie funkcjonuje sprawnie i efektywnie.

Są prowadzone prace nad jego budową, ale zdecydowanie za wolno, żeby udało się osiągnąć zadania ilościowe założone na 2006 rok. Duży problem stanowi brak odpowiednich obiektów, mających go obsługiwać. Bytomskie Przedsiębiorstwo Komunalne sp. z o.o. ubiega się o środki z Funduszu Spójności na sfinansowanie budowy sortowni odpadów. Jej budowa w znacznym stopniu ułatwi wdrożenie systemu selektywnej zbiórki odpadów komunalnych, w szczególności wielkogabarytowych, budowlanych, surowców wtórnych. Natomiast ewentualna frakcja biomasy nie będzie mogła zostać zagospodarowana, gdyż w mieście nie ma kompostowni i jak do tej pory nie rozpoczęto jej budowy. To samo dotyczy odpadów niebezpiecznych wyodrębnionych ze strumienia odpadów komunalnych. Bez zbudowania i funkcjonowania Gminnego Punktu Zbiórki Odpadów Niebezpiecznych ich zbiórka nie będzie skuteczna i efektywna.

Należy podkreślić, że postęp prac, a tym samym realizacji zadań zawartych w planie jest niezadowolający i z pewnością nie doprowadzi do osiągnięcia zadań ilościowych i jakościowych w zakresie gospodarki odpadami wymaganymi przez zapisy Krajowego Planu Gospodarki Odpadami.

Literatura

1. Bilitewski B., Hardtle G., Marek K. (2003): *Podręcznik gospodarki odpadami – teoria i praktyka*. Warszawa, Wydaw. „Seidel-Przywecki” sp. z o.o.
2. Brinkmann A.J.F., Kundegorski M. (2005): *Monitoring gospodarki odpadami w Polsce, przegląd obecnych praktyk i zalecenia*. Grontmij – Tebodin – Roteb, 15 czerwca.
3. Czarnomski K. (1998): *Gospodarka odpadami komunalnymi – zadania samorządów gmin*. Eko-Problemy nr 1.
4. Latoszek J. (2006): *Zarządzanie planem gospodarki odpadami na przykładzie Bytomia*. Gliwice, Politechnika Śląska (Praca dyplomowa).

5. Komisja Europejska DG ds. Środowiska: Przygotowanie planu gospodarki odpadami. Wskazówki metodologiczne. Europejskie Centrum Tematyczne Odpadów i Przepływu Materiałowego, Maj 2003.
6. Plan Gospodarki Odpadami dla miasta Bytomia (2004). Bytom, Urząd Miejski.
7. Plan Gospodarki Odpadami dla województwa śląskiego (2003). Katowice, Śląski Urząd Marszałkowski.
8. Polityka Ekologiczna Państwa na lata 2003–2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007–2010. Warszawa, Rada Ministrów, grudzień 2002.
9. Uchwała nr 219 Rady Ministrów z dnia 29 października 2002 r. w sprawie Krajowego Planu Gospodarki Odpadami (M.P. z dnia 28 lutego 2003 r.).
10. Ustawa z dnia 23 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach, Dz.U. 1996, nr 132, poz. 622 z późniejszymi zmianami.
11. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach. Dz. U. 2001, nr 62, poz. 628 z późniejszymi zmianami.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk

Jan Wachowicz, Tomasz Janoszek

WPROWADZENIE DO MODELOWANIA WPLYWU PRĘDKOŚCI PRZEPŁYWU POWIETRZA NA PROPAGACJĘ GAZÓW POŻAROWYCH W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie

Dokonano przeglądu pozycji literaturowych traktujących o pożarach egzogenicznych, w tym o wpływie rozkładu pola prędkości powietrza na ruch ciepła (pole temperatury) i masy (w tym reakcji chemicznych) jako czynników przydatnych do oceny ryzyka narażenia na produkty spalania POC (*product-of-combustion*) podczas pożarów egzogenicznych. Przeanalizowano opracowania zawierające informacje o zastosowaniu, do analizy powyższych czynników, modelowania zagrożenia pożarowego w wyrobiskach górniczych i tunelowych, z wykorzystaniem metody numerycznej CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Zwrócono uwagę głównie na prace dotyczące zagrożenia pożarami egzogenicznymi powstającymi w środowiskach potencjalnie narażonych na tego typu zjawisko, w wyniku zapłonu materiałów palnych.

Introduction to modelling of air flow velocity influence onto propagation of fire-damps in coal mines

Abstract

A review of literature was conducted treating freely burning fires, in it an influence of air velocity field distribution onto movement of heat (thermal field) and mass (including chemical reactions) as useful factors for risk assessment of POC (*product-of-combustion*) from freely burning fires. Studies including information on use, for analysis of above mentioned factors, of modelling of fire hazard in mining excavations and tunnels were analysed, with the aid of numerical method CFD (*Computational Fluid Dynamics*). The main concern was given to works related to the freely burning fires' hazards arising in environments potentially subjected to this type of phenomenon as a result of flammable materials ignition.

WPROWADZENIE

Pożary egzogeniczne powstają najczęściej wskutek wadliwej instalacji maszyn i urządzeń oraz braku przestrzegania podstawowych zasad bezpieczeństwa i higieny pracy. Mogą one powstawać w każdym wyrobisku podziemnym i w zasadzie w każdym miejscu, w sposób nie zawsze możliwy do przewidzenia, bez jakichkolwiek wyraźnych oznak ostrzegawczych. Przebiegają na ogół gwałtownie z wydzieleniem dużej ilości toksycznych gazów, również w postaci dymu. Stwarzają one duże zagrożenie nie tylko z powodu płomieni, ale głównie z powodu tworzenia się gazów trujących (tlenek węgla) i duszących (dwutlenek węgla) oraz wydzielanego ciepła (Bielewicz, Prus, Honysz 1993; Pawiński 1979).

W wentylowanych wyrobiskach górniczych trujący dym i gorące produkty spalania POC mogą przyjmować formę warstwy gromadzącej się w górnej części

wyrobiska, czyli pod stropem. Obserwuje się wtedy zjawisko zmiany kierunku przepływu produktów spalania względem ruchu powietrza niezależnego, wymuszanego rozkładem potencjałów aerodynamicznych. Prawidłowe przewidywanie zachowania się POC ma zasadnicze znaczenie przy podejmowaniu akcji przeciwpożarowych oraz w planowaniu dróg ewakuacji z zagrożonego obszaru (Hwang, Edwards 2001).

Wydzielanie się produktów rozkładu termooksydacyjnego stanowi największe niebezpieczeństwo dla życia i zdrowia ludzkiego ze względu na gwałtowne ograniczenie widoczności, utrudnienie oddychania spowodowane niedoborem tlenu, działanie toksyczne produktów spalania oraz termiczne, wywołane wysoką temperaturą mogącą doprowadzić do uszkodzenia górnych dróg oddechowych (Sawicki 2003).

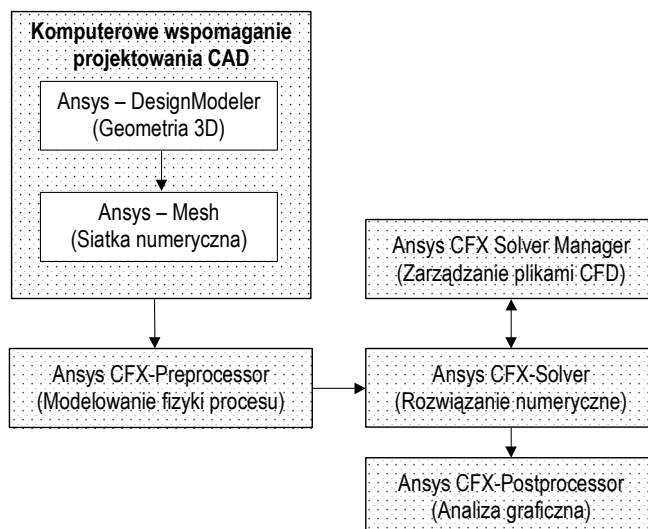
Ruch powietrza w wyrobiskach górniczych jest powodowany przeważnie rozkładem potencjałów aerodynamicznych zależnym od pracy wentylatorów lub ciągiem naturalnym zależnym od czynników naturalnych. Wentylacja naturalna nie gwarantuje stałych ilości powietrza w ciągu naturalnym, przepływającego przez wyrobisko, nie zapewnia również stabilnego kierunku przepływu, dlatego też nie może być stosowana jako wyłączny sposób przewietrzania kopalń. Oba potencjalne źródła energii występują w wyrobiskach podziemnych na ogół równocześnie i dlatego, ze względów bezpieczeństwa, w kopalniach są instalowane czynne wentylatory o wymaganym spiętrzeniu i wydajności strumienia powietrza, a ciąg naturalny występuje prawie zawsze. Oba te czynniki mają zasadniczy wpływ na propagację toksycznych związków, które powstają w wyniku zaistniałego pożaru egzogenicznego (Bielewicz, Prus, Honysz 1993; Pawiński 1979).

Toksyczność i ograniczenie widoczności wskutek wydzielającego się dymu są jednym z głównych czynników zagrożeń w górnictwie, jakie towarzyszy pożarom egzogenicznym. Umiejętność przewidywania propagacji POC w wyniku zastosowanej wentylacji jest wymagana w planowaniu dróg ewakuacyjnych i kontroli rozprzestrzeniania się zagrożenia pożarowego (Tarada 2000) tak, aby było możliwe utrzymanie tych dróg bez niebezpiecznych składników dymu. Ryzyko to zależy między innymi od właściwie zaprojektowanej wentylacji.

Numeryczna mechanika płynów CFD (*Computational Fluid Dynamics*) to nowa szybko rozwijająca się dziedzina, znajdująca zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i przemysłu. Programy opracowane z wykorzystaniem CFD umożliwiają szczegółową analizę zagadnień związanych z przepływem płynów (rozkład pola prędkości, pola ciśnienia), ruchem ciepła (pole temperatury w wyniku rozkładu termooksydacyjnego) i masy (z uwzględnieniem reakcji chemicznych). Osiąga się to przez numeryczne rozwiązywanie równań opisujących wymianę pędu, bilansu energii i masy (Hoffman, Johnson 2004).

Do modelowania wpływu prędkości przepływu powietrza na propagację produktów spalania, powstających podczas pożarów egzogenicznych w kopalniach węgla kamiennego, został wykorzystany program Ansys-CFX. Ansys-CFX jest oprogramowaniem CFD, którego struktura została przedstawiona schematycznie na rysunku 1. Poszczególne moduły są uszeregowane w kolejności zgodnej z wymaganym przepływem informacji, w celu właściwego zdefiniowania modelowanego zagadnienia.

Zakłada się, że uzyskane rozwiązanie modelowe będzie przydatne w analizie ryzyka wynikającego ze stosowania w kopalniach materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych, a tym samym przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa.



Rys. 1. Schemat postępowania przy modelowaniu zagadnienia w ujęciu numerycznej mechaniki płynu CFD w systemie Ansys – CFX

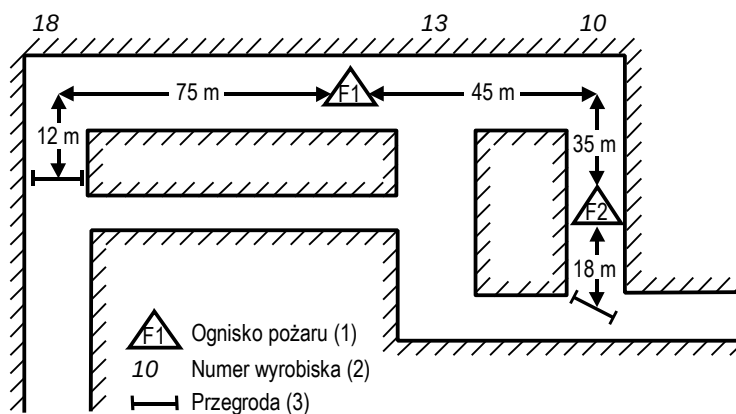
Fig. 1. Diagram of approach to problem modelling in the frames of Computational Fluid Dynamics CFD within Ansys – CFX system

1. PRZEPŁYW WARSTWY MIESZANINY POWIETRZA I POC W WYROBISKU KORYTARZOWYM

Na rysunku 2 przedstawiono symulację potencjalnego zagrożenia pożarem egzogenicznym i przemieszczania się toksycznych produktów spalania w wyrobisku górniczym, zaproponowaną przez autorów w pracy (Hwang, Edwards 1999). Jak wspomniano w przypadku wystąpienia pożaru egzogenicznego, przy braku wentylacji, gorące, silnie toksyczne produkty spalania POC gromadzą się pod stropem wyrobisk korytarzowych.

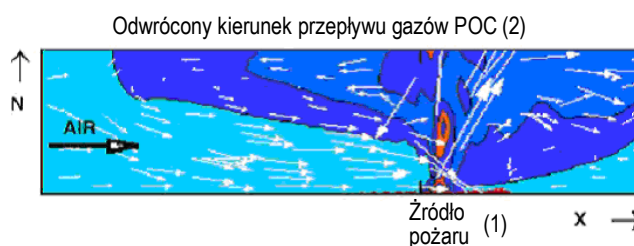
Przy ruchu zimniejszych warstw powietrza do dołu, gromadzące się wzdłuż wyrobiska POC tworzą warstwy powietrza i POC o znacznej koncentracji substancji toksycznych, które rozprzestrzeniają się wzdłuż wyrobiska na znaczną odległość. W momencie wystąpienia różnicy potencjałów aerodynamicznych następuje gwałtowne zakłócenie w przepływie warstw powietrza i POC.

Wentylacja wyrobiska korytarzowego, jak wykazują badania, jest jednym z czynników bezpośrednio wpływających na ruch mas POC, a także może przyczynić się do zmiany kierunku przepływu powietrza i wraz z nim POC. Na rysunku 3 przedstawiono zjawisko propagacji toksycznych związków POC pod stropem korytarza, gdzie ruch warstwy powietrza i POC zilustrowano za pomocą wektorów prędkości (Hwang, Edwards 1999, 2001, 2002).



Rys. 2. Przekrój wyrobiska górniczego z uwzględnieniem możliwości powstania zagrożenia pożarowego (Hwang, Edwards 1999)

Fig. 2. Section through a mining excavation with regard to a possibility of fire hazard arisement (Hwang, Edwards 1999): 1 – ignitable place, 2 – excavation's number, 3 – barrier



Rys. 3. Efekt komputerowej symulacji CFD przebiegu formowania się warstwy powietrza i POC w wyrobisku korytarzowym (Hwang, Edwards 2002)

Fig. 3. Effect of computer simulation CFD of the pattern of air and POC layer forming in a dog heading (Hwang, Edwards 2002): 1 – source of fire, 2 – reverse direction of flow of gases POC

2. MODEL PRZEPŁYWU GAZÓW W WYROBISKU GÓRNICZYM

W analizie propagacji POC, z wykorzystaniem techniki CFD, są stosowane podstawowe równania mechaniki płynów i termodynamiki (Hwang, Edwards 2001), a mianowicie:

- Równania zachowania masy

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

gdzie:

- ρ – lokalna gęstość płynu, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- v_i – liniowa prędkość płynu w i -tym kierunku przemieszczania, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- x_i – współrzędna przestrzenna położenia i -tej cząsteczki, m.

- Równania zachowania ruchu

$$\frac{\partial(\rho v_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_i v_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + S_{v_i} \quad (2)$$

gdzie:

- v_i – liniowa prędkość płynu w i -tym kierunku przemieszczania, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- v_j – liniowa prędkość płynu w j -tym kierunku przemieszczania, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- τ_{ij} – składowa tensora naprężeń stycznych (wartość naprężenia stycznego), $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$;
- ρ – lokalna gęstość płynu, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- t – czas, s;
- x_i – współrzędna przestrzenna położenia i -tej cząsteczki, m;
- x_j – współrzędna przestrzenna położenia j -tej cząsteczki, m;
- S_{v_i} – składowa prędkości odkształceń i -tej cząsteczki, $\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$.

- Równania zachowania energii

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j h)}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial t} + v_j \frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{\text{Pr}} + \frac{\mu_t}{\text{Pr}} \right) \frac{\partial h}{\partial x_j} \right] + S_h \quad (3)$$

gdzie:

- h – entalpia właściwa, $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- μ – laminarna lepkość dynamiczna (dynamiczny współczynnik lepkości płynu), $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$;
- μ_t – turbulentna lepkość dynamiczna (lepkość burzliwa – wirowa), $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$;
- Pr – bezwymiarowa liczba Prandtla;
- S_h – ilość generowanego ciepła na jednostkę objętości, $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$;
- t – czas, s;
- p – ciśnienie, Pa;
- x_j – współrzędna przestrzenna położenia j -tej cząsteczki, m;
- v_j – liniowa prędkość płynu w j -tym kierunku przemieszczania, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Równania reakcji chemicznej

$$\frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j Y_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{S_c} + \frac{\mu_t}{S_{ct}} \right) \frac{\partial Y_i}{\partial x_j} \right] + \dot{\omega} \quad (4)$$

gdzie:

- S_c – laminarna liczba Schmidta,
- S_{ct} – turbulentna liczba Schmidta,
- $\dot{\omega}$ – strumień masy przez jednostkę objętości, $\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$,
- Y_i – udział molowy i -tego składnika.

- Równania skalarnego

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \phi_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right] + S_\phi \quad (5)$$

gdzie:

- ϕ – skalar ilościowy masy, uogólniona, skalarna zmienna intensywna;
- S_ϕ – wyrażenie źródłowe w równaniach bilansowych transportu;
- Γ – dynamiczny współczynnik dyfuzji (lepkość).

- Równania stanu gazu

$$p = \rho R T \quad (6)$$

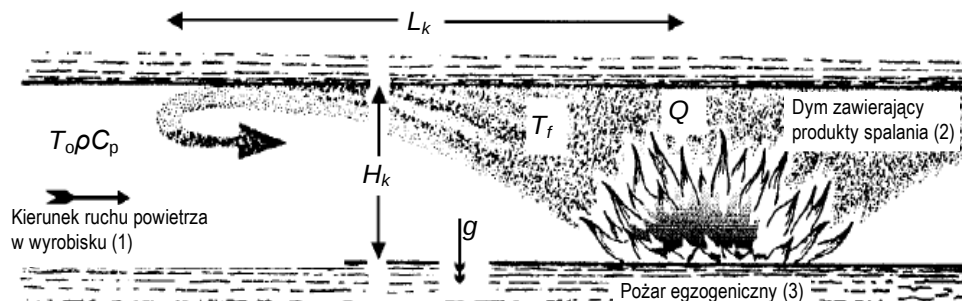
gdzie:

- R – uniwersalna stała gazowa, $J \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}$;
- T – temperatura, K.

3. WPŁYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA PROPAGACJĘ POC – ROZWAŻANIA TEORETYCZNE

3.1. Bilans energii w wyrobisku korytarzowym

W czasie pożaru egzogenicznego zachodzą reakcje chemiczne, w wyniku których wydzielające się ciepło reakcji, dostarczane do układu w procesie izobarycznym, jest równe zmianie jego entalpii. Przy założeniu braku wymiany ciepła przez ściany wyrobiska (przemiana adiabatyczna) oraz strat energii na oporach lokalnych i przy $p = const$, bilans energii dla rozpatrywanego układu (rys. 4) ma postać (Poniewierski, Hołyst, Ciach 2003)



Rys. 4. Ilustracja formowania się warstw powietrza i POC w wyrobisku korytarzowym wraz ze źródłem pożaru (Sawicki 2003)

Fig. 4. Illustration of air and POC layers forming in a dog heading alongside with a source of fire (Sawicki 2003):
1 – direction of air movement in the heading, 2 – smoke containing product of combustion, 3 – freely burning fire

$$\dot{H}_{\text{wlot}} + \dot{Q}_c = \dot{H}_{\text{POC}} \quad (7)$$

gdzie:

$\dot{H}_{\text{wlot}}$ – strumień entalpii czynnika na wejściu do korytarza, $\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}$;

$\dot{H}_{\text{POC}}$ – strumień entalpii spalin na wyjściu do korytarza, $\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}$;

$\dot{Q}_c$ – strumień ciepła z reakcji termooksydacji, $\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}$;

$$\left(\dot{m}_o c_p T_o \right)_{\text{wlot}} + \dot{Q}_c = \left(\dot{m}_{\text{POC}} c_{p\text{POC}} T_f \right)_{\text{POC}} \quad (8)$$

gdzie:

c_p – ciepło właściwe – pojemność cieplna powietrza, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;

$c_{p\text{POC}}$ – ciepło właściwe – pojemność cieplna spalin, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;

$\dot{m}_o$ – strumień masy powietrza, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$;

$\dot{m}_o$ – strumień masy spalin, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$;

T_o – lokalna temperatura płynu, K;

T_f – lokalna temperatura spalin, K.

Stąd można wyprowadzić wzór na strumień ciepła otrzymanego w reakcji termooksydacji

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_o \left[\frac{W_d}{\left(1 + \lambda L_t \left(1 - \frac{T_o}{T_f} \right) \right)} - c_p T_o \right] = v_o \Delta \rho A \left[\frac{W_d}{\left(1 + \lambda L_t \left(1 - \frac{T_o}{T_f} \right) \right)} - c_p T_o \right] \quad (9)$$

gdzie:

A – powierzchnia przekroju poprzecznego wyrobiska, m^2 ;

L_t – teoretyczne zapotrzebowanie powietrza, $\text{kg}_{\text{powietrza}} \text{kg}_{\text{paliwa}}^{-1}$;

T_f – lokalna temperatura spalin, K;

W_d – wartość opałowa paliwa, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$;

v_o – lokalna prędkość płynu, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;

λ – współczynnik nadmiaru powietrza.

Rozwiązując równanie (9) względem prędkości powietrza przepływającego wzdłuż korytarza otrzymuje się wyrażenie w postaci

$$v_o = \frac{\dot{Q}_c}{\Delta \rho A \left[\frac{W_d}{\left(1 + \lambda L_t \left(1 - \frac{T_o}{T_f} \right) \right)} - c_p T_o \right]} \quad (10)$$

3.2. Teoretyczna zależność na oszacowanie krytycznej prędkości wentylacji v_{kryt} w wyrobisku górniczym zagrożonym pożarem egzogenicznym

Krytyczną prędkość wentylacji v_{kryt} w publikacji (Hwang, Edwards 2002) zdefiniowano jako wartość prędkości powietrza na wlocie do wyrobiska v_o , która jest w stanie zapobiec formowaniu się przystropowej warstwy POC.

W publikacji (Tarada 2000) do oszacowania krytycznej prędkości v_{kryt} zaproponowano liczbę Froude'a. Bezwymiarowa liczba Froude'a wyraża stosunek sił statycznych generowanych przez płomień i sił bezwładności w płynie

$$Fr = \frac{g H_k (\rho_o - \rho_f)}{\rho_o v_o^2} \quad (11)$$

gdzie:

- Fr – bezwymiarowa liczba Froude'a;
- g – przyspieszenie ziemskie, $m \cdot s^{-2}$;
- H_k – geometryczna wysokość korytarza, m;
- v_o – lokalna prędkość płynu, $m \cdot s^{-1}$;
- ρ_o – lokalna gęstość płynu na wlocie, $kg \cdot m^{-3}$;
- ρ_f – lokalna gęstość spalin, $kg \cdot m^{-3}$.

Wartość liczby Froude'a $Fr < 4,5$, obliczona równaniem (11), wyklucza możliwość powstania zjawiska odwróconego ruchu gazów POC.

Zaproponowane w opracowaniu (Tarada 2000) powiązanie różnicy gęstości między gorącymi POC z pożaru a otaczającym powietrzem ($\rho_o - \rho_f$) ze strumieniem ciepła reakcji termooksydacji $\dot{Q}_c$, prowadzi w rezultacie do zależności na oszacowanie krytycznej prędkości ruchu powietrza

$$v_{kryt} = \left(\frac{g H_k \dot{Q}_c}{\rho_o c_p A T_f Fr} \right)^{1/3} \quad (12)$$

Bezwymiarowa liczba Froude'a Fr , we wzorze (12), jest określana następującą zależnością empiryczną (Tarada 2000)

$$Fr = 4,5(1 + 0,0374|\min(\varphi)|^{0,8})^{-3} \quad (13)$$

gdzie φ – nachylenie wyrobiska, %.

W publikacji (Hwang, Edwards 1999) bezwymiarowa liczba Froude'a dla $p = \text{const}$ jest wyrażona następującym równaniem

$$Fr = \frac{gH_k}{v_o^2} \left(1 - \frac{T_o}{T_f}\right) \quad (14)$$

Wartość średniej temperatury T_f toksycznych związków POC, powstających podczas pożaru, można odnieść do ich strumienia masy, otrzymanej z równania entalpii gazu (Hwang, Edwards 1999)

$$T_f = T_o + \frac{\dot{Q}_c}{\rho_o A v_o c_p} \quad (15)$$

Z przeprowadzonych badań wynika, że zakres krytycznej prędkości dla liczby Froude'a zawiera się w granicach 4,5–6,7 m·s⁻¹. Można stwierdzić, że, jeśli prędkość powietrza w wyrobisku na wlocie v_o jest większa od określonej prędkości krytycznej v_{kryt} , wtedy nie nastąpi odwrócenie kierunku przepływu POC.

W pracy (Hwang, Edwards 2002) zaproponowano przedstawienie krytycznej prędkości wentylacji jako funkcję strumienia ciepła $\dot{Q}_c$ z reakcji termooksydacji według następującej zależności

$$v_{kryt} = \alpha Q_c^{1/5} \quad (16)$$

gdzie α – współczynnik proporcjonalności.

Eksperymentalne dane zawarte w opracowaniach (Hwang, Edwards 1999; Tarada 2000; Hwang, Edwards 2002) wskazują, że ilość powstających i gromadzących się w strefie pożaru POC jest zależna od prędkości powietrza na wlocie do wyrobiska v_o . Im wartość prędkości większa, tym mniejsze jest ryzyko powstawania POC.

W prądach schodzących, przeważnie w czasie trwania pożaru, obserwuje się zjawisko odwrócenia kierunku powietrza w bocznicy przez silnie nagrzane powietrze, w wyniku ciepła reakcji powietrze, wskutek wytworzenia depresji cieplnej. Zjawisko to jest dodatkowo potęgowane przez nachylenie wyrobiska. W przypadku schodzących prądów powietrza w wyrobisku o nachyleniu dodatnim, dla ustalonych warunków, zjawisko odwrotnego przepływu jest mniejsze, a co za tym idzie także propagacja związków POC. W przypadku wznoszących prądów powietrza w wyrobisku o nachyleniu dodatnim, dla ustalonych warunków, zjawisko zaistnienia odwrotnego przepływu jest potencjalnie większe, a co za tym idzie także propagacja związków POC.

W opracowaniu (Hwang, Edwards 2001) zaproponowano sposób szacowania ryzyka powstawania odwrotnego przepływu powietrza za pomocą liczby Froude'a, a więc za pomocą wskaźnika do obliczania prędkości krytycznej wentylacji v_{kryt}

$$Fr = \frac{gH_k(\rho_o - \rho_{c,min})}{\rho_o v_o^2} \quad (17)$$

gdzie:

H_k – geometryczna wysokość korytarza, m;

$\rho_{c,min}$ – minimalna gęstość płynu w obszarze przystropowym, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

3.3. Analiza wymiarowa przy prognozowaniu formowania się POC

W badaniach modelowych przewietrzania wyrobisk jest przestrzegane prawo podobieństwa zjawisk, bo tylko wtedy rezultaty uzyskane z modeli mogą być addytywne ze zjawiskami zachodzącymi w rzeczywistości lub w modelach o dowolnych wymiarach (Frant, Wrzesień 2002).

Za podobne uważa się takie dwa zjawiska, które są odwzorowywane przy wykorzystaniu geometrycznie podobnych układów i są opisane tymi samymi równaniami, przy stałym stosunku między jednakowymi wartościami. Oznacza to konieczność spełnienia warunku ruchu płynu w podobnych punktach, z podobnymi wartościami strumienia przepływu, działających sił itp. (Frant, Wrzesień 2002).

W pracy (Hwang, Edwards 2001) została podana zależność na oszacowywanie zasięgu ruchu POC wzdłuż wyrobiska z uwzględnieniem intensywności źródła pożaru

$$\frac{L}{H_k} = f\left(\frac{\dot{Q}_c}{A v_o^3 \rho_o} \cdot \frac{gH_k}{c_p(T_f - T_o)}\right) \quad (18)$$

gdzie:

H_k – geometryczna wysokość korytarza, m;

L – geometryczna szerokość korytarza, m.

W równaniu (18) pierwsza część zależności w nawiasie wyraża stosunek strumienia ciepła wydzielającego się podczas reakcji utleniania do energii kinetycznej ruchu powietrza wentylującego wyrobisko, natomiast druga część wyraża stosunek energii potencjalnej do energii cieplnej emisji gazów POC do otoczenia (Hwang, Edwards 2001).

Bezwymiarowa liczba Froude'a stanowi kryterium w analizie równowagi temperatury między modelem a układem rzeczywistym. Zależność tę opisuje stosunek prędkości do geometrycznej wysokości korytarza wyrobiska (Hwang, Edwards 2002)

$$\left(\frac{v_o}{\sqrt{H_k}}\right) = \left(\frac{v_o}{\sqrt{H_k}}\right)_{\text{MODEL}} \quad (19)$$

Powyższe równanie (19) jest prawidłowe przy spełnieniu następującego warunku (Hwang, Edwards 2002)

$$\left(\frac{\dot{Q}_c}{H_k^{5/2}} \right) = \left(\frac{\dot{Q}_c}{H_k^{5/2}} \right)_{\text{MODEL}} \quad (20)$$

Powiązanie geometrii układu z modelem prowadzi do uzyskania bezwymiarowego parametru wyrażającego krytyczną prędkości wentylacji v_{kryt} , definiowanego jako bezwymiarowa wartość tej prędkości wentylacji, która efektywnie zapobiega formowaniu się podstropowych warstw gazów POC oraz bezwymiarowego parametru wyrażającego strumień ciepła reakcji, opisanych następującymi zależnościami (Hwang, Edwards 2002):

$$v^* = \frac{v_o}{\sqrt{gH_k}} \quad (21)$$

$$\dot{Q}_c^* = \frac{\dot{Q}_c}{\rho_0 T_0 c_p \sqrt{gH_k^5}} \quad (22)$$

Według równań (21) i (22) dla małych wartości $\dot{Q}_c^*$, v^* wzrasta wraz z $\dot{Q}_c^*$, natomiast dla dużych wartości $\dot{Q}_c^*$, v^* jest w przybliżeniu stałe i niezależne od wartości $\dot{Q}_c^*$. Stąd łatwo zauważyć istnienie pewnej relacji między ciepłem reakcji spalania, a prędkością przepływu powietrza. W momencie wystąpienia pożaru w korytarzu o stałym przekroju poprzecznym, zmiana średniej prędkości POC jest spowodowana różnicą gęstości i wyrażona zależnością (Hwang, Edwards 2002)

$$v = \frac{\rho_o}{\rho_{sr}} v_o \approx \frac{T_{sr}}{T_o} v_o \quad (23)$$

gdzie:

T_{sr} – średnia temperatura między posadzką a stropem wyrobiska, K;

ρ_{sr} – średnia lokalna gęstość płynu, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Rozwiązując równanie (23) względem parametru v_o , otrzymuje się (Hwang, Edwards 2002)

$$v_o = 1,5 \left(\frac{T_o}{T_{sr}} \right) \left(\frac{\Delta T_{sr}}{\Delta T_f} \right) \left[\left(\frac{\Delta T_f}{T_{sr}} \right) g H_k \right]^{1/2} \quad (24)$$

Pomijając wpływ energii kinetycznej i potencjalnej, bilans energii dla rozpatrywanej, wyodrębnionej objętości kontrolnej (traktowanej jako przewód hydrauliczny) będzie miało postać (Hwang, Edwards 2002)

$$\dot{Q}_c = c_p \dot{m}_o \Delta T_{sr} = c_p \rho_o v_o A \Delta T_{sr} = c_p \rho_o v_o H_k^2 \Delta T_f \frac{\Delta T_{sr}}{\Delta T_f} \quad (25)$$

Rozwiązując równanie względem ΔT_f , otrzymuje się zależność na prędkość krytyczną v_{kryt} w wyrobisku korytarzowym (Hwang, Edwards 2002)

$$v_{kryt} = 1,5 \left(\frac{4}{\pi} \right)^{1/2} \left(\frac{T_o}{T_{sr}} \right)^{3/2} \left(\frac{\Delta T_{sr}}{\Delta T_f} \right)^{1/2} \left(\frac{g \dot{Q}_c}{\rho_o c_p T_o v_o H_k} \right)^{1/2} \quad (26)$$

Równanie (26) można doprowadzić do postaci bezwymiarowej (Hwang, Edwards 2002)

$$\frac{v_{kryt}}{\sqrt{g H_k}} = 1,42 \left(\frac{T_o}{T_{sr}} \right) \left(\frac{\Delta T_{sr}}{\Delta T_f} \right)^{1/3} \left(\frac{\dot{Q}_c}{\rho_o c_p T_o \sqrt{g H_k^5}} \right)^{1/3} \quad (27)$$

4. EFEKTY ZASTOSOWANIA METODY NUMERYCZNEJ CFD DO PROGNOZOWANIA ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ POC W WYROBISKU KORYTARZOWYM

W komputerowych metodach obliczeń z zakresu aerodynamiki są stosowane różne modele matematyczne opisujące ruch gazu, począwszy od równania Eulera a skończywszy na równaniach Naviera-Stokesa, umożliwiające analizowanie lepkości, przewodności cieplnej gazu oraz modelowanie rozmaitych przepływów burzliwych (turbulentnych) (Frant, Wrzesień 2002).

Niepodważalną zaletą stosowania metod numerycznych jest mały koszt budowy modeli badanych obiektów, łatwość ich modyfikacji oraz możliwość uzyskiwania całkowitych pól przepływu umożliwiających analizę ilościową i jakościową poszczególnych składników (Frant, Wrzesień 2002).

4.1. Przykład analizy CFD wpływu ruchu powietrza w wyrobisku korytarzowym kopalni na propagację POC, wykonanej na podstawie danych eksperymentalnych

Zastosowanie metod komputerowych CFD wymaga określenia następujących wielkości:

- geometrii badanego obiektu,
- rozkładu przestrzennego siatki,
- właściwości fizycznych badanego płynu i równania stanu,
- warunków brzegowych na wlocie i na wylocie,
- warunków początkowych,
- właściwości fizycznych ścian wyrobiska górniczego,

- schematu reakcji chemicznej,
- rozpatrzenia przepływu laminarnego i turbulentnego,
- czasu trwania zjawiska.

Nawiązując do publikacji (Hwang, Edwards 1999) na rysunku 2 przedstawiono schematycznie przekrój porzeczný górniczego wyrobiska podziemnego. W tablicy 1 podano otrzymane dane eksperymentalne dla przyjętego przypadku zagrożenia pożarem egzogenicznym spowodowanym zapaleniem się materiału łatwo palnego, w tym przypadku oleju napędowego.

Tablica. 1. Wyniki pomiaru wpływu prędkości przepływu powietrza wentylacyjnego na propagację produktów spalania POC (Hwang, Edwards 1999)

Lp.	Paliwo dm ³	Powierzchnia A, m ²	POC M, kg/s	v_1 m/s	v_g m/s	Ciepło pożaru Q, kW	v_i m/s
1	24	0,37	0,0089	2,6e-5	0,086	296	0
2	3	0,047	0,000866	2,1e-5	0,069	30	0
3	3	0,21	0,0022	1,2e-5	0,039	77	0,49
4	2	0,047	0,00051	1,2e-5	0,041	18	0,43
5	1	0,047	0,00056	1,4e-5	0,045	20	0,41
6	1	0,047	0,00081	2,0e-5	0,065	29	0,24
7	1	0,047	0,00059	1,4e-5	0,047	21	0,37
8	1	0,047	0,00078	1,9e-5	0,062	28	0,2
9	1,5	0,21	0,0015	3,65	0,12	93	0,32
10	0,7	0,047	0,00054	1,3e-5	0,043	19	0,32
11	1	0,21	0,0011	2,7e-5	0,088	38	0,3
12	0,5	0,047	0,00049	1,2e-5	0,039	16	0,3
13	1	0,21	0,002	5,3e-5	0,18	77	1,17
14	0,55	0,047	0,00035	8,5e-6	0,028	12	1,17

Dla małych wartości liczby Fr wystąpienie odwróconego kierunku przepływu warstwy mieszaniny powietrza i POC jest mało prawdopodobne. Przedział tych wartości dla wyników pomiaru zawartych w tablicy 1 mieści się w zakresie od 4,5 do 6,7. Można więc stwierdzić, że jeżeli prędkość ruchu powietrza w wentylowanym korytarzu jest znacznie większa od pewnej wartości krytycznej v_{kryt} , wówczas nie wystąpi zjawisko odwrócenia kierunku przepływu POC.

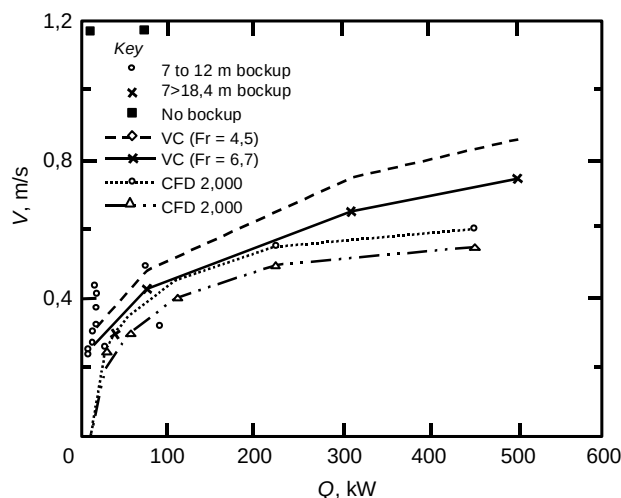
Na rysunku 5 przedstawiono v_{kryt} obliczoną z równań (14) i (15) dla liczby Froude'a wynoszącej 4,5 i 6,7 dla zakresu intensywności strumienia ciepła pożaru, wynoszącego od 10 do 500 kW.

Przystropowa warstwa produktów spalania dłuższa aniżeli 18,4 m zaobserwowana podczas pomiaru (punkty 6, 8 i 11), odnotowanych w tablicy 1, odpowiada przepływowi powietrza od prędkości mniejszej od prędkości krytycznej, odpowiadającej liczbie Froude'a 6,7.

W pracy (Hwang, Edwards 1999) zastosowano program komputerowy CFD2000 w celu określenia początku odwrócenia kierunku przepływu w odległości 0,20 m od stropu wyrobiska górniczego.

W tym celu, geometrycznie, zasięg związków POC z pożaru przedstawiono jako powierzchnię A_p wzdłuż wyrobiska górniczego, zaś v_{kryt} zdefiniowano jako przepływ

laminarny, poniżej którego zaobserwowano wystąpienie odwróconego przepływu POC w obrębie strefy pożaru (Hwang, Edwards 1999). Wpływ prędkości ruchu powietrza na powstawanie strumienia ciepła ze spalania oleju napędowego przedstawiono w tablicy 2.



Rys. 5. Wpływ krytycznej prędkości powietrza wentylacji V , inicjującej odwrotny kierunek przepływu związków POC, na wzrost strumienia ciepła reakcji termooksydacji Q , uzyskanej techniką CFD (Hwang, Edwards 2002)

Fig. 5. Influence of critical ventilation air velocity V , initiating reverse direction of compounds POC flow, on the increase of heat flux of thermooxidation reaction Q , obtained with the use of CFD technique (Hwang, Edwards 2002)

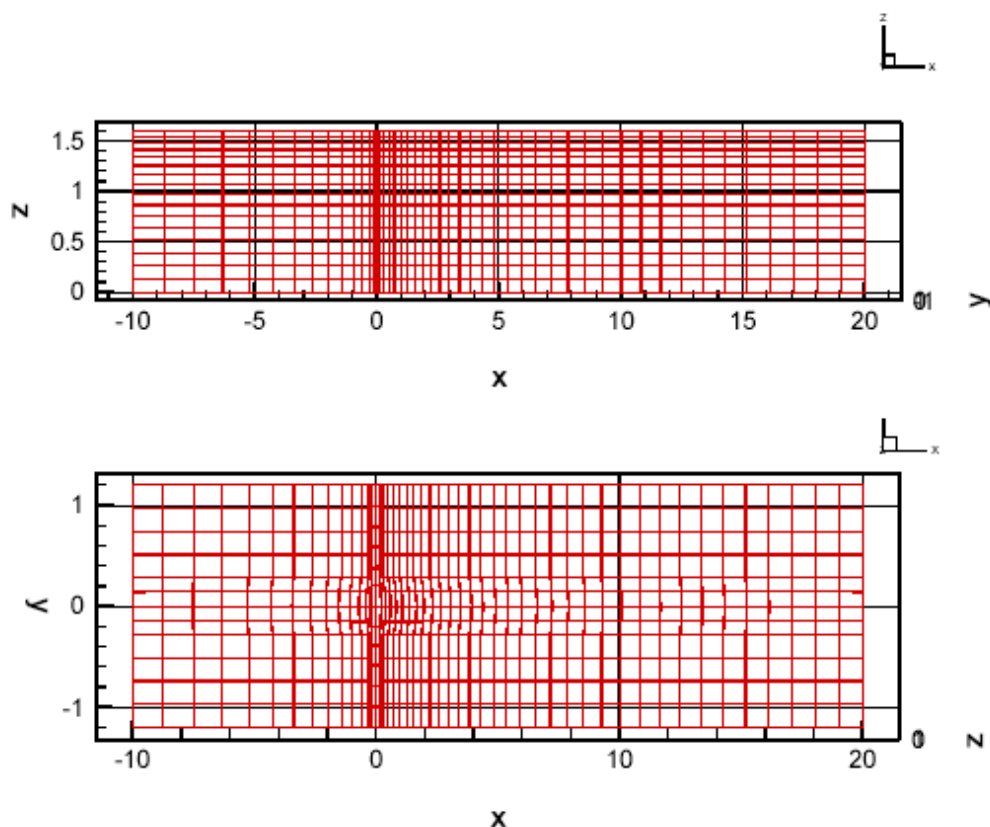
Tablica 2. CFD2000 – prędkość krytyczna v_{kryt} (Hwang, Edwards 2002)

Lp.	Powierzchnia pożaru A_p , m ²	Ciepło pożaru Q , kW	Prędkość krytyczna v_{kryt} , m/s
1	0,0234	14	0,01–0,025
2	0,0471	28	0,20–0,25
3	0,0942	56	0,30–0,35
4	0,188	112	0,40–0,45
5	0,377	225	0,50–0,55
6	0,753	449	0,55–0,60

W wyniku zastosowania metody CFD w powyższych badaniach uzyskano mniejsze wartości prędkości krytycznej v_{kryt} od wartości, jakie wyznaczono na podstawie liczby Froude'a wynoszącej 6,7 (Hwang, Edwards 1999).

4.2. Przykład opracowania modelu geometrycznego i rozmieszczenia siatki badanego układu

Na rysunku 6 przedstawiono przykład trójwymiarowej siatki dla badanego układu; analizowano wyrobisko tunelowe długości 49 m, szerokości 13 m, wysokości 17 m oraz prognozowanej średnicy pożaru wynoszącej 0,8 m. Dla średnicy płomienia 0,4 m zastosowano siatkę o wymiarach 51×13×18 (Hwang, Edwards 1999).

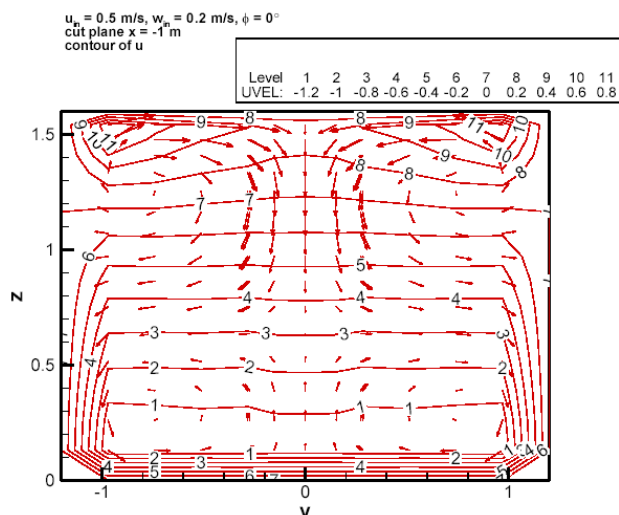


Rys. 6. Geometria analizowanego układu wraz z rozkładem przestrzennym siatki dla potrzeb analizy CFD (Hwang, Edwards 1999)

Fig. 6. View of analysed arrangement geometry alongside with a spatial distribution of network for needs of CFD analysis (Hwang, Edwards 1999)

4.3. Przykład zastosowania programu CFD do prognozowania krytycznej prędkości wentylacji v_{kr}^* w wyrobisku korytarzowym

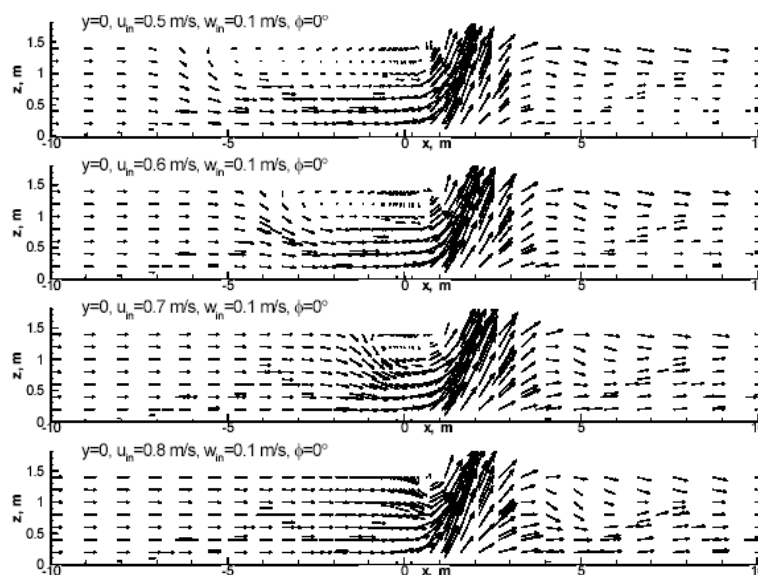
Na rysunku 7 przedstawiono przykład wykorzystania metody numerycznej CFD do prognozowania rozkładu ruchu mas powietrza wentylowanego wyrobiska w wyniku wystąpienia pożaru egzogenicznego. Łatwo zauważyć, że w wyniku przemieszczania się gorących gazów POC do dołu korytarza, jest widoczny turbulentny przepływ zimnych warstw powietrza do ścian wyrobiska, spowodowany utratą stateczności przepływającego powietrza wzdłuż rozpatrywanego układu (Hwang, Edwards 1999).



Rys. 7. Rozkład pól ruchu powietrza i prognozowanego ruchu warstwy POC w przekroju poprzecznym wyrobiska w odległości $x = -1 \text{ m}$ (w nawiązaniu do rys. 5) od obszaru objętego pożarem (Hwang, Edwards 1999)

Fig. 7. Schedule of air movement fields and forecasted movement of POC layer in transverse section of excavation at a distance $x = -1 \text{ m}$ (in connection with Fig. 5) from an area engulfed with the fire (Hwang, Edwards 1999)

Wyniki analizy CFD rozkładu pola prędkości w płaszczyźnie $Y-Z$ wyrobiska korytarzowego w położeniu $Y = 0$ w funkcji prędkości powietrza na wlocie do układu v_o (na rys. 8 oznaczonego u_{in}) (Hwang, Edwards 1999) przedstawiono na rysunku 8.



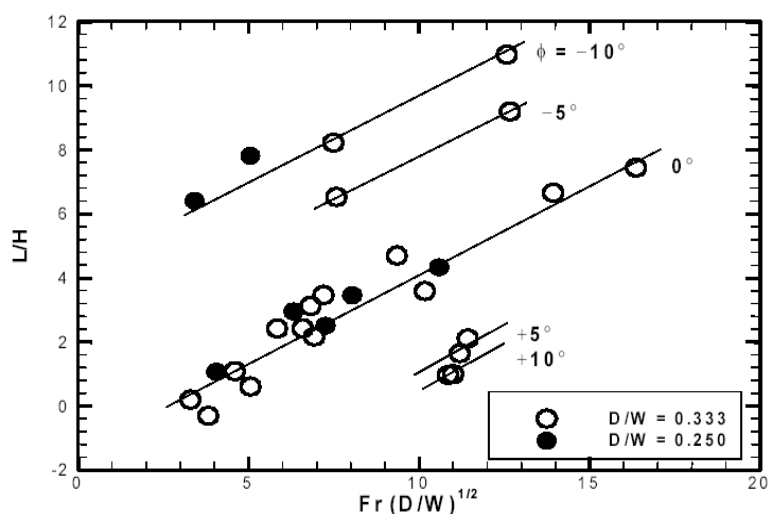
Rys. 8. Rozkład pola przepływu prognozujący zjawisko odwróconego przepływu dla rozmaitych warunków, przy zerowym nachyleniu wyrobiska (Hwang, Edwards 1999)

Fig. 8. Distribution of flow field, forecasting a reverse flow phenomenon for various conditions, at zero inclination of excavation (Hwang, Edwards 1999)

W przypadku zwiększania prędkości powietrza na wlocie do wyrobiska v_o , zasięg wystąpienia odwróconego przepływu warstwy POC można ograniczyć przez zintensyfikowanie składowej prędkości ruchu powietrza wzdłuż osi X badanego układu (Hwang, Edwards 1999).

4.4. Wpływ nachylenia wyrobiska na krytyczną prędkość wentylacji v_{kr}^*

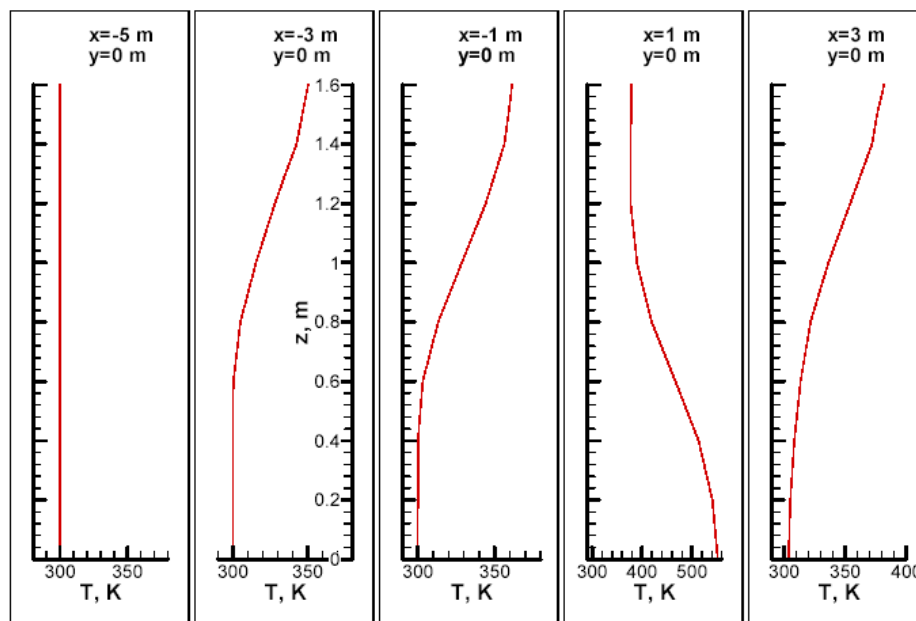
Jak już wspomniano zasadnicze znaczenie w prognozowaniu przepływu warstwy POC ma nachylenie wyrobiska. Dodatnie ($+\phi$) nachylenie wyrobiska powoduje zmniejszenie zasięgu wystąpienia odwróconego kierunku przepływu warstwy POC, natomiast ujemne ($-\phi$) nachylenie powoduje jego zwiększenie. Wpływ obszaru wystąpienia pożaru na zasięg propagacji warstwy POC określa parametr $(D/W)^{1/2}$. Jest to parametr bezwymiarowy uwzględniający intensywność źródła pożaru (Hwang, Edwards 1999).



Rys. 9. Wpływ stosunku długości warstwy POC do wysokości wyrobiska L_k/H_k do iloczynu liczb Froude'a oraz obszaru pożaru $Fr(D/W)^{1/2}$ dla różnych wartości nachylenia korytarza ϕ (Hwang, Edwards 1999)

Fig. 9. Influence of relation of POC layer length to height of excavation L_k/H_k , to product of Froude numbers, and to an area of fire $Fr(D/W)^{1/2}$ for different values of heading inclination ϕ (Hwang, Edwards 1999)

Przykład analizy CFD prognozowania wpływu krytycznej prędkości wentylacji v_{kr}^* na rozkład pól temperatury POC wzdłuż wysokości wyrobiska korytarzowego przedstawiono na rysunku 10:



Rys. 10. Prognoza rozkładu temperatury wzdłuż wysokości korytarza w punkcie płaszczyzny $Y = 0$ przy różnych wartościach współrzędnej X (Hwang, Edwards 1999)

Fig. 10. Prognosis of temperature distribution along heading height in a point of plane $Y = 0$ at different coordinate X values (Hwang, Edwards 1999)

WNIOSKI

Na podstawie danych literaturowych można sformułować następujące wnioski:

- Zastosowanie metod numerycznych CFD umożliwia przedstawienie w sposób jakościowy przepływu produktów spalania wzdłuż wyrobiska korytarzowego. Uzyskane profile rozkładu prędkości gazu i temperatury wzdłuż układu modelowego są porównywalne z wynikami zaobserwowanymi na rzeczywistym układzie.
- Zastosowanie metod numerycznych CFD do modelowania rozprzestrzeniania się toksycznych produktów spalania w warunkach czynnej wentylacji wyrobiska korytarzowego wykazuje, że prognozowanie wpływu krytycznej prędkości ruchu powietrza dla prądów niezależnych na zjawisko formowania się odwróconego przepływu daje zadawalające wyniki, porównywalne z wynikami otrzymywanymi przy zastosowaniu bezwymiarowej liczby Froude'a.
- Metody numeryczne CFD pozwalają na uwzględnienie w obliczeniach wartości ciśnienia na wyjściu z wyrobiska i jednolity rozkład prędkości powietrza wpływającego do badanego układu. W rzeczywistych układach, w których zastosowano wentylatory wymuszające przepływ powietrza w wyrobisku górniczym, w momencie wystąpienia pożaru egzogenicznego powstające gazy ze spalania wymuszają

(w sposób fizyczny) redukcję prędkości przepływającego powietrza w wyniku strat energii na skutek lokalnych oporów przepływu.

- Bardzo istotny wpływ na rozprzestrzenianie się produktów spalania mają rozmiar i geometria badanego układu, w tym powierzchnia przekroju poprzecznego wyrobiska.
- Należy podkreślić, że wspomaganie metodami numerycznymi CFD i techniką komputerową projektowania przyszłych dróg ewakuacyjnych z wyrobisk górniczych, przyczyni się znacznie do skrócenia czasu i obniżenia kosztów opracowania scenariuszy wystąpienia zagrożeń związanych wystąpieniem pożarów egzogenicznych.

Literatura

1. Bielewicz T., Prus B., Honysz J. (1993): *Górnictwo*, część II. Katowice, Śląskie Wydaw. Techniczne.
2. Frant M., Wrzesień S. (2002): *Wybrane problemy stosowania algorytmów CFD w seryjnych obliczeniach zagadnień mechaniki płynów*. Materiały XV Krajowej Konferencji Mechaniki Płynów, Augustów, 23–26 września, 2002.
3. Grant G.B., Jagger S.F., Lea C.J. (1998): *Fires in tunnels*. Phil. Trans. R. Soc. London A 356.
4. Hoffman J., Johnson C. (2004): *Computability and adaptivity in CFD*. Encyclopedia of Computational Mechanics. John Wiley & Sons, Ltd.
5. Hwang C.C., Edwards J.C. (1999): *CFD Analysis of Mine Fire Smoke Spread and Reverse Flow Conditions*. Proceeding of the 8th U.S. Mine Ventilation Symposium.
6. Hwang C.C., Edwards J.C. (2001): *CFD Modeling of smoke reversals*. Proceeding of the International Conference of Engineering Fire Protection Design. Bethesda, Maryland, USA: Society of Fire Protection Engineers, s. 376–387.
7. Hwang C.C., Edwards J.C. (2002): *The critical ventilation velocity in tunnel fire – a computer simulation*. Fire Safety J. Vol. 37.
8. Liang K.M., Ma T., Quintiere J.G., Rouson D. (2003): *Application of CFD Modeling to Room Fire Growth on Walls*. NIST GCR 03-849, U.S. Department of Commerce.
9. Ma T.G., Quintiere J.G. (2003): *Numerical Simulation Of Axi-Symmetric Fire Plumes: Accuracy And Limitations*. University of Maryland. National Institute of Standards and Technology.
10. Pawiński J. (1979): *Przewietrzanie kopalń*. Katowice, Wydaw. Śląsk.
11. Poniewierski A., Hołyst R., Ciach A. (2003): *Termodynamika dla chemików, fizyków i inżynierów*. Warszawa, Instytut Chemii Fizycznej PAN i Szkoła Nauk Ścisłych.
12. Sawicki T. (2003): *Tworzywa sztuczne a zagrożenie pożarowe*. Bezpieczeństwo Pracy nr 7–8, s. 43–45.
13. Tarada F. (2000): *Critical Velocities for Smoke Control in Tunnel Cross-Passages*. Paper presented at the First International Conference on Major Tunnel and Infrastructure Projects, 22–24 May 2000, Taipei, Taiwan.

Recenzent: dr Zdzisław Dyduch

