

**ZESZYTY NAUKOWE
UNIwersYTETU ZIELONOGÓRSKIEGO
NR 153**

INŻYNIERIA ŚRODOWISKA – 33

ZIELONA GÓRA • 2014

REDAKCJA ZESZYTU NAUKOWEGO:

dr hab. inż. Andrzej Greinert, prof. nadzw. (*Redaktor Naczelny*)

Redaktorzy tematyczni:

prof. dr hab. inż. Andrzej Jędrzak

dr hab. Urszula Kołodziejczyk, prof. nadzw.

dr hab. Zofia Sadecka, prof. nadzw.

dr hab. Marlena Piontek, prof. nadzw.

dr hab. Zygmunt Lipnicki, prof. nadzw.

Sekretarz:

dr inż. Magda Hudak

RADA WYDAWNICZA:

dr hab. inż. Andrzej Pieczyński, prof. UZ (*Przewodniczący*),

mgr Ryszard Błażyński (*Sekretarz*),

Członkowie: prof. dr hab. inż. Marian Adamski, prof. dr hab. Beata Ga-

bryś, prof. dr hab. Marian Nowak, dr hab. inż. Michał Drab, prof. UZ,

dr hab. inż. Van Cao Long, prof. UZ, dr hab. inż. Anna Walicka, prof.

UZ, dr hab. inż. Krzysztof Witkowski, prof. UZ, dr hab. Bohdan Hal-

czak, prof. UZ, dr hab. Zdzisław Wołk, prof. UZ, dr Rafał Ciesielski

Wydano za zgodą J.M. Rektora Uniwersytetu Zielonogórskiego

ISSN 1895-7323

Skład komputerowy: dr hab. inż. Andrzej Greinert, prof. nadzw.

SPIS TREŚCI

Michał Janicki, Agata Bąk, Radosław Wróbel – Redukcja ilości ubocznych produktów spalania biomasy w kotle małej mocy poprzez zastosowanie okładziny ceramicznej	5
Elżbieta Musztyfaga, Mateusz Cuske, Ewa Pora, Katarzyna Szopka – Wpływ działalności zakładów chemicznych „Złotniki” we Wrocławiu na środowisko glebowe terenów przyległych w świetle całkowitej zawartości metali ciężkich	16
Jarosław Kaszubkiewicz, Ewa Pora, Mateusz Cuske, Elżbieta Musztyfaga – Przebieg zmian zasolenia w glebach zalanych wodami nadosadowymi ze zbiornika odpadów poftotacyjnych Żelazny Most	23
Mateusz Cuske, Ewa Pora, Elżbieta Musztyfaga, Bernard Gałka – Ewaluacja prac rekultywacyjnych zwałowiska wewnętrznego odkrywki węgla brunatnego „Adamów”, w KWB Adamów	32
Grzegorz Gabryś, Agnieszka Ważna, Krzysztof Nowakowski, Adrianna Kościelska, Jan Cichocki – Problemy ochrony ssaków (<i>Mammalia</i>) w województwie lubuskim	41
Damian Markulak – Pomniki przyrody gminy Gubin i Brody.....	56
Agnieszka Tokarska-Osyczka, Grzegorz Iszkuło – Waloryzacja przyrodniczo-krajobrazowa, kulturowa oraz ocena atrakcyjności turystycznej gmin na terenie Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego	67
Bogusław J. Wojtyszyn – Modernizacja madryckiej dzielnicy Carabanchel w aspekcie zrównoważonego rozwoju miasta	82
Jacek Partyka, Zygmunt Lipnicki – Koncepcja stanowiska do badania procesu krzepnięcia w wilgotnych budowlanych materiałach porowatych	93
Maria Włodarczyk-Makuła, Agnieszka Turek, Agnieszka Obstój – Wpływ promieniowania UV na zmiany stężenia benzo-fluorantenów w ściekach	100
Magdalena Czarna – Skuteczność środków chemicznych stosowanych do likwidacji śliskości zimowej	110
Tomasz Teleszewski – Symulacja konwekcji wymuszonej w przewodach prostoosiowych przy przepływie laminarnym metodą elementów brzegowych	117

MICHAŁ JANICKI*, AGATA BĄK, RADOSŁAW WRÓBEL**

**REDUKCJA ILOŚCI UBOCZNYCH PRODUKTÓW
SPALANIA BIOMASY W KOTLE MAŁEJ MOCY
POPRZECZ ZASTOSOWANIE OKŁADZINY CERAMICZNEJ**

Streszczenie

Artykuł przedstawia wyniki testu, mającego na celu redukcję masy popiołu powstającego w procesie spalania, poprzez zastosowanie okładziny ceramicznej wewnątrz komory spalania. Do badań wytypowano kocioł na biomase, powszechnie stosowany na rynku krajowym. Jednostka jest zaopatrzona w palnik dostosowany do spalania pelletu drewnianego oraz ziarna owsa. Testy prowadzono na wspomnianych paliwach oraz ich mieszance w układzie ciągłej i cyklicznej pracy kotła.

Słowa kluczowe: kocioł małej mocy, palnik na biomase, biomasa, pellet drewniany, ziarno owsa, popiół, uboczne produkty spalania, ceramika glinokrzemianowa, gęstość nasypowa.

WSTĘP

W zakresie surowców energetycznych odnawialnych zasobów energetycznych największy udział w bilansie krajowym, bo 85,8%, stanowią biopaliwa pochodzenia rolniczego oraz leśnego [GUS 2011]. W zakresie upraw rolniczych na cele energetyczne wytwarzane są głównie zasoby wynikające z produkcji zbóż oraz rzepaku i rzepiku. W produkcji leśnej największe zasoby, ze względu na największą powierzchnię, bo 78%, posiada Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe [Janicki i Janicka 2010]. W zakresie plantacji energetycznych coraz większym zainteresowaniem cieszy się produkcja biomasy drzewnej. Gatunki, których uprawa stanowi zagajnik o krótkiej rotacji, tj.: wierzby, topole i brzozy, określone zostały w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 11 marca 2010 r. [Dz. U. 39/2010].

Niezależnie od rodzaju upraw, krajowe zasoby biomasy wykorzystywanej na

* Ove Arup & Partners International Ltd. Sp z o.o. Oddział w Polsce

** Politechnika Wrocławska, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn (I-16)

cele energetyczne uzależnione są od wskaźnika plonowania, który z każdym rokiem przyjmuje inną wartość [Janicka i Janicki 2010]. Prócz zróżnicowania zasobów, biomasa charakteryzuje się niejednorodnością w składzie fizycznym jak i chemicznym, przez co jest uważana za paliwo uciążliwe, zarówno na etapie pozyskania jak i użytkowania.

W procesie szacowania rzeczywistego potencjału energetycznego biomasy, niezwykle istotne jest zróżnicowanie jej ze względu na charakterystykę plonowania [Janicka, Janicki 2010] oraz możliwości termicznego jej przekształcenia, uwzględniające ilość powstającego popiołu.

METODYKA

W celu dokonania obserwacji tworzenia ubocznych produktów spalania, powstających w wyniku procesu spalania biomasy, przeprowadzono testy, spalając biomasę o różnej charakterystyce. Rodzaj biomasy miał spełniać warunek powszechnej dostępności i stosowalności. Jako jednostkę cieplną wytypowano kocioł seryjnie produkowany przez firmę Kostrzewa, przeznaczony dla gospodarstw domowych. Kocioł ten przystosowany jest do spalania pelletu o średnicy 6 i 8 mm (maksymalnej wilgotności do 12% i zapopieleniu 1,5%) oraz owsa (o wartości wilgotności do 15%). Jednostka składa się z: okrągłego stalowego wymiennika, palnika Platinum BIO o mocy 10 kW, zasobnika i sterownika pracy całego systemu grzewczego. Schemat kotła przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat badanego kotła
Fig. 1. Scheme of tested boiler

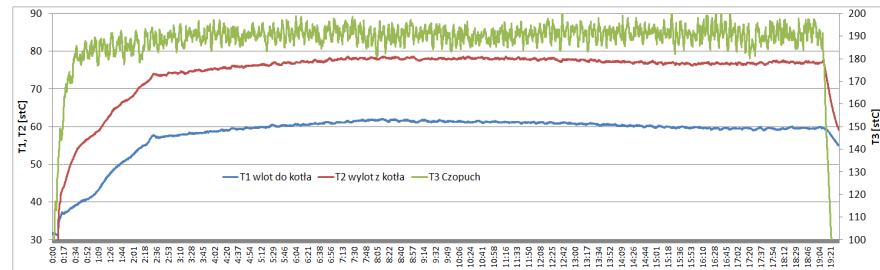
Ze względu na przeznaczenie kotła do spalania pelletu drewnianego i ziarna owsa, testy prowadzono przy użyciu dedykowanych paliw, a także mieszanki 1:1 (wagowo) obu paliw (rys. 2).



Rys. 2. Rodzaje spalanej paliwa: A – ziarno owsa, B – mieszanka pelletu i owsa, C – pellet drewniany.

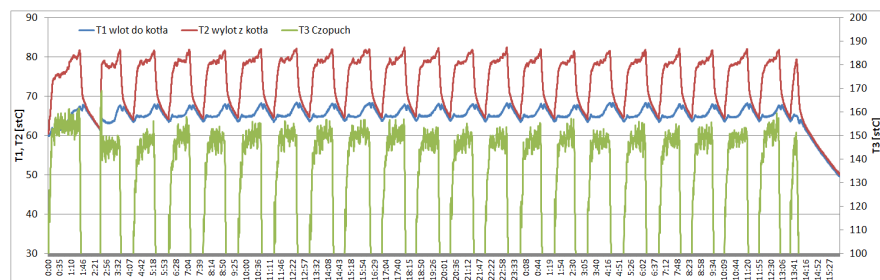
Fig. 2. Types of burned fuels: A - grains of oats, B – mixture of wooden pellets and oats, C – wooden pellets

Obserwacje prowadzono, spalając paliwa w układzie długookresowym i systemach: ciągłym i cyklicznym. System ciągły polegał na tym, że zapewniono na układzie odbioru ciepła takie warunki, dzięki którym nie doprowadzono do wygaszania kotła. Z kolei w systemie cyklicznym umożliwiono osiągnięcie wartości maksymalnej temperatury na wylocie kotła (80°C) w celu przechodzenia procesu spalania w stan wygaszania, a po wychłodzeniu wody w układzie odbioru ciepła, ponownego, automatycznego rozpalania. Zadaniem pomiaru w systemie cyklicznym było doprowadzenie do utrzymania systematycznych cykli godzinowego procesu spalania. Przykładowe szeregi czasowe poziomu temperatury dla obu systemów przedstawiają rysunki 3 i 4.



Rys. 3. Szereg czasowy poziomu temperatury, rejestrowany podczas spalania pelletu drewnianego w systemie ciągłym.

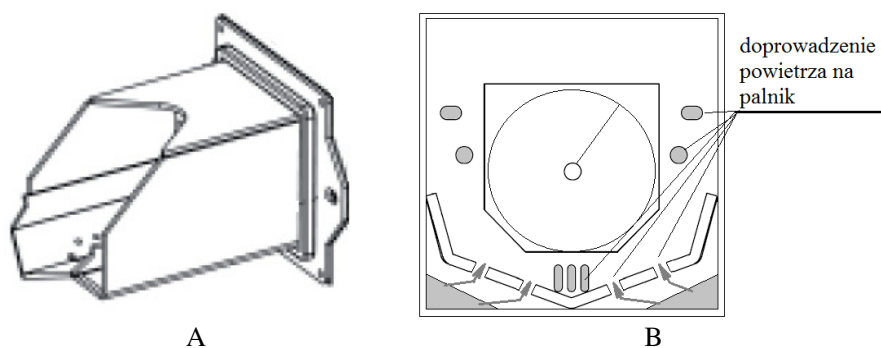
Fig 3. Time series of temperature levels recorded during pellets burning in a continuous system



Rys. 4. Szereg czasowy poziomu temperatury, rejestrowany podczas spalania pelletu drewnianego w systemie cyklicznym

Fig 4. Time series of temperature levels recorded during pellets burning in a cyclic system

Palnik przystosowany do spalania granulatu i ziarna, składa się z podajnika ślimakowego, transportującego paliwo oraz układu doprowadzenia powietrza bezpośrednio na ruszt. Sterowanie procesem spalania jest algorytmem prędkości podsuwu materiału palnego oraz obrotów wentylatora podmuchowego. Paliwo bezpośrednio z zasobnika, za pomocą układu transportu i podawania, jest kierowane poziomo na ruszt, gdzie następuje jego zapłon i płomieniowe spalanie. Natomiast strumień powietrza rozdzielany jest za pomocą otworów w przedniej ścianie palnika – strefie zapłonu (rys. 5 B), oraz otworów w stalowej kształtce rusztu, napowietrzającej paliwo w dolnej jego części (rys. 5 A i B). Schemat palnika przedstawiono na rys. 5, gdzie: A – rzut części palnika, widocznej od strony wewnętrznej kotła, B – rzut przedniej ściany z zaznaczonymi otworami napowietrzającymi strefę palnika.



Rys. 5. Schemat palnika badanego kotła
Fig 5. Scheme of tested boiler burner

Proces spalania prowadzono na nastawach, utrzymujących możliwie taką samą wartość stężenia tlenu na wylocie z kotła. Dla wszystkich cykli pomiaro-

wych starano się utrzymać stężenie tlenu na czopuchu na poziomie najbardziej zbliżonym do 10%. Ustabilizowanie procesu spalania pelletu drewnianego osiągnięto w sposób łatwiejszy, najtrudniej optymalizowanie strumienia paliwa doprowadzanego na palnik do ilości doprowadzanego powietrza, osiągnano podczas spalania ziarna zboża. Tym samym średnia wartość stężenia tlenu na czopuchu podczas cykli spalania pelletu mieściło się w zakresie 10,1-10,9%, mieszanki 10,8-11,3%, ziarna owsa 11,0-11,7%.

Dane literaturowe wykazują znaczącą różnicę w spalaniu ziaren owsa i pelletu drewnianego. Maria Olsson [Olsson 2006] w swojej rozprawie wykazała, że jedynie 57% suchej masy ziarna owsa uległo spalaniu, tymczasem dla pelletu drewnianego udział ten wynosił 98%. W oparciu o powyższe, autorzy testu, spodziewając się wystąpienia znacznie większych ilości popiołów przy spalaniu ziarna owsa, do testów zróżnicowali ilość wsadu, w podziale na rodzaj paliwa. Masę wsadu w poszczególnych sesjach pomiarowych określono w tabeli 1.

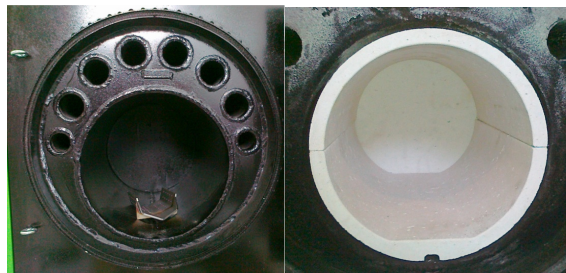
Tabela 1. Masa wsadu wykorzystywana w jednym cyklu pomiarowym, w zróżnicowaniu na rodzaj spalanego paliwa

Table 1. The mass of the load in one measuring cycle, in the diversification of the type of fuel burned

Opis cyklu pomiarowego	Pellet drewniany				Mieszanka pelletu i owsa				Ziarno owsa	
	z ceramiką		bez ceramiki		z ceramiką		bez ceramiki		z ceramiką	bez ceramiki
	System ciągły	System cykliczny	System ciągły	System cykliczny	System ciągły	System cykliczny	System ciągły	System cykliczny	System cykliczny	System ciągły
Masa paliwa	[kg]									
	100	100	100	100	80	80	80	80	40	40

Testy prowadzono przy zastosowaniu standardowej konstrukcji komory spalania, jak również w komorze modyfikowanej. Standardowa konstrukcja komory spalania to komora cylindryczna, wykonana ze stali kotłowej, seryjnie oferowanej przez producenta kotła. Modyfikowana to komora wyłożona dwucentymetrową warstwą ceramiki glinokrzemianowej. Zastosowanie ceramiki miało na celu uzyskanie podwyższonej temperatury spalania w kotle w stosunku do

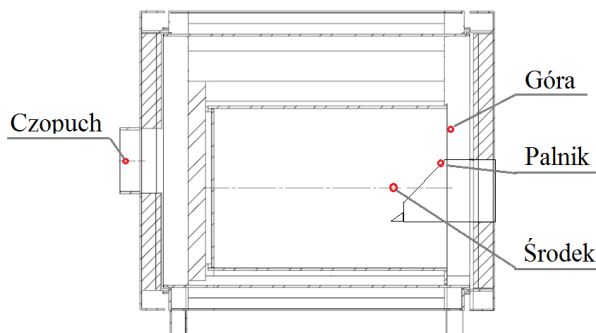
założeń projektowych. Widok komory spalania bez wypełniania i z wypełnieniem ceramicznym przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Komora spalania w podstawowym standardzie (widok po lewej)
i z wkładem ceramicznym (widok po prawej)

Fig. 6. The combustion chamber in the basic standard (the view on the left)
and with ceramic cartridge (the view on the right)

Rejestrację poziomu temperatury w trakcie testów prowadzono wewnątrz komory spalania (w górnej i środkowej części) oraz przy palniku, a także na wylocie gazów spalinowych z kotła (na czopuchu), co przedstawiono na rys. 3 i 4. Do pomiaru temperatury wykorzystano układ pomiarowy oparty na termoparach typu K w systemie gwiazdowym z miernikiem Tenmars, współpracującym z rejestratorem PC. Lokalizację termopar w bezpośredniej okolicy palnika (wewnątrz komory spalania) przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Rozmieszczenie termopar wewnątrz komory spalania

Fig. 7. Location of thermocouples inside of the combustion chamber

Analizę ilościową popiołu ze spalania biomasy wykonano metodą wagową. Pomiar masy popiołu i spieków prowadzono po każdym cyklu pomiarowym z nagromadzenia na palniku, z dna komory spalania (często określane jako popiół denny) oraz z płomienia.

Wyniki testów pomiarowych i dyskusja

Na podstawie prowadzonej rejestracji poziomu temperatury otrzymano szeregi czasowe, które zestawiono i poddano analizie porównawczej. Ze względów organizacyjnych, porównaniu poddano szeregi czasowe testów spalania trzech wytypowanych paliw, w układzie ciągłym w komorze z wypełnieniem ceramicznym i bez wypełnienia. Średnie wartości temperatury zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Średnie wartości poziomu temperatury wewnątrz komory spalania i na czopuchu

Table 2. Mean values for the level of the temperature inside the combustion chamber and on the chimney flue

Temperatura [°C]					
Opis		Góra	Środek	Palnik	Czopuch
Pellet	bez ceramiki	737,8	538,3	497,9	174,1
	z ceramiką	873,6	856,0	744,7	190,2
	ΔT	135,8	317,7	246,8	16,0
Mieszanka	bez ceramiki	522,3	399,1	322,2	114,8
	z ceramiką	593,0	592,8	407,0	146,2
	ΔT	70,7	193,7	84,8	31,4
Owies	bez ceramiki	344	229,3	283,5	82,3

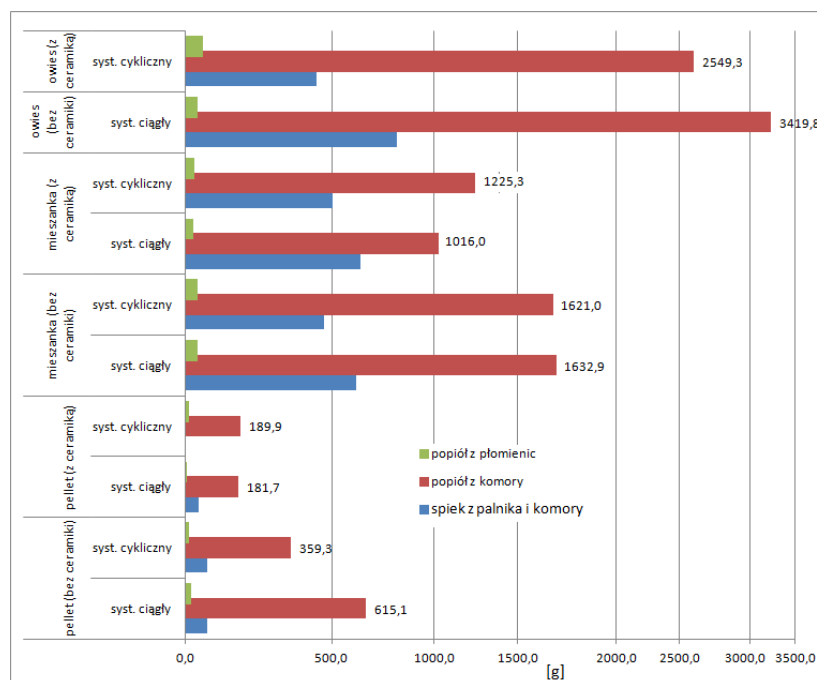
Z przedstawionych wyników rozkładu temperatury wynika, że zastosowanie okładziny ceramicznej w komorze spalania nie tylko podwyższyło temperaturę w komorze spalania, ale przede wszystkim zmniejszyło różnice średnich wartości temperatur pomiędzy punktami pomiarowymi. Wnioskuje się, że w wyniku zastosowania wkładu ceramicznego strefy termiczne komory spalania zostały ujednolicone. Dodatkowo okładzina ceramiczna spowodowała (w komorze spalania) podwyższenie temperatury w wyższym stopniu w stosunku do stanu podstawowego w testach prowadzących spalanie pelletu, niż w przypadku mieszanki paliw. Równocześnie odnotowano podwyższenie straty kominowej podczas spalania mieszanki paliw (w odróżnieniu do samego pelletu), wynikającej z podwyższenia różnicy temperatury spalin na czopuchu, w stosunku do parametrów podstawowych.

Najwyższe temperatury osiągnięto przy spalaniu pelletu, najniższe przy spalaniu owsa. Wynika to z różnicy wartości opałowej stosowanych paliw ($Q^a_{\text{pelletu}} = 17319 \text{ kJ/kg}$ $Q^a_{\text{owsa}} = 15842 \text{ kJ/kg}$), przy założeniu jednakowego strumienia

doprowadzanego paliwa i odpowiadającej mu ilości powietrza, utrzymującej na wylocie z kotła wartość tlenu na poziomie zbliżonym do 10%.

Zaobserwowano również największą stabilność w przebiegach szeregów czasowych wartości temperatury przy spalaniu pelletu. Wiąże się to z najwyższą jednorodnością paliwa w stosunku do pozostałych paliw oraz dostosowania rusztu palnika do spalania pelletu.

Po zakończeniu cykli pomiarowych wykonano pomiar masy popiołu i żużla z palnika, dna komory spalania i płomienic. Aby umożliwić dokonanie oceny porównawczej, przeliczono ilości popiołu proporcjonalnie do ilości doprowadzonego paliwa (określonego w tabeli 1), ustanawiając masę wsadu na poziomie 100 kg dla każdego cyklu pomiarowego. Wyniki przeprowadzonych testów, w rozbiciu na cykle pomiarowe opisane wg. organizacji badań przytoczonej powyżej, przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Masa popiołu i żużla ze spalania 100 kg biomasy w różnych warunkach

Fig. 8. The weight of ash and slag from burning of 100 kg of biomass in different conditions

W oparciu o przeprowadzone testy badawcze stwierdza się, że największą masę popiołu i żużla, pochodzącą z cykli pomiarowych, uzyskano podczas spalania owsa, natomiast najmniejszą ze spalania pelletu. Ma to istotne znaczenie ze

względem na stratę niecałkowitego spalania i wpływ straty na sprawność termicznego wykorzystania biomasy, ale również jest istotnym parametrem w procesie organizacji systemu gromadzenia i odprowadzania popiołu w komorze.

Charakterystyka spalania owsa, zaczerpnięta z literatury [Kruczek 2001], dostarcza informacji o rozpoczęciu się procesu spalania płomieniowego (po etapie odparowania i odparowaniu lotnych związków) w temperaturze 400-450°C (mierząc w złożu paliwa) z widocznymi fragmentami nienaruszonej struktury ziaren; następnym etapem jest zwęglenie ziarna paliwa, przy nieznacznym wzroście temperatury w złożu do 450-500°C. Oba etapy trwały po 1-2 minuty. Następnie występuje etap płomienia tłącego i znaczący spadek temperatury, czego nie zaobserwowano podczas spalania pelletu. Kolejnym etapem, po płomieniu tłącym, jest etap żarzenia (wyświecania), który w przypadku pelletu trwał ok. 20 minut, natomiast w przypadku owsa zdecydowanie krócej. Początkowemu etapowi spalania obu rodzajów biomas towarzyszyły największe poziomy stężenie związków organicznych w odniesieniu do pozostałych etapów. Te same źródła literaturowe określają największą efektywność i najmniejszą emisję lotnych związków organicznych podczas spalania pelletu drewnianego.

W wyniku przeprowadzonego testu, odnotowano redukcję masy ubocznych produktów spalania z procesu spalania pelletu drewnianego, ziarna owsa, jak i mieszanek obu paliw, poprzez zastosowanie ceramiki w komorze spalania. Charakterystycznym elementem okładziny ceramicznej wewnątrz komory spalania jest utrzymanie podwyższonej temperatury, co sprzyja dopalaniu materiału palnego. Niedopalone produkty spalania, które nie zdążyły się spalić na ruszcie palnika, zsypywane są do komory spalania. Usypane na chłodnej powierzchni wymiennika ciepła nie ulegają termicznemu rozkładowi, czego przeciwieństwem jest okładzina ceramiczna. Powłoka glinokrzemianowa promieniuje, przez co materiał palny ulega szybszemu utlenieniu.

Odnotowano redukcję masy popiołu z testów prowadzonych bez wkładki ceramicznej w cylindrze komory spalania w systemie cyklicznym w odniesieniu do systemu ciągłego. Należy zwrócić uwagę, że prowadząc proces spalania w systemie cyklicznym, we wszystkich testach zredukowano ilość spieku i popiołu pochodzącego z palnika. W przypadku kotłów małej mocy, opartych na automatycznym doprowadzeniu paliwa i spalaniu za pomocą układów wypiętrzających (retortowych), rynnowych czy też poziomych (stokerów), centralnym elementem jest sam palnik. Poprawność prowadzonego procesu spalania jest determinowana stanem palnika oraz niezakłóconym przepływem w jego okolicy. Zakłócenie doprowadzenia strumienia powietrza i paliwa, np. poprzez zanieczyszczenie wynikające z zapopielenia, czy też spowodowane z termicznego scalenia ubocznych produktów spalania, powoduje niedotrzymanie założeń projektowych, a tym samym pogorszenie parametrów spalania.

Projektowanie kształtu oraz geometrycznej wielkości komory paleniskowej polega na zapewnieniu dostatecznej długości płomienia, uzyskaniu prawidłowego wypełnienia komory płomieniem oraz zapewnienie równomiernego jej obciążenia. Przewymiarowanie komory powoduje nierównomierny rozkład temperatur, tworzący niedogrzone przestrzenie, często zwane „martwymi punktami”. Najczęściej są to przestrzenie bezpośrednio przy ściankach komory i w narożach [Greinert 2000; Greinert, Drab 1984]. W kotłach małej mocy istotnym problemem jest sposób odprowadzania żużla i popiołu z komory. Ze względu na wielkość jednostek oraz konieczność ich wykonania w sposób prosty i ekonomicznie uzasadniony [Janicki, Lech-Brzyk 2006], opróżnianie popiołu odbywa się ręcznie, w ramach prowadzonych podstawowych czynności eksploatacyjnych. Nadmiar popiołu powoduje zmniejszenie geometrycznej wielkości komory, co może doprowadzić do zachwiania procesu spalania i wpłynąć na zwiększenie emisji, a także spadek sprawności kotła.

PODSUMOWANIE

Ze względu na największy udział zasobów biomasy w krajowym rynku energii odnawialnej, ważne jest nie tylko określenie plonowania, możliwości zbioru, transportu i magazynowania oraz wartości energetycznej, ale również określenie zawartości popiołu, który powstaje w procesie spalania paliw stałych. Należy zwrócić szczególną uwagę na opracowanie niskoemisyjnych technologii jej energetycznego wykorzystania, uwzględniając ilość i jakość powstających ubocznych produktów spalania oraz możliwości ich sprawnego usuwania z komory spalania. Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu odnotowano, iż umieszczenie wewnątrz komory spalania ceramiki glinokrzemianowej spowodowało redukcję ilości popiołu, a tym samym masę produktów niepełnego spalania. Ze względu na ilość niespalonej masy ziarna owsa oraz znaczną objętość jego popiołu, ziarno owsa klasyfikować można jako paliwo uciążliwe. Jednostki energetyczne, spalające ziarno owsa, winny być dostosowane do usuwania popiołu z komory spalania, bądź uwzględniać ich magazynowanie poprzez dostosowanie przestrzeni sedymentacyjnej.

LITERATURA

1. GREINERT A.; 2000. Ochrona i rekultywacja terenów zurbanizowanych. Wyd. Politechniki Zielonogórskiej; ss. 216.
2. GREINERT H.; DRAB M.; 1984. Możliwość wykorzystania kory sosnowej w uprawie pomidorów szklarniowych. Zeszyty Naukowe WSI w Zielonej Górze, Nr 74, 117-130.

3. GUS; 2011. Energia ze źródeł odnawialnych w 2010 r., Informacje i opracowania statystyczne., Warszawa.
4. JANICKA A., JANICKI M.; 2010. Zmienność potencjału energetycznego słomy w latach 1998-2009. Ekopartner, 5 (223).
5. JANICKI M., JANICKA A.; 2010. Potencjał energetyczny drewna pochodzącego z lasów i terenów leśnych. Problemy Inżynierii Rolniczej nr 4, 49.
6. JANICKI M., LECH-BRZYK K.; 2006. Biomass combustion In low-power boilers on example of KD type boiler. Alternative Plants For Sustainable Agriculture, Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, Poznań.
7. KRUCZEK S.; 2001. Kotły. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
8. OLSSON M.; 2006. Residential biomass combustion – emissions of organic compounds to air from wood pellets and other new alternatives. Thesis for degree of doctor of philosophy, Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
9. ROZPORZĄDZENIE Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 11 marca 2010 r. w sprawie gatunków drzew, których uprawa stanowi zagajnik o krótkiej rotacji, oraz maksymalnego cyklu zbioru dla każdego z tych gatunków drzew (Dz. U. z 2010 r. Nr 39, poz. 214)

REDUCTION OF QUANTITIES OF BIOMASS COMBUSTION BY-PRODUCTS IN A LOW POWER BOILER THROUGH THE USE OF CERAMIC LININGS

S u m m a r y

The article presents the results of the test, aimed at reducing the weight of the ash, produced in the combustion process, through the use of ceramic linings inside the combustion chamber. To research was chosen the boiler for biomass, commonly used on the domestic market. The unit is provided with a burner suitable to burn wooden pellets and grains of oats. Tests carried out on these fuels and their mixture in the continuous and cyclic operation of the boiler.

Key words: Low power boiler, biomass burner, biomass, wooden pellets, grains of oats, ash, combustion by-products, aluminosilicate ceramics, bulk density.

**ELŻBIETA MUSZTYFAGA, MATEUSZ CUSKE, EWA PORA,
KATARZYNA SZOPKA***

**WPŁYW DZIAŁALNOŚCI ZAKŁADÓW CHEMICZNYCH
„ZŁOTNIKI” WE WROCŁAWIU NA ŚRODOWISKO GLEBOWE
TERENÓW PRZYLEGŁYCH W ŚWIELE CAŁKOWITEJ
ZAWARTOŚCI METALI CIĘŻKICH**

Streszczenie

Artykuł porusza zagadnienia związane z oddziaływaniem Zakładów Chemicznych „Złotniki” S.A. we Wrocławiu na środowisko glebowe obszarów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie. Z przeprowadzonych analiz wynika, iż działalność obiektu wpływa istotnie na poziom wzbogacenia gleb w pierwiastki metaliczne na terenach przyległych. Stwierdzono nadmierne wzbogacenie gleb w miedź i cynk.

Słowa kluczowe: gleby zanieczyszczone, metale ciężkie, Zakłady Chemiczne Złotniki

WSTĘP

Gleba jest ważną częścią środowiska, będącą biologicznie czynną powierzchnią warstwy skorupy ziemskiej. W skład gleby wchodzi części mineralne, materia organiczna, woda, powietrze oraz organizmy żywe. Stanowi ona zwarty układ tworzący się w skutek interakcji między procesami wietrzenia, a procesami biologicznymi i mikrobiologicznymi. Gleba to istotne źródło składników mineralnych, które dzięki reakcją z wodą, powietrzem oraz energią umożliwia rozwój przede wszystkim ekosystemów lądowych [Kabata-Pendias i in. 1999].

Intensywne oddziaływanie zanieczyszczeń przemysłowych może powodować znaczne zmiany chemiczne i biologiczne w środowisku glebowym. Główną przyczyną skażenia gleb metalami ciężkimi jest emisja zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego [Alloway 1995]. Całkowita zawartość metali ciężkich w glebie jest to rzetelna wielkość przedstawiająca faktyczny wymiar antropopresji. Stanowi również wiarygodną informację na temat skali emisji zanie-

* Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

czyszczeń do środowiska, ponadto jest podstawą do planowania prac rekultywacyjnych na obszarach wykazujących przekroczenia standardów jakości gleb i stan i standardów jakości ziemi [Dz. U. Nr165, poz. 1359].

Ważna jest także odpowiednia interpretacja uzyskanych wyników, ponieważ na całkowitą zawartość metali ciężkich w środowisku glebowym składa się nie tylko taki czynnik jak emisja antropogeniczna, ale także ciąg innych – pobocznych związanych z lokalnym zanieczyszczeniem, a także wartość tła geochemicznego gleby [Kabata-Pendias i in. 1999, Karczevska 2002, Karczevska 2008, Wolak i in. 1995].

Mimo to, że całkowita zawartość metali ciężkich w glebie nie zawsze definiuje realne zagrożenie ekologiczne i zdrowotne, jednak element ten powinien być brany pod uwagę jako jeden z najistotniejszych czynników decydujących o zagrożeniu, które może zaistnieć lub też nie [Alloway 1995, Karczevska 2008, Karczevska i in. 2010].

Niektóre obszary przyległe do emitorów zanieczyszczeń stanowią pewien problem w określeniu faktycznego wpływu emisji, ponieważ znajdują się one w bezpośrednim sąsiedztwie terenów zurbanizowanych, które są także dużymi barierami w planowaniu procesów rekultywacyjnych. Zatem istotne jest zapobieganie powstawania zanieczyszczeń już na etapie produkcji [Greinert 2000, McBride 1994].

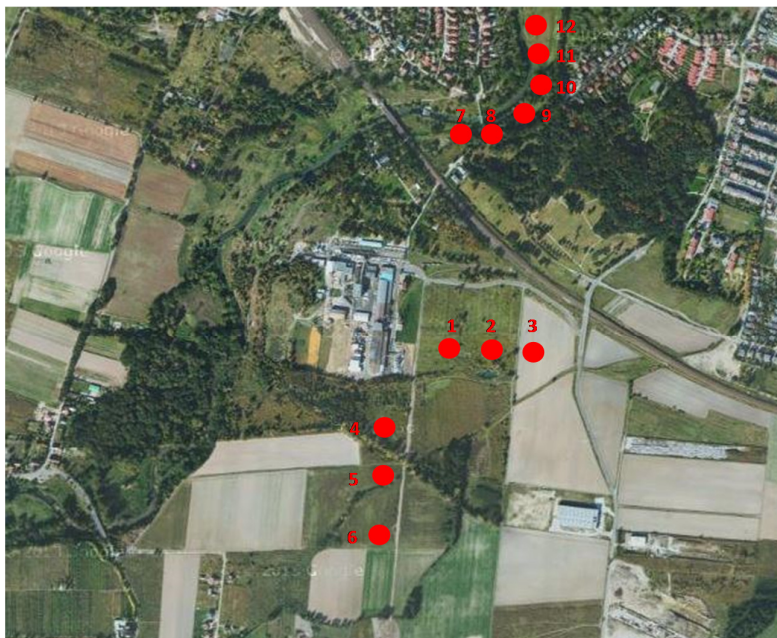
OBIEKT BADAŃ ORAZ ZASTOSOWANA METODA

Obiekt badań stanowią obszary przyległe do Zakładów Chemicznych „Złotniki” znajdujące się w północno-zachodniej części Wrocławia na terenie dzielnic Złotniki i Leśnica, po wschodniej stronie rzeki Bystrzycy. Wspomniane zakłady zajmują się produkcją siarczanu magnezu, azotanu magnezu, saletry wapniowej oraz azotanu wapnia. Z obszaru tego pobrano 12 próbek glebowych. Czynnikiem różnicującym pobór prób były charakterystyczne kierunki wiatrów występujące na analizowanym obszarze. Wykonano oznaczenia wybranych właściwości fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych.

Lokalizację poboru próbek zaprezentowano na rys. 1. Próbki zostały pobrane z poziomów powierzchniowych gleb (0-20 cm). Pobrany materiał glebowy wysuszono, a następnie roztarto i przesiano na sitach.

W częściach ziemistych oznaczono skład granulometryczny metodą areometryczną Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande’a i Prószyńskiego z rozdzielaniem podfrakcji piasków na sitach o wymiarach oczek: 1, 0,5, 0,25 i 0,1 mm, odczyn w H_2O i 1M KCl metodą potencjometryczną, procentową zawartość węgla organicznego metodą Tiurina, kwasowość hydrolityczną metodą Kappena, sumę kationów o charakterze zasadowym metodą Pallmanna, a także całkowitą zawartość wybranych pierwiastków śladowych (Zn, Cu, Pb) po uprzedniej

mineralizacji kwasem nachlorowym HClO_4 metodą atomowej spektroskopii absorpcyjnej AAS [Ostrowska 1991].



Rys. 1. Lokalizacja poboru próbek glebowych
Fig. 1. Sampling location

WYNIKI I DISKUSJA

Wybrane właściwości fizykochemiczne prezentuje tab. 1. Badane gleby to utwory bardzo lekkie, lekkie, średnie i ciężkie. Najcięższy skład granulometryczny prezentuje gleba znajdująca się na południe od emitora (próbka nr 4). Uziarnienie utworów mieści się w przedziale od piasków luźnych do glin ilastych. Procentowa zawartość frakcji $\leq 0,002$ mm waha się od 3% (próbka nr 12) do 38% (próbka nr 4). Gleby znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie Zakładów Chemicznych „Złotniki” (próbki nr od 1 do 6) posiadają zbliżone uziarnienie co jest bezpośrednim skutkiem budowy geologicznej analizowanego terenu.

Odczyn badanych gleb jest silnie kwaśny, kwaśny i lekko kwaśny. Najniższą wartość pH (4,1) prezentuje gleba zlokalizowana na północy (próbka nr 12), natomiast najwyższą wartość (6,5) punkt znajdujący się na wschód od obiektu

(próbka nr 3). Tak duże zróżnicowanie odczynu jest charakterystyczne dla gleb miejskich [Włodarczyk 2007].

Kwasowość hydrolityczna badanych gleb kształtuje się w przedziale od 0,72 mmol(+) $\cdot$ 100 g⁻¹ (próbka nr 6) do 4,61 mmol(+) $\cdot$ 100 g⁻¹ (próbka nr 3). Najwyższą kwasowością charakteryzuje się gleba znajdująca się na wschód od zakładu.

Procentowa zawartość węgla organicznego w analizowanych glebach wynosi od 0,9 % (próbka nr 1) do 4,0% (próbka nr 10). Największe zawartości węgla organicznego prezentują próbki pobrane z terenów zlokalizowanych na północ od obiektu. Najniższe zawartości węgla organicznego skonstatowano na obszarach zlokalizowanych na wschód od zakładu.

Pojemność sorpcyjna badanych gleb waha się w zakresie od 2,65 cmol(+) $\cdot$ kg⁻¹ (próbka nr 12) do 13,87 cmol(+) $\cdot$ kg⁻¹ (próbka nr 8). Najwyższą pojemność sorpcyjną posiadają gleby znajdujące się na północ od obiektu.

Tab. 1. Wybrane właściwości fizyczne i fizykochemiczne pobranych próbek

Tab. 1. Selected physical and physico-chemical properties of samples

Nr	Zawartość frakcji $\leq$ 0,002 mm [%]	Grupa granulometryczna	pH w 1 M KCl	H _h [mmol(+) $\cdot$ 100 g ⁻¹]	C _{org} [%]	Pojemność sorpcyjna [cmol(+) $\cdot$ kg ⁻¹]
1	17	pg	4,9	2,08	0,9	3,89
2	20	gl	5,5	2,00	2,7	10,67
3	20	gl	6,5	4,61	1,1	11,85
4	38	gi	6,0	1,44	1,5	12,05
5	20	gl	5,6	3,12	3,2	8,44
6	19	gl	4,5	0,72	2,2	5,29
7	6	ps	5,7	1,61	3,6	10,91
8	5	pl	5,5	1,62	3,5	13,87
9	16	gl	5,3	1,82	2,6	11,65
10	8	gl	6,0	1,23	4,0	13,36
11	5	pg	5,8	1,44	3,7	13,47
12	3	ps	4,1	3,22	2,3	2,65

Tabela 2 przedstawia całkowitą zawartość wybranych metali ciężkich (Cu, Zn, Pb) w badanych glebach. Kolorem szarym zaznaczono przypadki przekroczenia standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi [Dz. U. Nr165, poz. 1359].

Całkowita zawartość miedzi w badanych glebach kształtuje się w przedziale od 18 mg Cu $\cdot$ kg⁻¹ (próbka nr 9) do 350 mg Cu $\cdot$ kg⁻¹ (próbka nr 3). Najwyższą zawartością charakteryzują się próbki gleby pobrane z miejsc zlokalizowanych na wschód i południe od Zakładów Chemicznych „Złotniki”. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002r. w sprawie standar-

dów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi [Dz. U. Nr165, poz. 1359] w punktach tych została przekroczona zawartość graniczna dla miedzi. Jest to skutek tego, iż punkty te znajdują się najbliżej emitora. Najniższe zawartości miedzi prezentują próbki pobrane z obszarów zlokalizowanych najdalej. Są to punkty 7, 8, 9, 10, 11 i 12. Uzyskane zawartości miedzi są zbliżone do wartości skonstatowanych przez WIOŚ w okolicach Wrocławskiego Parku Przemysłowego, które mieszczą się w zakresie $60 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ do $275 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Meinhart B. i in. 2012].

Tab. 2. Całkowita zawartość wybranych metali ciężkich w badanych glebach

Tab. 2. Total content of selected heavy metals in analyzed soils

Nr	Grupa sozologiczna, wg Dz. U. Nr165, poz. 1359	Zawartość całkowita		
		Cu	Zn	Pb
		$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$		
1	B	150	330	20
2		200	305	25
3		350	640	42
4		290	425	32
5		195	340	24
6		325	340	31
7		44	367	30
8		51	322	36
9		18	217	29
10		50	132	37
11		26	100	15
12		46	79	45

Całkowita zawartość cynku w analizowanych glebach mieści się w przedziale od $79 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ (próbka nr 12) do $640 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ (próbka nr 3). Analogicznie gleby znajdujące się najbliżej Zakładów Chemicznych „Złotniki” charakteryzują się największą zawartością tego pierwiastka. W miejscu tych (numery próbek od 1 do 8) stwierdzono przekroczenie wartości określanych w standardach jakości ziemi i gleb [Dz. U. Nr165, poz. 1359]. Najniższe zawartości odnotowano w punktach usytuowanych najdalej od zakładów. Są to próbki nr 9, 10, 11, 12, zlokalizowane na północy. Przestrzenne zróżnicowanie zawartości cynku jest analogiczne, jak w przypadku miedzi. Przyczyną takiego układu zanieczyszczeń na badanym terenie są warunki klimatyczne panujące w tym rejonie, gdzie przeważającymi wiatrami są wiatry zachodnie. Określone zawartości cynku są zbliżone do wartości określonych przez WIOŚ w okolicach PCC RO-KITA S.A. w Brzegu Dolnym, które mieszczą się w zakresie $24 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ do $457 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Meinhart B. i in. 2009]. Świadczy to niewątpliwie o wpływie

działalności Zakładów w Złotnikach na zawartość metali ciężkich w powierzchniowych warstwach gleb obszarów sąsiadujących.

Całkowita zawartość ołowiu w badanych glebach kształtuje się w przedziale od 15 mg Pb·kg⁻¹ (próbka nr 11) do 45 mg Pb·kg⁻¹ (próbka nr 12). Analizowane gleby według Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002r. w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi [Dz. U. Nr165, poz. 1359] nie przekraczają zawartości granicznej dla ołowiu. Zawartości ołowiu w badanych punktach są znacznie niższe do wartości skonstatowanych przez WIOŚ w okolicach PCC ROKITA S.A. w Brzegu Dolnym, które wahają się w zakresie 10,2 mg Pb·kg⁻¹ do 569 mg Pb·kg⁻¹ [Meinhart B. i in. 2012]. Wynika to z charakteru działalności prowadzonej przez zakład.

WNIOSKI

- Zakłady Chemiczne „Złotniki” we Wrocławiu istotnie wpływają na środowisko glebowe terenów występujących w bezpośrednim sąsiedztwie.
- Przestrzenne rozmieszczenie całkowitej zawartości metali ciężkich w analizowanych glebach jest modyfikowane czynnikami klimatycznymi.
- Przestrzenne rozmieszczenie miedzi na analizowanych obszarach jest bardzo proporcjonalne do rozmieszczenia cynku.
- Jedynie miedź i cynk występują w ponadnormatywnych ilościach w glebach zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zakładów. Jest to skutkiem charakteru prowadzonej działalności.

LITERATURA

1. ALLOWAY B.; 1995. Heavy metals in soil. Blackie Academic and Professional. Glasgow.
2. GREINERT A.; 2008. Normy zawartości metali ciężkich w glebach w Polsce i UE w kontekście ich mobilności w warunkach presji urbanistycznej [W:] Ekotoksykologia w ochronie środowiska. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników sanitarnych. Oddział Dolnośląski, s. 121-128.
3. GREINERT A.; 2000. Ochrona i rekultywacja terenów zurbanizowanych. Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej. s. 216.
4. KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H.; 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
5. KARCZEWSKA A.; 2002. Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi – formy i rozpuszczalność. Rozprawa habilitacyjna. Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu. Rozprawy CLXXXIV, 432. Wrocław.

6. KARCZEWSKA A.; 2008. Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Wydawnictwo UWP, Wrocław.
7. KARCZEWSKA A., KABAŁA C.; 2010. Gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi i arsenem na Dolnym Śląsku – potrzeby i metody rekultywacji. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Rolnictwo, XCVI, Nr 576, 59-79.
8. MCBRIDE M.; 1994. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press. New York.
9. MEINHART B., KUBACKA L., STRZELEC Ł., DANIELSKA I., HANULA P.; 2012. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb w województwie dolnośląskim w 2012 roku. Obszary bezpośrednio zagrożone zanieczyszczeniem. WIOŚ, Wrocław.
10. MEINHART B., DANIELSKA I., KUBACKA L., HANULA P.; 2012. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb w województwie dolnośląskim w 2009 roku. Obszary bezpośrednio zagrożone zanieczyszczeniem. WIOŚ, Wrocław.
11. OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z.; 1991. Metody analiz i właściwości gleb i roślin – katalog. Wydawnictwo IOŚ, Warszawa.
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi (Dz. U. Nr165, poz. 1359)
13. WŁADYCZKA W.; 2007. Badania jakości gleb na terenie powiatu oławskiego w 2007 roku. Ars Vitae, Wrocław
14. WOLAK W., LEBODA R., HUBISKI Z.; 1995. Metale ciężkie w środowisku i ich analiza. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Chełm.

**IMPACT ACTIVITY OF THE CHEMICAL WORKS
"ZŁOTNIKI" IN WROCŁAW ON SOIL ENVIRONMENTAL
OF ADJECT AREAS IN THE LIGHT OF TOTAL
CONTENT OF HEAVY METALS**

S u m m a r y

The article discusses issues related to the impact of the Chemical Works "Złotniki" SA in Wrocław on soil conditions of areas in the immediate vicinity. Analyses show that the activity of the object significantly affect of the level of enrichment metallic elements in adjacent areas. It was over-enrichment of copper and zinc I analyzed soils

Key words: contaminated soils, heavy metals, Chemical Works Złotniki

**JAROSŁAW KASZUBKIEWICZ, EWA PORA,
MATEUSZ CUSKE, ELŻBIETA MUSZTYFAGA***

**PRZEBIEG ZMIAN ZASOLENIA W GLEBACH ZALANYCH
WODAMI NADOSADOWYMI ZE ZBIORNIKA ODPADÓW
POFLOTACYJNYCH ŻELAZNY MOST**

S t r e s z c z e n i e

W pracy przedstawiono wyniki badań nad zasoleniem gleb zalanych wodami nadosadowymi w wyniku awarii podziemnego rurociągu pomiędzy miejscowościami Żuków i Bieńków. W wyniku zalania nastąpił wzrost zasolenia gleb. W celu określenia postępu odsalania badania przeprowadzono powtórnie rok po awarii.

Słowa kluczowe: zasolenie gleb, wody nadosadowe

WSTĘP

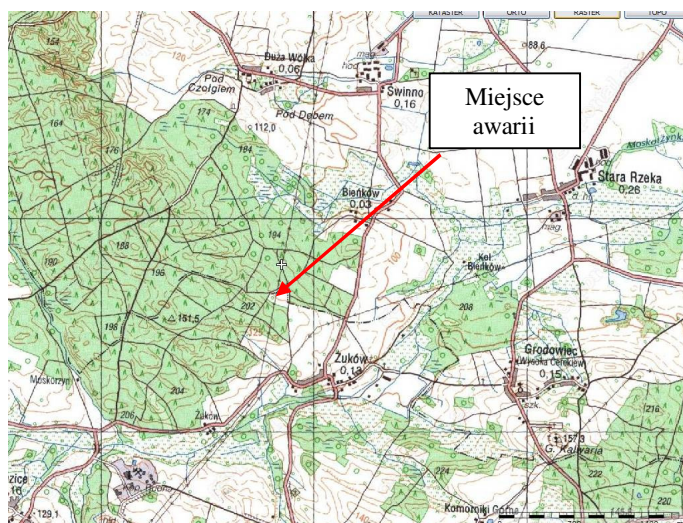
Zasolenie i odsalanie gruntów to złożone procesy, które mogą mieć charakter antropogeniczny lub naturalny [Zhou i in. 2012]. Aby ocenić tempo procesów zasolenia lub odsalania, a także zmian właściwości gleby należy prowadzić monitoring gleb w czasie [Herrero, Pe'rez-Coveta 2005]. Zasolenie występujące w glebie lub wodzie, jest jednym z najpoważniejszych czynników środowiskowych ograniczających wydajność upraw rolnych [Shamim, Akae 2009]. Ogólne działanie zasolenia na rośliny objawia się zmniejszeniem szybkości wzrostu oraz ilości i wielkości liści [Shannon, Grieve 1999].

Problem zasolenia środowiska glebowego może się pojawić w rezultacie skażenia środowiska zasolonymi odpadami przemysłowymi [Kaszubkiewicz, Chodak 1999]. Podczas procesu górniczej eksploatacji rud miedzi konieczne jest usuwanie z kopalni dużych ilości wód dołowych [Milićević i in. 2013]. Awaria rurociągu transportującego wody technologiczne z kopalni skutkuje zasoleniem gleb [Kaszubkiewicz i in. 2010].

* Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

OBIEKT I METODY BADAŃ

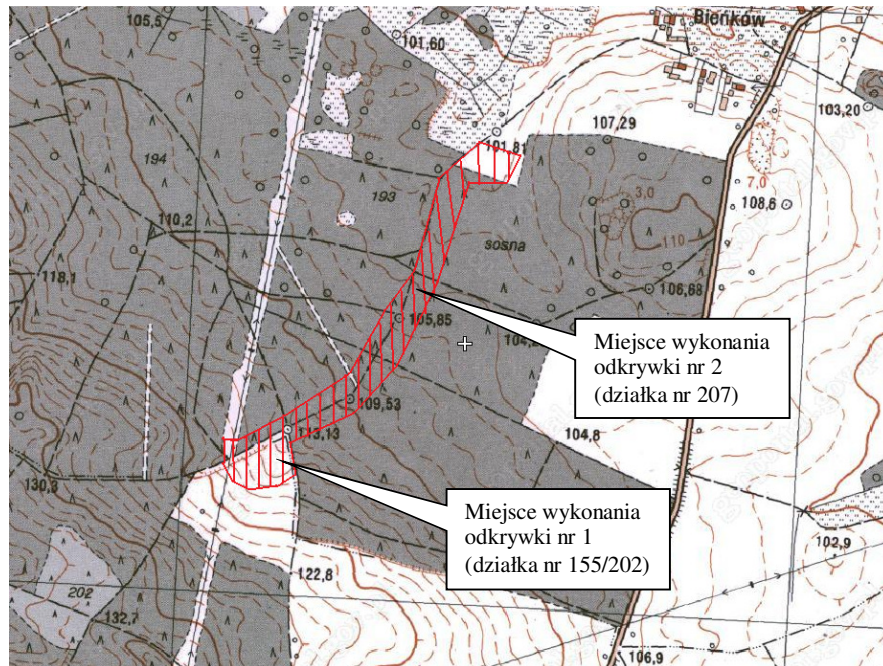
Badania przeprowadzono po awarii, do której doszło w dniu 5 czerwca 2012 roku pomiędzy miejscowościami Żuków i Bieńków w powiecie polkowickim, w województwie dolnośląskim. W wyniku pęknięcia podziemnego rurociągu wód nadosadowych o średnicy 700 mm, wydostały się zasolone wody w ilości ok. 600 m³. Zalaniu uległy grunty w użytkowaniu leśnym należące do Nadleśnictwa Głogów. Powierzchnię zalanego obszaru oceniono w trakcie badań terenowych na około 28 000 m². Obszar zalany obejmował fragmenty działek o numerach 169/193; 168/194; 155/202; 207.



Mapa 1. Lokalizacja rejonu awarii
Map 1. Location area of failure

Badania terenowe przeprowadzono w dwóch etapach. W ramach etapu I w dniu 10.04.2012r. wykonano: wizję terenu, określono granie terenu zalanego wodami kopalnianymi, wykonano 2 odkrywki glebowe (nr 1 i 2) na działkach o numerach 155/202 i 207, opisano odsłonięte profile glebowe i z wydzielonych poziomów genetycznych pobrano próbki do analiz. Położenie odkrywek, określano za pomocą techniki GPS.

W celu weryfikacji zasolenia gleb w dniu 17.04.2013r. przeprowadzono etap II. Lokalizacja wykonanych 2 odkrywek glebowych (nr 1' i 2') oraz zakres prac były takie same jak w etapie I. Lokalizację odkrywek glebowych, miejsca awarii oraz zasięg obszaru zalanego przedstawiono na mapach nr 1 i 2.



Mapa 2. Zasięg obszaru zalanego oraz lokalizacja wykonanych odkrywek glebowych
 Map 2. Coverage flooded area and location of soil opencasts

Pobrane w trakcie badań terenowych próbki gleby wysuszono w warunkach temperatury pokojowej, a następnie przesiano przez sита o średnicy oczek 20 mm, 2 mm i 1 mm w celu określenia udziału części szkieletowych w kładzie granulometrycznym.

W przygotowanym materiale glebowym wykonano następujące analizy:

- odczyn gleby: pH w wodzie i w 1M KCl – metodą potencjometryczną,
- przewodnictwo właściwe (zasolenie) konduktometrycznie - zgodnie z normą ISO 11265
- skład kompleksu sorpcyjnego gleby metodą Pallmana
- kwasowość hydrolityczną gleby metodą Kappena

W oparciu o wyniki badań laboratoryjnych obliczono następujące wskaźniki charakteryzujące stan zasolenia poszczególnych poziomów glebowych.

- pojemność sorpcyjna gleby wobec kationów o charakterze zasadowym

$$S = Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+}$$

gdzie Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ oznaczają zawartości poszczególnych kationów w kompleksie sorpcyjnym wyrażone w $cmol^+ \cdot kg^{-1}$ gleby,

- Kh - kwasowość hydrolityczną wyrażoną w $cmol^+ \cdot kg^{-1}$ gleby,
- stopień wysycenia gleby kationami o charakterze zasadowym

$$V = 100 \frac{S}{T}$$

WYNIKI

Skład wód nadosadowych transportowanych rurociągiem przedstawiono w tabeli nr 1.

Tab. 1. Skład wód nadosadowych transportowanych rurociągiem

Tab. 1. Composition of wastewater transported by pipeline

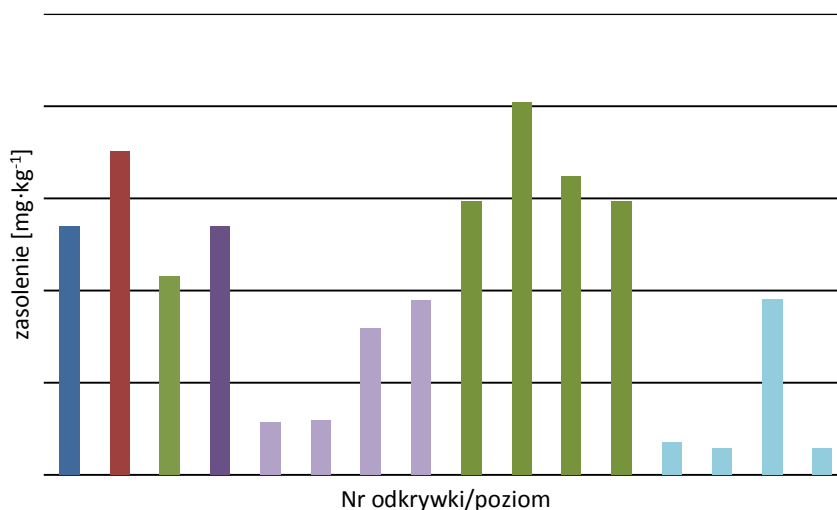
Lp.	Oznaczenie	Zawartość	Lp.	Oznaczenie	Zawartość	Jedn.
1	pH	7,4	13	Ch	<0,005	mg·dm ⁻³
2	Żelazo og.	0,085	14	Ag	<0,002	
3	Azot amonowy	<2,0	15	V	<0,001	
4	Azot azotynowy	0,55	16	Cu	0,052	
5	Azot azotanowy	13,4	17	Zn	<0,010	
6	Azot Kiejdahla	2,0	18	Pb	<0,005	
7	Azot ogólny	16,0	19	Na	9100	
8	ChZT	63,0	20	K	125	
9	BZT ₅	4,6	21	Indeks fenolowy	0,005	
10	Fosfor ogólny	<0,1	22	Zawiesina łatwo opadająca	<0,1	
11	Ni	0,126	23	Chlorki	14260	
12	As	0,01	24	Siarczany	2972	

Pod względem składu granulometrycznego badana gleba odsłonięta w profilu nr 1 i 1'; wytworzona była z piasku gliniastego lekkiego na piasku słabogliniastym, natomiast gleba odsłonięta w odkrywcze nr 2 i 2' w całości wytworzona była z piasku słabo gliniastego (tab.2).

Badane poziomy mineralne gleby nr 1 charakteryzowały się wartościami pH (w 1 M KCl) w granicach pH 4,4 w poziomach Eet i C oraz 4,5 w poziomach A i Bt. Pod względem odczynu wszystkie poziomy profilu nr 1 należy uznać za silnie kwaśne (tabela 2). W profilu nr 2 wartości pH mieściły się w granicach od

3,6 w poziomie A do 4,3 w poziomie C1. Pod względem odczynu wszystkie poziomy profilu nr 2 również należy uznać za silnie kwaśne (tabela 2). Wartości odczynu w zasadzie nie odbiegają od spotykanych w większości gleb leśnych szczególnie borów iglastych.

Badane poziomy mineralne gleby nr 1' charakteryzowały się wartościami pH (w 1 M KCl) w granicach od pH 4,9 w poziomie Bt do pH 6,3 w górnej części poziomu A. Pod względem odczynu wszystkie poziomy profilu nr 1' należy uznać za kwaśne lub lekko kwaśne (tabela 2). W profilu tym obserwowalny jest wzrost pH w stosunku do wyników z roku 2012. W profilu nr 2' wartości pH mieściły się w granicach od 3,8 w poziomie A do 5,3 w poziomie C1. Pod względem odczynu wszystkie poziomy profilu nr 2' również należy uznać za kwaśne lub bardzo kwaśne.



Ryc. 1. Zasolenie gleb na terenach objętych zalaniem wodami nadosadowymi
Fig. 1. Salinity of soils in the areas covered by the wastewaters flood

Wartości pH w tym profilu w zasadzie nie zmieniły się w stosunku do wyników z roku 2012 i nie odbiegają od spotykanych w większości gleb leśnych szczególnie borów iglastych.

Wartości zasolenia badanej gleby nr 1 są podwyższone we wszystkich poziomach genetycznych i mieszczą się w granicach od 1080 mg·kg⁻¹ w poziomie Bt do 1755 w poziomie Eet. W 3 poziomach: A, Eet i C zasolenie przekracza wartość 1200 mg·kg⁻¹ będącą progiem reakcji najbardziej wrażliwych roślin [Sitarski, 2008]. Natomiast w żadnym z poziomów nie stwierdzono przekroczenia wartości 2400 mg·kg⁻¹ będącej progiem reakcji większości roślin.

W poziomach genetycznych profilu nr 2 znacznie bardziej odległego od miejsca awarii stwierdzono zasolenie wyższe niż w poziomach genetycznych profilu nr 1. Wynosiło ono od $1485 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomach A i C2 do $2025 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie Bv. We wszystkich 4 poziomach tego profilu zasolenie przekracza wartość $1200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ będącą progiem reakcji najbardziej wrażliwych roślin [Sitarski, 2008]. Natomiast tutaj również nie stwierdzono przekroczenia progu $2400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Taki układ zasolenia może wskazywać na zróżnicowane, określone przez mikrorelief, wsiąkanie słonych wód kopalnianych w glebę, w różnych miejscach zalanego obszaru. Jednocześnie widoczny jest intensywny proces przemiany soli w głąb profili glebowych zachodzący w sprzyjających warunkach gleb o wysokiej przepuszczalności wodnej.

Wartości zasolenia badanej gleby nr 1' mieściły się w granicach od $283,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie A do $945 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie C. Wyraźnie widoczny jest wzrost zasolenia wraz z głębokością. W stosunku do danych z roku 2012 nastąpił spadek średniego zasolenia w tym profilu o ok. 55%. W żadnym poziomie zasolenie nie przekracza już wartości $1200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

W poziomach genetycznych profilu nr 2' zasolenie mieściło się w granicach od $148,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie Bv do $958 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie C1. W stosunku do danych z roku 2012 nastąpił spadek średniego zasolenia w tym profilu o ok. 78%. W żadnym poziomie zasolenie obecnie nie przekracza już wartości $1200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ podczas gdy w roku 2012 przekraczało tę wartość we wszystkich 4 badanych poziomach genetycznych.

Widoczny jest intensywny proces odsalania gleb zachodzący w sprzyjających warunkach gleb o wysokiej przepuszczalności wodnej, który już obecnie doprowadził do spadku zasolenia do poziomów tolerowanych przez wszystkie rośliny.

Pojemność sorpcyjna wobec kationów o charakterze zasadowym (S) w poziomach mineralnych badanej gleby nr 1 wynosiła od $5,5 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie Bt do $7,9 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie A (tabela 2).

Kwasowość hydrolityczna wynosiła od $0,6 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie Bt do $2,1 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie A. Stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym był stosunkowo wysoki (pomimo kwaśnego odczynu) i wynosił od 79% w poziomie A do 90,1% w poziomie Bt (tabela 2).

Pojemność sorpcyjna wobec kationów o charakterze zasadowym (S) w poziomach mineralnych badanej gleby nr 2 wynosiła od $6,3 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie C2 do $13,0 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie A (tabela 2).

Kwasowość hydrolityczna wynosiła od $0,90 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie C2 do $7,1 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie A. Stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym był również stosunkowo wysoki (pomimo kwaśnego odczynu) i wynosił od 64,6% w poziomie A do 87,5% w poziomie C2 (tabela 2).

Podsumowując właściwości sorpcyjne badanych gleb można stwierdzić, że w profilu 1 i 2 występuje naruszenie równowagi w KS świadczące o oddziaływaniu słonych wód.

Tab. 1. Wybrane właściwości fizykochemiczne gleb z rejonu awarii

Tab. 1. Selected physico-chemical properties of soil from failure area

Data pobrania	Numer odkrywki	Poziom [cm]	Głębokość [cm]	Definicja próbki	Zasolenie [mg·kg ⁻¹]	Kh [cmol ⁺ ·kg ⁻¹]	pH		S [cmol ⁺ ·kg ⁻¹]	V [%]
							H ₂ O	KCl		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	14	15
10.06.2012	1	A	0-30	pgl	1350	2,1	5,3	4,5	7,9	79,0
		Bv	30-65	ps	1755	0,9	5,0	4,4	5,9	86,8
		C1	65-90	ps	1080	0,6	5,2	4,5	5,5	90,1
		C2	>90	ps	1350	0,9	5,0	4,4	5,8	86,6
17.06.2013	1'	A	0-53	pgl	283,5	1,1	7,2	6,3	4,5	80,9
		Bv	53-96	ps	297,0	0,7	6,4	5,5	2,4	77,6
		C1	96-114	ps	796,5	1,2	5,8	4,9	4,0	76,7
		C2	>114	ps	945,0	0,6	6,8	5,9	3,9	86,8
10.06.2012	2	A	0-27	ps	1485	7,1	4,2	3,6	13,0	64,6
		Bv	27-50	ps	2025	2,6	4,5	4,2	7,9	75,8
		C1	50-80	ps	1620	1,5	4,6	4,3	6,5	81,2
		C2	>80	ps	1485	0,9	4,7	4,2	6,3	87,5
17.04.2013	2'	A	7-24	ps	175,5	4,1	4,4	3,8	3,3	44,6
		Bv	24-55	ps	148,5	2,1	4,5	4,1	2,9	57,6
		C1	55-80	psp	958,5	1,5	6,1	5,3	24,7	94,3
		C2	>80	ps	148,5	0,8	5,3	4,5	2,8	77,1

Pojemność sorpcyjna wobec kationów o charakterze zasadowym (S) w poziomach mineralnych badanej gleby nr 1' wynosiła od 2,4 cmol⁺·kg⁻¹ w poziomie Eet do 4,5 cmol⁺·kg⁻¹ w poziomie A (tabela 2).

Kwasowość hydrolityczna wynosiła od 0,6 cmol⁺·kg⁻¹ w poziomie C do 1,1 cmol⁺·kg⁻¹ w dolnej części poziomu A. Stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym był stosunkowo wysoki i wynosił od 76% w poziomie Bt do 86,8% w poziomie C (tabela 2).

Pojemność sorpcyjna wobec kationów o charakterze zasadowym (S) w poziomach mineralnych badanej gleby nr 2' wynosiła od 2,8 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie C2 do 24,7 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie C1 (tabela 2).

Kwasowość hydrolityczna wynosiła od 0,8 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie C2 do 4,1 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ w poziomie A. Stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym był zróżnicowany i wynosił od 44,6% w poziomie A do 94,3% w poziomie C1 (tabela 2).

Podsumowując właściwości sorpcyjne badanych gleb można stwierdzić, że symptomy naruszenia równowagi w kompleksie sorpcyjnym utrzymują się jedynie w profilu 1'.

WNIOSKI

Ze względu na lekki skład granulometryczny gleb w rejonie awarii w obu badanych profilach postępuje wyraźny proces samorzutnego odsalania gleb.

W żadnym z przebadanych w 2013 roku poziomów genetycznych zasolenie nie przekracza wartości 1200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ będącej progiem reakcji roślin szczególnie wrażliwych.

W obu profilach badanych w roku 2012 i ponownie w czerwcu 2013 doszło do znaczącej redukcji zasolenia (o około 66%).

Skład granulometryczny ma istotny wpływ na odsalanie gleby. Rok po awarii w profilu nr 1', który jest wytworzony z piasku gliniastego lekkiego na piasku słabogliniastym, nastąpił wyraźny spadek zasolenia (o ok 80%) w poziomie A i Eet. Nastąpiło wmycie soli w głąb profilu glebowego. W profilu 2' największe zasolenie utrzymuje się w poziomie C1. Spowodowane jest to wystąpieniem piasku słabo gliniastego pylistego. W pozostałych poziomach wytworzonych z piasku słabogliniastego nastąpił spadek zasolenia o ok 90%.

LITERATURA

1. HERRERO J., PE' REZ-COVETA O.; 2005. Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district. *Geoderma* 125, 287-308.
2. KASZUBKIEWICZ J., ANGEŁOW Z., KAWAŁKO D., JEZIELSKI P.; 2010. Conditions of desalinization process of soils flooded with copper mining wastewater. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 19, No 4; 739-747.
3. KASZUBKIEWICZ J., CHODAK T.; 1999. Przebieg zmian właściwości chemicznych gleb zalanych wodami technologicznymi z kopalni rud miedzi. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, Rolnictwo*, LXXIV, Nr 367, 93-108.

4. MILIĆEVIĆ S., MILOŠEVIĆ V., VLAHOVIĆ M., MARTINOVIĆ S., POVRENOVIĆ D.; 2013. Concentration method for the mining wastewater – valorization of the copper. Reporting for sustainability 2013, 431-435.
5. SHAMIM A. H. , AKAE T.: 2009. Desalinization of Saline Soils Aimed at Environmentally Sustainable Agriculture: A New Thought. Journal of American Science; 5(5):197-198.
6. SHANNON M.C., GRIEVE C.M.; 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. Scientia Horticulturae 78: 5-38
7. SITARSKI M.; 2008. Charakterystyka warunków glebowych i szaty roślinnej w wybranych osiedlach mieszkaniowych Warszawy. Człowiek i Środowisko 32 (1-2), 19-41.
8. ZHOU D., ZHULU L., LIMING L.; 2012. Regional land salinization assessment and simulation through cellular automaton-Markov modeling and spatial pattern analysis. Science of the Total Environment 439, 260-274.

PROCEEDINGS OF SALINITY CHANGES IN SOILS FLOODED WASTEWATERS FROM RESERVOIR FLOTATION WASTE "IRON BRIDGE"

S u m m a r y

The paper presents results of research on soils flooded salinity wastewaters as a result of failure of underground pipeline between the villages Żuków and Bieńków. As a result of flooding increased the salinity of soils. In order to determine the progress of desalination research was carried out again year after the accident.

Key words: soil salinity, wastewater, copper mine

**MATEUSZ CUSKE, EWA PORA, ELŻBIETA MUSZTYFAGA,
BERNARD GAŁKA***

**EWALUACJA PRAC REKULTYWACYJNYCH ZWAŁOWISKA
WEWNĘTRZNEGO ODKRYWKI WĘGLA BRUNATNEGO
„ADAMÓW”, W KWB ADAMÓW**

Streszczenie

W artykule zawarto zagadnienia związane z postępowaniem prac rekultywacyjnych obszarów poeksploatacyjnych odkrywki węgla brunatnego „Adamów”. Przeprowadzono ocenę terenów zrehabilitowanych, pod kątem wartości przyrodniczych oraz stopnia wkomponowania w istniejący krajobraz. Skategoryzowano stan sukcesji poszczególnych typów siedlisk. Zaprezentowano etapy oraz cechy kształtowania nowych, wartościowych form krajobrazowych, a także innych elementów przyrodniczych i społecznych.

Słowa kluczowe: rekultywacja, tereny pogórnice, odkrywka „Adamów”

WSTĘP

Odkrywkowa eksploatacja węgla brunatnego wiąże się z czasowym zajęciem, a następnie przekształceniem wielkopowierzchniowych obszarów, występujących w obrębie eksploatowanego złoża. W wyniku tego typu działalności górniczej następuje całkowita degradacja siedlisk przyrodniczych oraz profilu glebowego, a następnie uformowanie nowych form zwałowych, których głównym budulcem są jałowe grunty pogórnice [Bender i Gilewska 2004].

Rekultywacja takich terenów polega na wieloletnich zabiegach technicznych oraz biologicznych polepszających jakość gruntów i wiąże się z wysokimi nakładami finansowymi. Dlatego bardzo istotne jest zaplanowanie zabiegów, w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju, gdzie czynniki: środowiskowe, ekonomiczne oraz społeczne zajmują to same miejsce w hierarchii ważności.

* Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Niemniej jednak, pomimo wielu trudności oraz pozornej nieprzydatności obszarów poeksploatacyjnych górnictwa węgla brunatnego, tereny te stają się coraz bardziej atrakcyjne, ze względu na ich potencjał gospodarczy, ale także przyrodniczy [Gilewska i Otremba 2013, Maciejewska 2000].

Celem niniejszej pracy jest ocena efektywności prac rekultywacyjnych prowadzonych na zwałowisku wewnętrznym odkrywki Adamów. W tym celu skategoryzowano poszczególne siedliska przyrodnicze oraz określono ich udział w całkowitej powierzchni zrekultywowanego zwałowiska.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Kopalnia Węgla Brunatnego Adamów jest obecnie najmniejszą tego typu kopalnią w Polsce. Złoże węgla brunatnego w okolicach Turku, zostało odkryte podczas poszukiwania ropy naftowej, a pracami geologicznymi kierował wówczas geolog Adam Patla (stąd nazwa kopalni). W latach 1960-1961 zaczęto montować pierwsze taśmociągi, a w roku 1962 zmontowano pierwszy układ KTZ (koparka-taśmociąg-zwałowarka). W tym samym roku rozpoczęto zdejmowanie nadkładu, które sukcesywnie się zwiększało w miarę oddawania do eksploatacji kolejnych koparek nadkładowych i dalszych tras przenośników taśmowych. W roku 1964 wydobyto pierwszy węgiel z odkrywki „Adamów” [Kasztelewicz 2008, 2010].

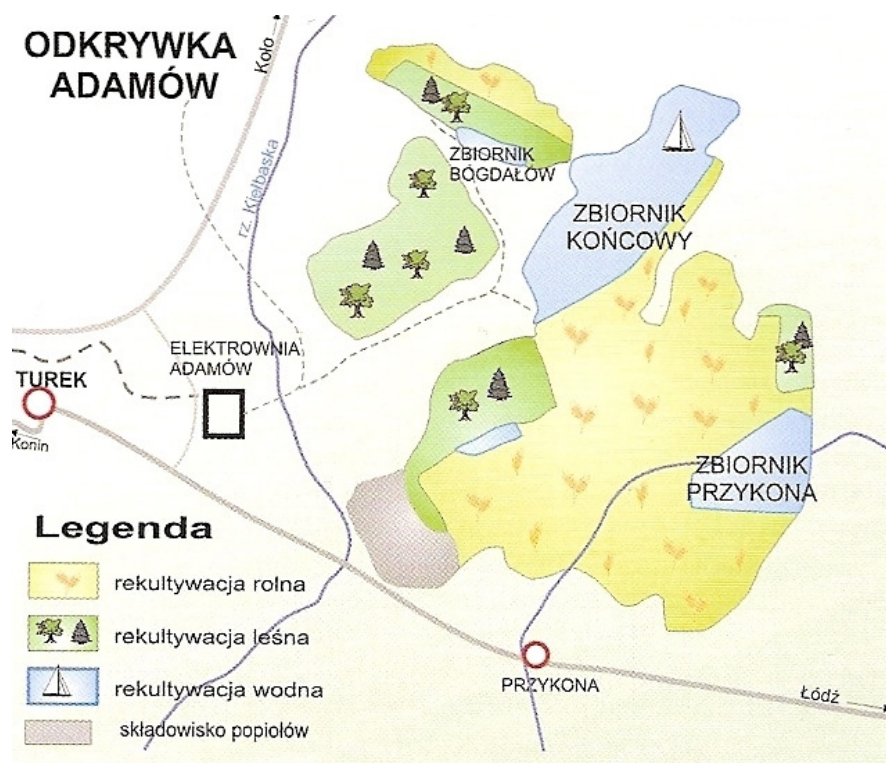
Odkrywka „Adamów” jest sukcesywnie rekultywowana w trzech kierunkach: rolniczym, leśnym i wodnym. Zgodnie z Kasztelewiczem, od początku działalności kopalni do końca roku 2009 zrekultywowano w sumie 2108,0 ha, w tym 610,0 ha w kierunku leśnym, 1085,0 ha w kierunku rolniczym oraz 165,0 ha w kierunku wodnym. Dodatkowo przeznaczono 248,0 ha pod składowisko odpadów paleniskowych. Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych jest procesem bardzo dynamicznym, dlatego wielkości te na dzień dzisiejszy są analogicznie większe. Od roku 1973, na odkrywce Adamów, według decyzji o zakończeniu rekultywacji zostało zrekultywowane 1721 ha, w tym:

- o kierunku rolnym: 1216 ha,
- o kierunku leśnym: 324 ha,
- o kierunku wodnym (zbiornik małej retencji wodnej): 165 ha,
- o kierunku innym (drogi, rowy): 16 ha.

Obecnie prowadzona jest rekultywacja w kierunku rolnym na obszarze 17 ha (zakończono część techniczną i biologiczną).

Należy zaznaczyć, iż Kopalnia Węgla Brunatnego „Adamów”, jako jedna z pierwszych kopalń węgla brunatnego, podjęła próby rekultywacji terenów pogórnich [Wieruchowska-Janik, Siera 2004]. Jeszcze przed zakończeniem zwałowania nadkładu na zwałowisku zewnętrznym z wykopu otwierającego odkrywki „Adamów” zaczęto przystępować do pierwszych prac rekultywacyj-

nych. Prace te jednak były ograniczone technicznie, a zwałowanie ostatniej warstwy nadkładu odbywało się nadpoziomowo, co powodowało powstawanie zagłębień na powierzchni bez możliwości ich zasypania. Przywiązywanie coraz to większej wagi do rozwoju technik rekultywacyjnych, spowodowało iż kopalnia w roku 1978 wprowadziła pionierski, podziemny sposób zwałowania ostatniej warstwy, co zrewolucjonizowało procesy rekultywacyjne terenów pogórniczych. Podsięypny sposób zwałowania ostatniej warstwy umożliwił zmianę dotychczasowego leśnego kierunku rekultywacji na kierunek rolniczy [Bender i Gilewska 1989, Michalski 2004, Orlikowski i Szwed 2011, Puchalska i in. 1995].



Rys. 1. Docelowe kierunki rekultywacji i zagospodarowania odkrywki „Adamów”
[Kasztelewicz 2010]

Fig. 1. The target reclamation and land management of Adamów opencast
[Kasztelewicz 2010]

METODYKA INWENTARYZACJI OBSZARÓW ZREKULTYWOWANYCH

Pod zwałowisko zewnętrzne odkrywki „Adamów” przeznaczono 318 ha gruntów rolnych. Na obszarze tym zazwałowano około 125 mln m³ nadkładu. Po utworzeniu zwałowiska zewnętrznego, przystąpiono do zwałowania nadkładu w wyrobisku odkrywkowym. W związku z wprowadzeniem w 1978 r. podsięsywnego sposobu zwałowania, umożliwiono kształtowanie obszarów zrekultywowanych, w celu przystosowania ich do zagospodarowania w kierunku rolnym.

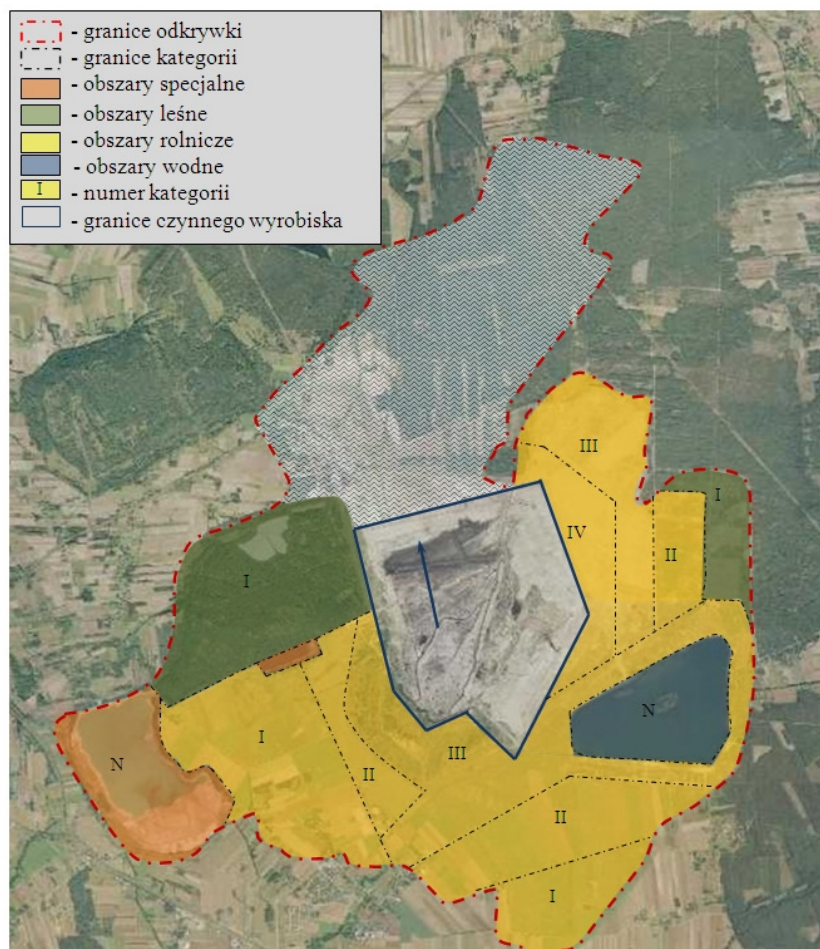
Inwentaryzacja obszarów zrekultywowanych została przeprowadzona na przełomie sierpnia i września 2011 r. Przeprowadzono ogólną ocenę wizualną dotyczącą sposobu użytkowania gruntów oraz efektywności ich zagospodarowania, a także stopień wkomponowania w obecnie funkcjonujący krajobraz. Poddano również autorskiej ocenie ogólny stan morfologiczny siedlisk roślin naczyniowych zajmujących obszary zrekultywowane zestawiając je w 4 kategorii:

- kategoria I – siedliska w pełni wykształcone, nie wykazujące różnic pomiędzy siedliskami występującymi, na obszarach nie będących terenami poeksploatacyjnymi),
- kategoria II – siedliska roślinności o obniżonych cechach jakościowych, takich jak: wzrost, gęstość występowania. Zauważalna jest pojedyncza obecność gatunków słabo wykształconych,
- kategoria III – siedliska z kategorii II, z miejscowo zaznaczającymi się cechami częściowego zahamowania sukcesji,
- kategoria IV – siedliska inicjalne, gdzie sukcesja roślinności w wyniku czynników m.in. takich jak – młody wiek kształtujących się gleb, niesprzyjające warunki fizyczne i fizyczno chemiczne środowiska gruntowego – została całkowicie zahamowana.

WYNIKI INWENTARYZACJI

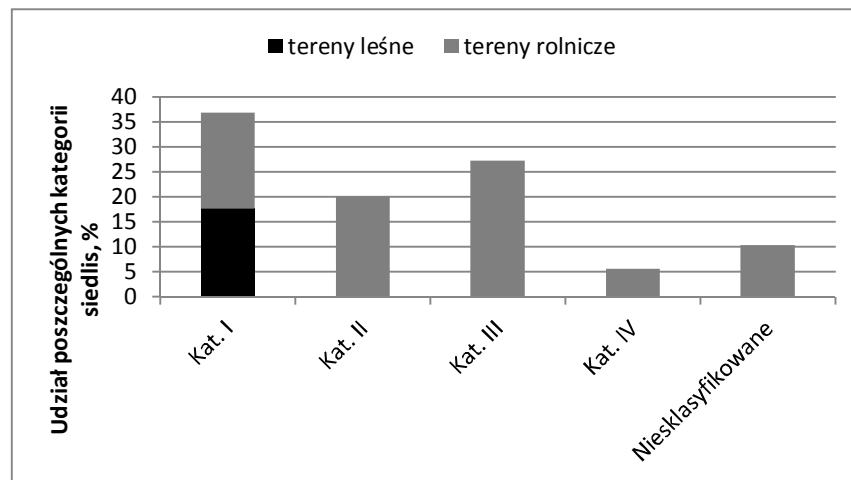
W trakcie inwentaryzacji nie stwierdzono obecności obszarów porzuconych, stanowiących nieużytki. Wszystkie tereny zrekultywowane były zagospodarowane i pełniły określone funkcje w krajobrazie przyrodniczym. Bardzo istotnym zjawiskiem, prezentującym sukces prac rekultywacyjnych na rozpatrywanym obszarze jest brak wyraźnie rysującej się granicy pomiędzy obszarami poeksploatacyjnymi (zrekultywowanymi w kierunku rolnym), a terenami stanowiącymi użytki rolne. Rys. 2 prezentuje obecny stan zagospodarowania obszarów zrekultywowanych, z podziałem na kategorie siedlisk.

Obszary leśne zrehabilitowanego zwałowiska przydzielono do kategorii I. Analizowane siedliska charakteryzują się zwartą szatą roślinną, o dobrze wykształconych poziomach leśnych: koron drzew, podszyt oraz ściółka. Tereny te prezentują cechy zbliżone do młodych siedlisk leśnych. Na obszarach dominuje sosna zwyczajna oraz brzoza brodawkowata, jako gatunki przedplonowe. Często spotykanym gatunkiem jest wierzba zwyczajna. W ściółce natomiast dostrzegalne są strzępki grzybni świadczące o zaawansowanych procesach glebotwórczych, będących efektem rozwoju gatunków drzewiastych na analizowanym obszarze [Gilewska i Otremba 2004].



Rys. 2. Poszczególne kategorie obszarów zrehabilitowanych
Fig. 2. Categories of reclaimed lands

Obszary rolnicze zostały sklasyfikowane w czterech kategoriach. Na rys. 3 przedstawiono procentowy udział powierzchni poszczególnych kategorii w całkowitej powierzchni zrehabilitowanego zwałowiska wewnętrznego. Największy udział obszarów rolniczych w całkowitej powierzchni zrehabilitowanej przypada dla kategorii III. Są to tereny rolnicze, gdzie rośliny wykazują obniżony wzrost i plon oraz widoczne są miejsca, gdzie obserwowane jest wyraźne zahamowanie wzrostu roślin uprawnych. W miejscach tych najprawdopodobniej jeden z czynników decydujących o plonowaniu (zawartość składników pokarmowych, zawartość materii organicznej) występuje w minimum. Niemniej jednak ograniczenia te występują miejscowo, a w całkowitej powierzchni analizowanego obszaru, nie przekraczają 20%.



Rys. 3. Udział procentowy wyznaczonych kategorii siedlisk w całkowitej powierzchni zrehabilitowanego zwałowiska wewnętrznego

Fig. 3. The percentage of habitats categories in the total area of the reclaimed internal dumping site

Drugą, co do zajmowanej powierzchni kategorią jest kategoria II. Są to obszary analogicznie starsze od terenów przydzielonych do kategorii III i przylegają one bezpośrednio do nich. Tereny te zajmują 20,1% całkowitej powierzchni zrehabilitowanej w obrębie odkrywki Adamów. Siedliska te charakteryzują się wysokim udziałem roślinności o ograniczonych cechach jakościowych, spowodowanych najprawdopodobniej występowaniem niekorzystnych warunków glebowych (niekorzystne właściwości fizyczne, niedobór składników pokarmowych). Jednakże roślinność występująca na tych obszarach, charakteryzuje się w miarę stabilnym wzrostem, co świadczy o tym, iż żaden z wymienionych wyżej czynników nie występuje w minimum.

Kategoria I obszarów rolniczych zajmuje 19,1% całkowitej powierzchni zrehabilitowanego zwałowiska. Tereny te zlokalizowane są w największej odległości od czynnego wyrobiska górniczego, na południowej i południowo-zachodniej granicy zwałowiska wewnętrznego. Obszary te zostały zrehabilitowane najwcześniej i wykazują cechy bardzo podobne do terenów nie przekształconych w wyniku eksploatacji. Roślinność występująca na analizowanych terenach nie wykazuje obniżonych cech jakościowych. W wielu miejscach zaobserwowano także wykształcenie się pierwotnego poziomu próchnicznego [Gilewska 1998].

Najmniejszą powierzchnię zajmują tereny rolnicze kategorii IV (5,6% ogólnej powierzchni zrehabilitowanej). Są to obszary usytuowane w bezpośrednim sąsiedztwie czynnego wyrobiska, gdzie rekultywacja biologiczna rozpoczęta została najwcześniej przed dwoma laty. Obszary te, tworzą typowe grunty pogórnice, gdzie procesy glebotwórcze są w fazie inicjacyjnej. Siedliska występujące na tych obszarach charakteryzują się wysokim stopniem przerzedzenia, a same rośliny – niskim wzrostem.

Pozostałe tereny (10,3% ogólnej powierzchni obszarów), to strefy niesklasyfikowane (teren mokrego składowiska popiołów, osadnik wód górniczych oraz zbiornik wodny Przykona).

Analizowane obszary charakteryzują się jednolitą rzeźbą terenu. Już na samym początku prac rekultywacyjnych podjęto decyzję o rolniczym kierunku zagospodarowania tych terenów. Skutkuje to tym, iż zwałowisko wewnętrzne odkrywki Adamów prezentuje cechy obszaru nizinnego, o słabo zróżnicowanym reliefie. Tereny zrehabilitowane, zatem bardzo dobrze wpisują się w rolniczy krajobraz obszarów przyległych, a granica pomiędzy miejscami najwcześniej poddanymi zabiegom rekultywacyjnym, a terenami nieprzekształconymi jest płynna i niewyraźna.

Bardzo istotnym elementem w analizie efektów rekultywacji jest również uwzględnienie aspektu społecznego i gospodarczego wynikających z przeprowadzonych prac. Efektem kompleksowego zagospodarowania terenów pogórnich odkrywki Adamów jest stworzenie zbiornika wodnego Przykona, wraz z infrastrukturą towarzyszącą. Wzdłuż brzegów zbiornika sukcesywnie powstają domki letniskowe, a wartość terenów, przyległych w wyniku wysokiego zainteresowania przez społeczność lokalną i turystów ciągle wzrasta. Na środku zbiornika zaprojektowano wyspę, która stanowi cenne siedlisko dla ptaków wodnych. W miejscu tym stwierdzono obecność 153 gatunków ptaków, w tym 69 lęgowych. 27 gatunków (w tym 8 lęgowych) wymienionych jest w Załączniku I Dyrektywy Ptasiej, a 9 w „Polskiej czerwonej księdze zwierząt”. Obecnie trwają intensywne prace w celu ustalenia na obszarze zbiornika obszaru Natura 2000 (obszar specjalnej ochrony ptaków), w celu ochrony miejsc gniazdowania mewy czarnogłowej i rybitwy rzecznej.

WNIOSKI

- Głównym kierunkiem rekultywacji terenów pogórnich odkrywki „Adamów” jest kierunek rolny (ponad 70% całkowitej powierzchni obszarów zrekultywowanych), co jest bezpośrednim efektem wprowadzenia podsię-sypnego zwałowania ostatniej warstwy nadkładowej.
- Siedliska kształtujące się na obszarach zrekultywowanych najwcześniej (kategoria I), charakteryzują się zbliżonymi właściwościami do siedlisk naturalnych występujących w obrębie odkrywki „Adamów”. Zajmują one największą powierzchnię terenów zrekultywowanych.
- Najmniejszą powierzchnię terenów zrekultywowanych (5,6% całkowitej powierzchni) stanowią obszary kategorii IV – najmłodsze siedliska.
- Analizowane obszary (a w szczególności obszary kategorii I, II i III), w wyniku ciągłych i kompleksowych prac rekultywacyjnych utraciły cechy charakterystyczne dla gruntów pogórnich i zyskały atrybuty terenów produkcyjnych, wkomponowując się w istniejący krajobraz rolniczy obszarów przyległych.

LITERATURA

1. BENDER J., GILEWSKA M.; 1989. Technologia urabianie nadkładu i formowania zwałowisk w górnictwie odkrywkowym i jej skutki gospodarcze. [W:] Zagadnienia zoologiczne w przemyśle wydobywczym i przetwórczym surowców mineralnych. Kraków, AGH, 19-31.
2. BENDER J., GILEWSKA M.; 2004. Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń. Roczniki Gleboznawcze tom LV nr 2, 29-46, Warszawa.
3. GILEWSKA M., OTREMBKA K.; 2004. Właściwości gleb formowanych z gruntu pogórnich. Roczniki gleboznawcze, tom LV, nr 2, 111-121, Warszawa.
4. GILEWSKA M.; 1998. Właściwości próchnicy wytworzonej w procesie rekultywacji gruntów pogórnich. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 153-166.
5. GILEWSKA M., OTREMBKA K.; 2013. Rewitalizacja terenów poeksploatacyjnych na obszarze miasta Konina. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego nr 150, Inżynieria Środowiska nr 30, 59-67.
6. KASZTELEWICZ Z.; 2008. Zasoby węgla brunatnego w Polsce i perspektywy ich wykorzystania. Polityka energetyczna tom 11, zeszyt 1, 181-200.
7. KASZTELEWICZ Z.; 2010. Rekultywacja terenów pogórnich w polskich kopalniach odkrywkowych. Wydawnictwo AGH Kraków.

8. MACIEJEWSKA A.; 2000. Rekultywacja i ochrona środowiska w górnictwie odkrywkowym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
9. MICHAŁSKI A.; 2004. Zagospodarowanie terenów pogórnich kopalń węgla brunatnego „Adamów” S.A. w Turku i „Konin” S.A. w Kleczewie. Roczniki Gleboznawcze, tom LV, nr 2, 281-291 Warszawa.
10. ORLIKOWSKI D., SZWED L.; 2011. Zagospodarowanie terenów pogórnich KWB „Adamów” SA w Turku – krajobraz przed rozpoczęciem działalności górniczej i po jej zakończeniu. Górnictwo i Geoinżynieria, rok 35, zeszyt 3, 225-240.
11. PUCHAŁSKA H., I IN.; 1995. Ocena Oddziaływania na Środowisko odkrywek „Adamów”, „Władysławów”, „Koźmin” KWB „Adamów”. Poltegor - projekt sp.z.o.o. Wrocław.
12. WIERUCHOWSKA-JANIK D., SIERA W.; 2004. Rekultywacja terenów przekształconych w wyniku odkrywkowej eksploatacji węgla brunatnego na przykładzie KWB „Adamów” i „Konin”. Roczniki Gleboznawcze, tom L, nr 2, 493-507 Warszawa.

EVALUATION OF RECLAMATION OF ADAMÓW INTERNAL DUMPING SITE IN ADAMÓW BROWN COAL MINE

S u m m a r y

The article includes issues related to the progress of reclamation areas of brown coal Adamów opencast mine. An assessment of reclaimed land, in terms of natural values and level of insertion into the existing landscape. Categorized the succession level for different types of habitats. Presented stages and characteristics of the formed new, valuable landscape forms, and other elements of the natural and social sciences.

Key words: reclamation, post-mining lands, Adamów opencast.

**GRZEGORZ GABRYŚ^{*}, AGNIESZKA WAŻNA^{*},
KRZYSZTOF NOWAKOWSKI^{**}, ADRIANNA KOŚCIELSKA^{*},
JAN CICHOCKI^{*}**

**PROBLEMY OCHRONY SSAKÓW (MAMMALIA)
W WOJEWÓDZTWIE LUBUSKIM**

Streszczenie

Województwo lubuskie, choć jedno z najmniejszych w Polsce, charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem przyrodniczym i największą w kraju lesistością (49,7%). Wśród chronionych roślin, grzybów i zwierząt jest wiele unikatowych taksonów w skali europejskiej. Bogaty jest również świat ssaków. Ze 105. znanych z Polski gatunków, w województwie lubuskim stwierdzono 70. Są wśród nich zarówno gatunki chronione, łowne jak też nieobjęte żadną formą ochrony, co nie znaczy jednak, że mało ważne lub bezwartościowe. Są też, niestety takie, które w niedalekiej przeszłości, wyginęły na tym obszarze. Wszystkie ssaki, w mniejszym lub większym stopniu, podlegają antropopresji, a część jest poważnie zagrożona w wyniku niekorzystnych przekształceń środowiskowych. Większość zagrożeń wyływa z dokonujących się globalnie procesów cywilizacyjnych, część – z regionalnej specyfiki oraz uwarunkowań przyrodniczych i gospodarczych terenu Polski Zachodniej. Potrzeba ochrony przyrody, także ssaków, staje się coraz bardziej zrozumiała w szerokich kręgach społeczeństwa. Niemniej, szybko postępujące zmiany, wymagają stałej weryfikacji niekorzystnych czynników zagrażających lubuskiej teriofaunie oraz konkretnych propozycji ochrony ssaków w tym regionie.

Słowa kluczowe: Ziemia Lubuska, ochrona zwierząt, zagrożenia, monitoring, edukacja

CZY WIEMY JUŻ WSZYSTKO O SSAKACH?

Plany industrializacji „zielonego” województwa lubuskiego, w tym budowa tak znaczących inwestycji jak rozległe farmy wiatrowe czy kopalnia węgla brunatnego, o ogromnej skali oddziaływania na środowisko, wymagają głębszej

^{*} Katedra Zoologii, Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Zielonogórski

^{**} Nadleśnictwo Trzciel

analizy wpływu na różne grupy zwierząt w szerokim, (ponad)regionalnym kontekście. Warto więc w tym miejscu przypomnieć kilka znanych faktów o niezwykle istotnych „budowniczych” naszych ekosystemów – ssakach.

Spoglądając na ssaki okiem zoologa systematyka i ewolucjonisty, widzimy grupę zwierząt, która osiągnęła niebywały sukces, doprowadzając do zasiedlenia wszystkich środowisk lądowych, wodnych i powietrznych naszej Planety, a także, wykształcając niespotykaną nigdzie w świecie organizmów żywych, zdolność mowy i abstrakcyjnego myślenia. Takiej ekspansji środowiskowej dokonały tylko owady, uzyskując niezależnie sukces ewolucyjny porównywalny ze ssakami; zgodnie jednak z obecnym stanem wiedzy – bez zdolności do abstrakcyjnego myślenia, ale też – bez skłonności do autodestrukcji, poprzez zaburzenie, a w efekcie końcowym, zanik instynktu samozachowawczego.

Wszędobylskie, choć skryte i tajemnicze ssaki, nie są łatwe w obserwacji. O ich obecności świadczą przeważnie tylko tropy, bądź inne ślady bytowania. Stanowią jednak jeden z ważniejszych komponentów ekosystemów a poza wszystkim, są bliskie nam, ludziom, ponieważ na wielu płaszczyznach nasze ścieżki krzyżują się i zachodzą na siebie. Zresztą, z punktu widzenia biologii, my też jesteśmy z krwi i kości ssakami.

Ssaki bardzo długo pozostawały li tylko nocnymi łowcami, przez miliony lat żyjąc w cieniu królujących w owym czasie gadów; aż wreszcie, na skutek sprzyjającego splotu okoliczności, „nadszedł ich czas”. Dzięki wykształceniu wspianiałych przystosowań, uzyskaniu stałocieplności, doskonałemu rozwinięciu centralnego układu nerwowego i udoskonaleniu kory mózgowej, przeszły dynamiczną radiację adaptacyjną, zasiedlając wszelkie dostępne na lądzie i w wodzie środowiska. Jako jedyne zwierzęta, wraz z owadami i ptakami, załadnęły także powietrzem, opanowując sztukę czynnego latania. Sukces ewolucyjny, który dokonał się dzięki rozwinięciu centralnego układu nerwowego sprawił, że stanęły na szczycie świata zwierząt, a właściwie wszelkich organizmów żywych.

Dotychczas opisano ponad 5 400 gatunków ssaków [Wilson i Reeder 2005]. Liczba ta sukcesywnie wzrasta ze względu na odkrywanie nowych gatunków, a także wyodrębnianie blisko spokrewnionych taksonów, dzięki coraz doskonalszym metodom technik molekularnych. Wiedza o ssakach nadal nie jest pełna. W minionym roku dokonano np. spektakularnego odkrycia nowego gatunku drapieżnika, żyjącego w niedostępnych partiach Andów. Spośród wszystkich znanych gatunków ssaków nieco ponad 42% stanowią gryzonie, nieco ponad 20% nietoperze a pozostałe gatunki – niespełna 38%. Należy tu również przypomnieć, że obecnie ponad 1100 gatunków to ssaki współcześnie wymarłe lub bezpośrednio zagrożone wyginięciem w skali globalnej. Ponad 600 z nich to taksony, o których mówi się „żywe trupy”, zaliczane do dwóch najbardziej zagrożonych kategorii, których prawdopodobieństwo uratowania w środowisku naturalnym jest nikłe [IUCN 2013].

Z obszaru Polski wraz z przybrzeżną strefą Bałtyku wykazano dotychczas 105 gatunków ssaków [Andrzejewski i Weigle 2003]. W województwie lubuskim występuje 70 gatunków ssaków [Gabryś i in. 2005, Ważna i in. 2008]. W ostatnich latach przeprowadzono kompleksowe badania teriologiczne w różnych rejonach województwa lubuskiego. Dzięki temu powstały aktualne opracowania lokalnych faun ssaków: Krzesińskiego Parku Krajobrazowego [Bajaczyk i Jurczyszyn 1999], okolic Cybinki [Cichocki i in. 2006], Gminy Drezdenko [Gabryś i in. 2006], Leśnego Kompleksu Promocyjnego Bory Lubuskie w okolicach Lubska [Ważna i in. 2007], Gminy Skwierzyna [Gabryś i in. 2009]. Ponadto ukazało się szereg prac wzbogacających wiedzę o ssakach województwa lubuskiego [Cichocki i in. 2005, 2009, 2011, Nowak i in. 2011, Ważna i in. 2011], uzupełniając dwie wcześniej wspomniane monografie teriofauny regionu [Gabryś i in. 2005, Ważna i in. 2008]. W tej ostatniej, zawarta jest kompletna lista ssaków województwa lubuskiego, uszeregowanych w porządku systematycznym wraz z podaniem pełnego statusu ochronnego wynikającego z prawa Polskiego i Unii Europejskiej.

ZAGROŻENIA DLA POPULACJI SSAKÓW

W klasycznym już dziele wybitnego zoologa francuskiego Jean'a Dorst'a z 1964 roku „*Avant que Nature Meure*” [polskie tłumaczenie z 1971 roku: „*Zanim zginie przyroda*”], autor wymienia szereg zagrożeń płynących dla zwierząt, dzieląc je na bezpośrednie i pośrednie.

Bezpośrednie to:

- polowania i odstrzały pod wszelkimi postaciami;
- kłusownictwo;
- rzezie dla przyjemności;
- niszczenie „szkodników” w pojęciu człowieka, a więc np. wilków czy ptaków drapieżnych;
- stosowanie preparatów chemicznych nie działających wybiórczo (DDT!);
- kolekcjonerstwo „naukowe” a właściwie pseudonaukowe, będące często pretekstem do wytępienia ginących już i tak samoistnie gatunków i populacji zwierząt.

Pośrednie to:

- przemiany biotopów, związane z rozwojem gospodarki, komunikacji i rolnictwa;
- drastyczne kurczenie się arealów, w jakich następowały naturalne procesy ewolucji;
- wojny;
- zamierzone i niezamierzone introdukcje;

– dramatyczny wzrost liczebności populacji ludzkiej.

Pisząc swoją książkę w 1964 roku, Jean Dorst nie przypuszczał zapewne, że dynamika tego ostatniego procesu osiągnie tak niebywałą wartość. Wszak jeszcze w 1825 roku był nas na Ziemi zaledwie jeden miliard.

Niewiele można dodać do przyczyn wskazanych przez Dorst’a obecnie. *Ex definitio* wymieranie gatunków, czyli bardziej naukowo – ekstynkcja, to „*proces zanikania gatunków lub innej grupy taksonomicznej*”. Jest to „*naturalny proces związany z istnieniem życia na Ziemi i towarzyszący jego istnieniu od samego początku. W skali milionów lat szacuje się tempo wymierania gatunków na zaniknięcie jednego gatunku co rok do pięciu lat. Na wielkość tę ogromny wpływ mają jednak okresowo następujące masowe wymierania. Pomiędzy nimi tempo wymierania jest niewielkie, szacowane na wymarcie jednego gatunku co kilkaset lat. Wpływem cywilizacji ludzkiej tłumaczy się zwiększone tempo wymierania gatunków dokumentowane od kilkudziesięciu tysięcy lat, zwłaszcza w okresie ostatnich kilkuset lat. Współcześnie, według różnych ocen, wymiera od 5 tysięcy do 500 tysięcy gatunków rocznie*”. Tyle Wikipedia (hasło „Wymieranie”). Wśród biologów, a zwłaszcza zoologów systematyków zajmujących się bezkręgowcami, popularne jest stwierdzenie, że większość gatunków wymrze, zanim zostaną opisane. Biorąc pod uwagę, że z 30-40 milionów gatunków wszystkich biota zamieszkujących Ziemię opisano zaledwie nieco ponad dwa miliony – jest to wizja wielce prawdopodobna [Margulis i Schwartz 1998, Margulis 2000]. Nawiasem mówiąc, w światowych „topowych” czasopismach naukowych publikowane są prace świadczące o tym, że poziom wymierania współczesnych gatunków niebezpiecznie zbliża się do tej krytycznej liczby porównywalnej do „wielkiego wymierania” [Barnosky i in. 2011].

Do zagrożeń wymienionych przez Jean’a Dorst’a można w skali globalnej na pewno dodać kilka innych, narosłych w związku z niezwykle przyspieszeniem cywilizacyjnym, a więc: genetyczne, demograficzne, toksykologiczne, wywołane przez katastrofy, choroby, zmiany geologiczne i klimatyczne. Wymienia się też nasiloną, bezpośrednią konkurencję międzygatunkową, spowodowaną drastycznym kurczeniem się arealów gatunkowych, populacyjnych i osobniczych.

PROBLEMY OCHRONY SSAKÓW W WOJEWÓDZTWIE LUBUSKIM

Badania prowadzone przez ostatnich kilkanaście lat, wskazują na znaczną specyfikę regionalnych zagrożeń ssaków. Dotyczą one gatunków o różnym statusie: zarówno chronionych, łownych jak też nieobjętych żadną formą ochrony, co nie znaczy jednak, że nieistotnych z biocenotycznego punktu widzenia.

Czynniki zagrażające stabilności populacji ssaków w Lubuskiem to:

- ograniczenie dostępności siedlisk dla niektórych gatunków poprzez narastającą monokulturyzację, oraz wielkoobszarowość upraw rolnych, pozbawianych dotychczasowych zadrzewień i miedz śródpolnych; dotyczy to takich gatunków jak sarna (ekotyp polny), jeże, zając szarak; analogiczne skutki ma zanikanie starych, zakrzewionych nieużytków, przywracanych (zazwyczaj tylko formalnie) do produkcji rolnej, jako nieoczekiwany efekt dopłat bezpośrednich „do hektara”;
- utrata dostępnych siedlisk w związku z planowanymi inwestycjami infrastrukturalnymi (w tym: budowy farm wiatrowych, rozbudowy sieci dróg, eksploatacje nowych kopalni węgla brunatnego, czy gazu łupkowego);
- niewłaściwe pozyskanie łowieckie – skutkujące utrzymaniem przegęszczonych populacji, zwłaszcza gatunków z rodziny jeleniowatych;
- kolizje z pojazdami – dla niektórych gatunków, takich jak borsuk, lis, kuny itp. stanowią istotniejszą przyczynę śmiertelności niż łowiectwo;
- brak programu eliminacji gatunków inwazyjnych (norka amerykańska, jenot, szop pracz), związany z nikłym zainteresowaniem myśliwych – pomimo braku okresów ochronnych dla tych gatunków;
- izolacja przestrzenna populacji wskutek powstania tras S3 i A2, nie do końca zniwelowana za pomocą środków technicznych – istotny problem stanowi dyskusyjna lokalizacja oraz sposób zagospodarowania przejść dla ssaków dużych (np. jeleni, dzików); jednocześnie obserwuje się niechęć części gatunków, do wykorzystywania przejść podziemnych;
- tendencja do meliorowania cieków wodnych, rozumiana jako usuwanie wszelkiej szaty roślinnej linii brzegowej, co ogranicza bazę pokarmową i niszczy miejsca rozrodu ssaków o ziemnowodnym trybie życia, jak bobry, piżmaki, wydry i inne;
- kłusownictwo – o ile sam proceder, jako taki, to zjawisko marginalne, o tyle problem wałęsających się psów i kotów z racji swej powszechności, nie powinien być dłużej tolerowany;
- bagatelizowanie problemu wałęsających się psów, jako elementu ryzyka zanieczyszczenia puli genetycznej rekolonizującego nasze tereny wilka;
- stała i narastająca antropopresja, w szczególności zwolenników „outdoorowych” aktywności m. in. na zimowiska nietoperzy („bunkrowcy” w MRU), ostoje i rykowiska jeleniowatych („dzicy” motocykliści, quadowcy, „offroadrzy” samochodowi) itp.;
- narastająca popularność zagrodowej hodowli gatunków dzikich, co zwiększa ryzyko pojawienia się nowych rodzajów chorób i pasożytów potencjalnie mogących przedostać się do dzikich populacji (np. poprzez zdarzające się ucieczki danieli z zagród); o możliwości przedostania się do rodzimych ekosystemów obcych gatunków ssaków nie wspominając;

- rozwój energetyki wiatrowej – kolizje nietoperzy z obracającymi się wirnikami elektrowni wiatrowych, a także wpływ wibracji i pola magnetycznego, emitowanych przez farmy wiatrowe na drobne ssaki wchodzące w skład fauny glebowej;
- „zła prasa” – częste w naszym regionie demonizowanie w przekazach medialnych pewnych grup ssaków np. bobrów, wilków, nietoperzy i ukazywanie ich w złym świetle bez należytej analizy opisywanego problemu; np. w kontekście ofiar wilków nigdy nie podkreśla się, że straty są rekompensowane przez skarb państwa, nie wspominając o szukaniu przyczyn zaistniałej sytuacji; straty wynikające z aktywności bobrów w rejonie wałów przeciwpowodziowych nie są analizowane w kontekście złej lokalizacji wałów (o polderach zalewowych opinia publiczna zapomniała, gdyż podwyższanie wałów przedstawiane jest jako jedyne zabezpieczenie przeciwpowodziowe).

Jak już wspomniano w niniejszym opracowaniu, oprócz wielu inwestycji, również planowana kopalnia węgla brunatnego w południowo-zachodniej części województwa lubuskiego, będzie rzutować na kształt teriofauny. Można bez przesady stwierdzić, że będzie ona jednym z głównych czynników zagrażających ssakom w regionie. Wpływ tak dużej inwestycji będzie w zasadzie niemożliwy do całkowitej kompensacji. Wprawdzie wizja pięknego jeziora w przyszłości może być kusząca dla turystów, lecz z punktu widzenia ochrony przyrody będzie ono mieć takie znaczenie, jak mini zoo przy stacji benzynowej dla ochrony ginących gatunków. Należy więc niezwykle precyzyjnie przeanalizować wszystkie „za i przeciw” aby zminimalizować skutki planowanej inwestycji. Tymczasem, co należy sobie również jasno uzmysłowić, do tej pory nie został gruntownie przeanalizowany, w żadnym aspekcie przyrodniczym, skumulowany wpływ potencjalnej inwestycji na teriofaunę, jak również na inne grupy zwierząt, zarówno po polskiej jak i niemieckiej stronie granicy.

Negatywny wpływ na populacje ssaków będzie się przejawiał poprzez:

- wielkoobszarowe zmiany wynikające z powstania kopalni odkrywkowej i zniknięcia warstwy gleby, niezbędnej dla funkcjonowania drobnych ssaków (*Micromammalia*); rekultywacja obszarów pokopalnianych doprowadzi do powstania nowego biotopu, ale nigdy nie będzie powrotu do punktu wyjściowego;
- zmiany stosunków wodnych na terenie znacznie rozleglejszym niż potencjalna odkrywka, powodujące obniżenie poziomu wód gruntowych, co wpłynie negatywnie na strukturę drobnych ssaków, szczególnie owadożernych *Soricomorpha* (wszystkie gatunki objęte ochroną prawną);
- planowany wysoki pobór wód z Nysy Łużyckiej i zmianę przebiegu niektórych mniejszych rzek, co spowoduje zniknięcie środowiska życia ssaków ziemnowodnych (bobry europejskie, rzęsorki rzeczki, karczowniki ziemnowodne);

- wycinkę starych drzew na dużych obszarach, co niezależnie od struktury gatunkowej pozbawi zarówno miejsca schronień, jak i żerowisk przede wszystkim nietoperze leśne, w tym takie gatunki jak borowiec, borowiaczek, mopek, gacek brunatny oraz inne ssaki: wiewiórki, kuny (leśna i domowa);
- wielkoobszarową wycinkę borów sosnowych, która pozbawi miejsc żerowiskowych nocka dużego; w Lubuskiem zlokalizowanych jest najwięcej kolonii rozrodczych tego gatunku w kraju, a odległość kolonii od żerowisk może sięgać nawet 25 km;
- zakłócenie drogi migracji wilka z północy regionu w kierunku Borów Dolnośląskich, co wpłynie również negatywnie na proces rekolonizacji tego gatunku.

OCHRONA TERIOFAUNY WOJEWÓDZTWA LUBUSKIEGO

Nadal słabo poznana jest bioróżnorodność wielu, cennych przyrodniczo, obszarów tego regionu a także niewystarczająco zdefiniowane zagrożenia dla wielu terenów, szczególnie tych, przewidzianych w najbliższym czasie pod wielkoobszarowe, różnego kalibru i kategorii, uciążliwe dla środowiska inwestycje. Ustalenie wszystkich zagrożeń dla fauny ssaków województwa lubuskiego oraz precyzyjne określenie statusu poszczególnych gatunków, we wszystkich jednostkach administracyjnych regionu, jest na dzień dzisiejszy niemożliwe. Przyczyną jest m. in. brak inwentaryzacji przyrodniczych dla terenów znajdujących się poza parkami narodowymi i krajobrazowymi oraz rezerwatami przyrody. W związku z tym istnieje pilna potrzeba intensyfikacji badań i monitoringu oraz utworzenie jasnej i spójnej strategii ochrony zasobów przyrodniczych regionu, w tym również ssaków.

Rozmieszczenie ssaków w województwie lubuskim zdeterminowane jest różnorodnością geograficzną regionu, zagospodarowaniem terenu, stopniem przekształcenia lasów i zachowaniem naturalnych biotopów. Wpływ na bogactwo teriofauny ma obecność dużych rzek, których doliny stanowią nie tylko środowisko życia ssaków, ale i dogodną drogę migracji. Nie ma również zbyt wielu źródeł historycznych, które mogłyby nam przybliżyć obraz teriofauny w okresie przed drastycznymi zmianami środowiska na przełomie XIX i XX wieku. Szczególnie regulacja Odry oraz trzebież lasów liściastych wpłynęły na zubożenie lubuskich ekosystemów.

Najcenniejszym miejscem z punktu widzenia ochrony ssaków w regionie jest Międzyrzecki Rejon Umocniony (MRU) wraz z bunkrami wolnostojącymi. Podziemia MRU uważane są za największe hibernakulum nietoperzy w kraju i jedno z największych w Europie. Rezerwat chroni unikatowe miejsce zimowania dla 30 000 nietoperzy należących do 12. gatunków. Stanowią one obiekt zainteresowania chiropterologów z całego świata. Gatunkami występującymi

w MRU najliczniej są nocek rudy *Myotis daubentonii* i nocek duży *Myotis myotis*. Populacje obu gatunków osiągają liczebności dochodzące do kilkunastu tysięcy osobników. Pozostałe gatunki są mniej liczne. Chroniący podziemia MRU rezerwat „Nietoperek” ma wykraczające poza granice regionu znaczenie dla ochrony chiropterofauny. Cennymi miejscami hibernacji nietoperzy są również: Twierdza Kostrzyn oraz bunkry naziemne w rejonie MRU [Szkudlarek i in. 2001].

W południowej części województwa lubuskiego cennym miejscem dla ochrony nietoperzy jest tzw. „Mopkowy Tunel” koło Nowogrodu Bobrzańskiego. Fragment podziemnego kanału stanowi od wielu lat hibernakulum mopków. Pobliskie ruiny fabryk prochu koło Krzystkowic, ukryte obecnie w lasach, również są w okresie zimowym schronieniem dla nietoperzy.

Innym, unikatowym ekosystemem w województwie lubuskim jest rezerwat „Buczyna Szprotawska”. Oprócz walorów botanicznych jest to obszar, na którym zlokalizowane jest jedyne w województwie stanowisko popielicy *Glis glis*. Tworzy ona w rezerwacie stabilną populację.

Monitorowanie zagrożeń teriofauny województwa lubuskiego uzależnione jest przede wszystkim od przeprowadzenia inwentaryzacji przyrodniczych na całym jego obszarze. Jest to warunek *sine qua non* do obserwacji dynamiki liczebności populacji ssaków i poznania ich rozmieszczenia. W odniesieniu do najrzadszych gatunków, stan poznania statusu wielu populacji poprawił się dzięki realizacji programu Natura 2000, szczególnie dotyczy to chiropterofauny. Bogactwo gatunkowe nietoperzy i mnogość miejsc ich występowania wyróżnia województwo lubuskie na tle innych regionów, co nie oznacza, że inne gatunki nie zasługują na należyłą uwagę. Ważna i in. [2008] wymieniają szereg zaleceń niezbędnych do czynnej ochrony ssaków w regionie.

Przy omawianiu fauny ssaków województwa lubuskiego nie sposób pominąć taksonów, które w regionie wymarły. Do gatunków wymarłych w skali kraju (EXP) według Głowacińskiego [2001a] należą suseł moręgowany *Spermophilus citellus* oraz norka europejska *Mustela lutreola*. Suseł moręgowany jest przykładem gatunku, który wyginął wskutek tępienia przez ludzi. Był gatunkiem liczny na południu regionu jeszcze na początku XX wieku. W Lubuskiem przebiegała wówczas północna granica zasięgu geograficznego tego gryzonia. Sięgała ona doliny Odry w rejonie Zielonej Góry. Ostatnie wzmianki o obserwacjach susłów w regionie pochodzą z lat 60. XX wieku z okolic Żar [Surdacki 1965, 1983b]. Obecnie, dzięki staraniom przyrodników, gatunek jest w Polsce z sukcesem reintrodukowany (dwa stanowiska).

Brak danych historycznych o rozmieszczeniu norki europejskiej w obecnych granicach województwa lubuskiego. Prawdopodobnie wyginęła do pierwszej połowy XIX wieku [Głowaciński 2001b].

Za wymarłe w regionie można uznać dodatkowo dwa gatunki: chomika europejskiego *Cricetus cricetus* i żołądnicę *Eliomys quercinus*. Chomik europejski

nie należy do gatunków zagrożonych wyginięciem i nadal jest rozprzestrzeniony w dużej części kraju. Jego status jest jednak słabo poznany i gatunek znajduje się na Polskiej Czerwonej Liście Zwierząt. Lubuska populacja chomika drastycznie zmniejszyła liczebność w latach 70. XX wieku [Surdacki 1973, 1983a]. Obecnie niestwierdzane są czynne stanowiska zarówno w regionie, jak i w całej zachodniej Polsce.

Żołędnicza ma w Polskiej Czerwonej Księdze Zwierząt status gatunku skrajnie zagrożonego (CR) i od wielu lat nie wykazano w kraju czynnych stanowisk tego gryzonia. W latach 20. XX wieku stwierdzona została w miejscowości Stanów na obecnym obszarze województwa lubuskiego. Obserwacja ta jest jedynym potwierdzeniem występowania tego rzadkiego gatunku w regionie [Pax 1925]. Wieloletni brak danych o czynnych stanowiskach wskazuje, że gatunek ten można uznać za wymarły w Polsce.

Gatunkiem silnie zagrożonym wyginięciem (EN), wpisanym do Polskiej Czerwonej Księgi Zwierząt, jest nocek łydkowłosy *Myotis dasycneme*. Rezerwat „Nietoperek” oraz bunkry naziemne MRU zaliczane są w Polsce do najważniejszych miejsc hibernacji tego rzadkiego nietoperza. Poza okresem zimowym nocek łydkowłosy obserwowany jest w regionie sporadycznie.

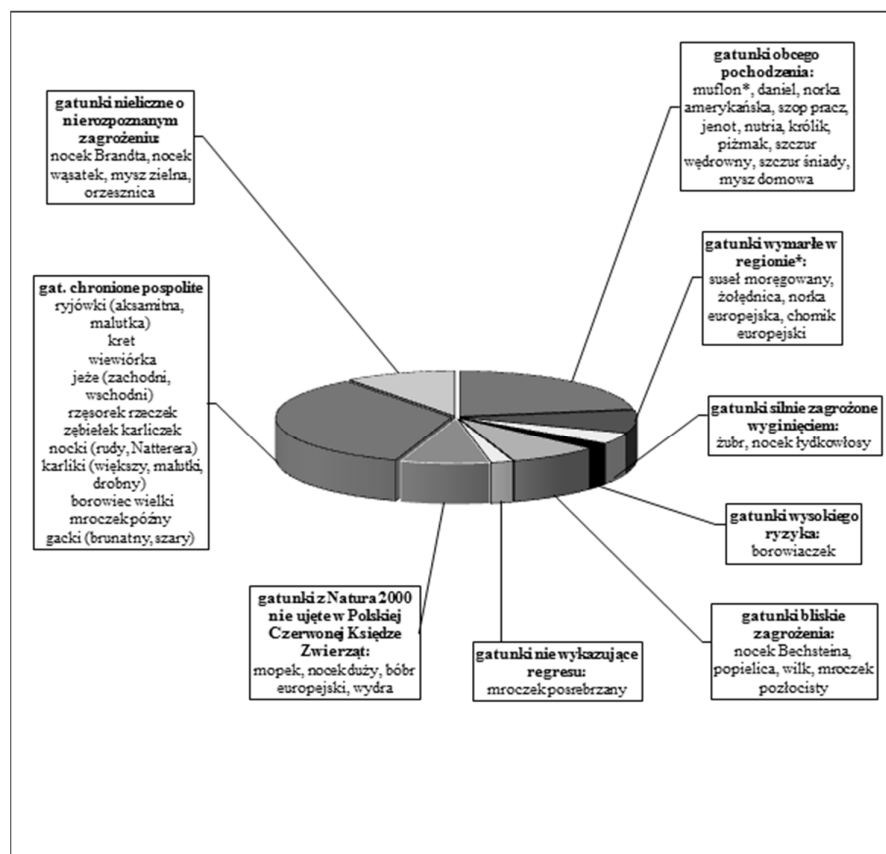
Do kategorii gatunków silnie zagrożonych (EN) należy również żubr *Bison bonasus*. Gatunek ten utrzymywany jest od niedawna w hodowli zagrodowej w Sycowicach. Poza tym tylko raz obserwowano żubra w okolicach Gorzowa Wielkopolskiego. Osobnik migrował z populacji zasiedlającej pobliskie Lasy Wałeckie.

Do gatunków wysokiego ryzyka (VU) zaliczany jest borowiaczek *Nyctalus leisleri*. Stwierdzany był dotychczas na pięciu stanowiskach. Wszystko wskazuje na to, iż ten gatunek nietoperza może być liczniejszy niż jest to wykazywane.

Gatunkiem należącym do kategorii niższego ryzyka (NT), ale bliskim zagrożenia jest nocek Bechsteina *Myotis bechsteinii*, znany w regionie jedynie z miejsc hibernacji oraz mroczek pozłocisty *Eptesicus nilssonii*. Do tej kategorii należy również popielica, której status w regionie jest nieznany. Znane jest czynne stanowisko tego pięknego gryzonia w rezerwacie „Buczyna Szprotawska”. Potencjalnie jednak istnieje możliwość, że popielica ma czynne stanowiska w innych, zachowanych jeszcze fragmentach starych lasów bukowych.

Po latach nieobecności powrócił na obszar województwa lubuskiego wilk *Canis lupus*, uważany za gatunek niższego ryzyka (NT). W wielu miejscach regionu obserwowane są od wielu lat pojedyncze, migrujące osobniki. Jednym z istotniejszych szlaków migracyjnych gatunku z południa na północ jest dolina Odry. Stała, rozwijająca się populacja zlokalizowana jest w rejonie Krosna Odrzańskiego. Od kilku lat bytująca w tych okolicach wataha wyprowadza młode i doskonale zaadaptowała się do lokalnych warunków środowiskowych. Wilki są cennym elementem środowiska naturalnego i w znaczący sposób wzbogacają bioróżnorodność województwa lubuskiego.

Do ssaków chronionych programem Natura 2000 zaliczają się w Lubuskiem: nocek Bechsteina *Myotis bechsteinii*, nocek łydkowłosy *Myotis dasycneme*, nocek duży *Myotis myotis*, mopek *Barbastella barbastellus*, bóbr europejski *Castor fiber*, wilk *Canis lupus*, wydra *Lutra lutra* oraz żubr *Bison bonasus*.



* gatunki wymarłe uwzględnione w Polskiej Czerwonej Księdze Zwierząt oraz wymarłe w granicach województwa lubuskiego.

* extinct species according to Polish Red Book of Animals and extinct in Lubuskie Province

Rys. 1. Skład teriofauny województwa lubuskiego z podziałem na kategorie zagrożeń (za Ważna i in. 2008, poprawione)

Fig. 1. Mammals of the Lubuskie Province according to endangerment categories (after Ważna et al. 2008, updated)

Poznanie teriofauny województwa lubuskiego było dotychczas niewystarczające. Intensyfikacja badań w ostatnich latach zaowocowała odkryciem dla

fauny regionu trzech nowych gatunków. Po 2000 roku stwierdzono nowe stanowisko szczura śniadego *Rattus rattus*, mroczka posrebrzanego *Vespertilio murinus* oraz myszy zielnej *Apodemus uralensis* [Cichocki i in. 2006, 2009, 2011]. Mroczek posrebrzany wymieniony jest w Polskiej Czerwonej Księdze Zwierząt – Kręgowce, jako gatunek najmniejszej troski (LC), niewykazujący na razie regresu populacyjnego [Głowaciński 2001a]. Mysz zielna jest gatunkiem stepowym i do niedawna nie była stwierdzana w Lubuskiem. Stanowisko w okolicach Kożuchowa jest najdalej na północ wysuniętą lokalizacją myszy zielnej w Polsce. Pojawianie się nowych gatunków w środowisku jest wskaźnikiem zmian w otaczającym nas świecie: ocieplania się klimatu, stepowienia, zooglobalizacji i innych. Należy zatem dogłębnie wpatrywać się w otaczającą nas przyrodę i umiejętnie odczytywać dawane nam sygnały.

Działaniem zaburzającym naturalne procesy przyrodnicze są introdukcje, czyli wsiedlanie gatunków na teren leżący poza geograficznym obszarem ich występowania. Introdukcja celowa obejmuje głównie gatunki użytkowe: hodowlane, łowne, domowe a także naturalnych wrogów szkodników. Niejednokrotnie przeprowadzana jest ze względów sentymentalnych bądź religijnych. Introdukcje celowe były bardzo popularne na przełomie XIX i XX wieku. Nie zawsze zdawano sobie jednak sprawę z zagrożeń płynących z wprowadzenia obcego gatunku do ekosystemu. Introdukcje mogą stanowić zagrożenie, czego przykładem było całkowite zachwianie równowagi ekologicznej po wprowadzeniu królika do Australii [np. Dorst 1971].

Przykładem introdukcji przypadkowej są chociażby szczury (śniady i wędrowni) i myszy domowe, wędrujące z człowiekiem na statkach bądź w czasie masowych migracji. Szczur śniady jest najlepszym przykładem zmian, jakie następują w otaczającej nas przyrodzie. Niegdyś gatunek pospolity i zwalczany, wskutek zmian, jakie nastąpiły w żegludze morskiej i śródlądowej (również na Odrze) obecnie jest niezwykle rzadki i o niejasnym statusie [Cichocki i in. 2005].

W Polsce dziewięć gatunków ssaków można uznać za introdukowane celowo. Należą one do czterech rzędów: gryzonie (Rodentia): piżmak *Ondatra zibethicus* i nutria *Myocastor coypus*; zającokształtne (Lagomorpha): dziki królik *Oryctolagus cuniculus*; parzystokopytne (Artiodactyla): jeleni wschodni (czyli jeleni sika) *Cervus nippon*, daniel *Dama dama* i muflon *Ovis ammon musimon*; drapieżne (Carnivora): jenot *Nyctereutes procyonoides*, norka amerykańska *Neovison vison* i szop praczy *Procyon lotor*. Za wyjątkiem jelenia sika, pochodzącego z Azji Wschodniej, wszystkie spotykane są w województwie lubuskim. Oprócz nutrii wszystkie mają status gatunków łownych. Bez wątpienia piękne i będące źródłem satysfakcji dla wsiedlających, są nosicielami śmiertelnie groźnych pasożytów (również dla ludzi) i negatywnie wpływają na rodzimą przyrodę [Gabrys i in. 2005, Gabrys 2006].

Województwo lubuskie, choć jedno z najmniejszych w Polsce, charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem przyrodniczym i największą w kraju lesistością (49,7%). Wśród chronionych roślin, grzybów i zwierząt jest wiele unikatowych taksonów w skali europejskiej [Gabryś i in. 2013]. Niniejszy artykuł wskazuje na ogromne bogactwo ssaków województwa lubuskiego. Pokazuje też liczne zagrożenia, powodowane wzrastającą antropopresją. Przestrozę stanowią gatunki, które wskutek działalności człowieka ustąpiły z naszego regionu, być może bezpowrotnie. Potrzeba ochrony przyrody, w tym ssaków, w województwie lubuskim wydaje się być coraz bardziej zrozumiała w szerokich kręgach społeczeństwa. Niemniej, szybko postępujące zmiany, wymagają stałej weryfikacji niekorzystnych czynników zagrażających lubuskiej teriofaunie oraz konkretnych propozycji ochrony ssaków w tym regionie. Planowanie nowych inwestycji, sieci komunikacyjnych i urbanizacja regionu stanowią wyzwanie do intensywniejszych badań w celu ustalenia optymalnego modelu, w którym ssaki mogłyby niezagrożone funkcjonować a człowiek cieszyć się z właściwej opieki i zapewnienia godziwych warunków egzystencji tym niezwykle ważnym zwierzętom – z punktu widzenia ochrony przyrody, ekologii, dziedzictwa genetycznego, schedy ewolucyjnej i ... kulturowej. Musimy pamiętać, że człowiek, niewątpliwie obdarzony największą inteligencją wśród ssaków i mogący w zasadzie bez ograniczeń przekształcać otaczający go świat, nie żyje zawieszony w próżni. Jest częścią biosfery i podobnie jak inne gatunki poniesie konsekwencje jej degradacji.

Współautorzy (Krzysztof Nowakowski i Adrianna Kościelska) są stypendystami w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INNOWACJI



Lubuskie

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



LITERATURA

1. ANDRZEJEWSKI, R.; WEIGLE, A. 2003. Różnorodność biologiczna Polski. NFOŚ, Warszawa, ss. 284.
2. BAJACZYK, R.; JURCZYSZYN, M. 1999. Ssaki (*Mammalia*) Planowanego Krzesińskiego Parku Krajobrazowego. Badania fizjograficzne nad Polską zachodnią, Seria C Zoologia, Nr 46, 89-93.

3. BARNOSKY, A. D.; MATZKE, N.; TOMIYA, S.; WOGAN, G. O. U.; SWARTZ, B.; QUENTAL, T. B.; MARSHALL, C.; MCGUIRE, J. L.; LINDSEY, E. L.; MAGUIRE, K. C.; MERSEY, B.; FERRER, E. A. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, Nr 471(51-57), doi: 10.1038/nature09678.
4. CICHOCKI, J.; ŁUPICKI, D.; SAWKO, G.; WAŻNA, A. 2006. Ssaki okolic Cybinki. W: JERZAK L. (red.). Fauna doliny Odry okolic Cybinki. Lubuskie Prace Przyrodnicze, Nr 1. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, 109-130.
5. CICHOCKI, J.; RUPRECHT, A. L.; WAŻNA, A. 2005. Występowanie szczura śniadego *Rattus rattus* L. w Zachodniej Polsce. W: HĘDRZAK, M. (red.). Zmiany populacji ssaków jako pochodna dynamiki zmian środowiska. Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja, Kraków, 104-109.
6. CICHOCKI, J.; RUPRECHT, A. L.; WAŻNA, A. 2011. Distribution of pygmy field mouse *Apodemus uralensis* (Pallas, 1811) population in Poland: review of the studies and new data. *Fragm. faun.*, Nr 54(1), 77-85.
7. CICHOCKI, J.; WAŻNA, A.; ŁUPICKI, D.; NIEDEBACH, J. 2009. Pierwsze stwierdzenie mroczka posrebrzanego *Vespertilio murinus* Linnaeus, 1758 w woj. lubuskim. *Nietoperze*, Nr 10, 73-74.
8. DORST, J. 1971. Zanim zginie przyroda. Wiedza Powszechna, Warszawa, ss. 460.
9. GABRYŚ, G. 2006. Zooglobalizacja – zagrożenie faun lokalnych (wykład inauguracyjny 2006). Uniwersytet Zielonogórski, Miesięcznik Społeczności Akademickiej, Nr 9/1(147-148), 11-13.
10. GABRYŚ, G.; CICHOCKI, J.; WAŻNA, A. 2005. Ssaki. W: JERMA-CZEK, A.; MACIANTOWICZ, M. (red.). Przyroda Ziemi Lubuskiej. Wydawnictwo Klubu Przyrodników, Świebodzin, 216-235.
11. GABRYŚ, G.; JERZAK, L.; GABRYŚ, B. 2013. Przyroda lubuska – warta zachodu? *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego*, Nr 150(30), 54-64.
12. GABRYŚ, G.; WAŻNA, A.; CICHOCKI, J. 2006. Ssaki. W: LIPNICKI, L. (red.). Przyroda Gminy Drezdenko. Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzczak, Drezdenko, 170-185.
13. GABRYŚ, G.; WAŻNA, A.; CICHOCKI, J.; ŁUPICKI, D. 2009. Ssaki. W: Lipnicki, L. (red.). Przyroda Gminy Skwierzyna, Skwierzyna, 217-231.
14. GŁOWACIŃSKI, Z. (red.). 2001a. Polska Czerwona Księga Zwierząt. Kręgowce. PWRiL, Warszawa, ss. 452.
15. GŁOWACIŃSKI, Z. 2001b. *Mustela lutreola* (Linné, 1761). W: GŁOWACIŃSKI, Z. (red.). Polska Czerwona Księga Zwierząt. Kręgowce. PWRiL, Warszawa, 91-93.
16. IUCN 2013. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. www.iucnredlist.org

17. MARGULIS, L. 2000. Symbiotyczna Planeta. Wydawnictwo CiS, Warszawa, ss. 188.
18. MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. V. 1998. Five Kingdoms. An illustrated guide to the phyla of life on Earth 3th ed. W. H. Freeman and Company, New York, ss. 520.
19. NOWAK, S.; MYŚLAJEK, R. W.; KŁOSIŃSKA, A.; GABRYŚ, G. 2011. Diet and prey selection of wolves (*Canis lupus*) recolonising Western and Central Poland. Mammalian Biology, Nr 76(6), 709-715.
20. PAX, F. 1925. Wierbeltierfauna von Schlesien. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, ss. 557.
21. SURDACKI, S. 1965. Rozmieszczenie i zmienność susła moregowanego *Citellus citellus* (Linnaeus, 1766) w Polsce. Acta Theriologica, Nr 10(19), 273-288.
22. SURDACKI, S. 1973. Północna i południowa granica zasięgu oraz obszar występowania chomika europejskiego *Cricetus cricetus* (Linnaeus, 1758) w Polsce. Przegląd Zoologiczny, Nr 17(1), 86-88.
23. SURDACKI, S. 1983a. *Cricetus cricetus* (Linnaeus, 1758). W: PUCEK, Z.; RACZYŃSKI, J. (red.). Atlas rozmieszczenia ssaków w Polsce. PWN, Warszawa, 94-100, 85 [mapa].
24. SURDACKI, S. 1983b. *Spermophilus citellus* (Linnaeus, 1766). W: PUCEK, Z.; RACZYŃSKI, J. (red.). Atlas rozmieszczenia ssaków w Polsce. PWN, Warszawa, 89-90, 77 [mapa].
25. SZKUDLAREK, R.; PASZKIEWICZ, R.; BLOHM, T.; NOWAK, E.; ŁUPICKI, D. 2001. Bunkry Ziemi Lubuskiej jako schronienia nietoperzy. Nietoperze, Nr 2(1), 85-92.
26. WAŻNA, A.; CICHOCKI, J.; GABRYŚ, G. 2008. Ssaki. W: JERZAK, L. (red.). Opracowanie ekofizjograficzne województwa lubuskiego. II. Przyroda ożywiona. Zarząd Województwa Lubuskiego, Zielona Góra, 205-217 + 282.
27. WAŻNA, A.; CICHOCKI, J.; GABRYŚ, G.; ŁUPICKI, D. 2007. Ssaki. W: JERZAK, L.; GABRYŚ, G. (red.). Bory Lubuskie. Leśny Kompleks promocyjny. Nadleśnictwo Lubsko, 105-116 + 187-194.
28. WAŻNA, A.; CICHOCKI, J.; ŁUPICKI, D.; RUBACHA, S.; WĄSICKI, A.; GABRYŚ, G. 2011. Pokarm płomykówki *Tyto alba* (Scopoli, 1769) na Ziemi Lubuskiej. Zesz. Nauk. UP Wroc., Biol. Hod. Zwierz., Nr 62(580), 65-87.
29. WILSON, D. E.; REEDER, D. M. (red.). 2005. Mammal Species of the World: a taxonomic and geographic reference. 3rd ed. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, ss. 2142 + xxxviii + xx.

ISSUES IN THE CONSERVATION OF MAMMALS (MAMMALIA) IN LUBUSKIE PROVINCE

S u m m a r y

Despite being among the smallest provinces in Poland, Lubuskie Province shows a relatively high diversity of natural resources and the highest forest cover in the country (49.7%). There occur many taxa among protected plants, fungi, and animals that are unique at European level. Of the 105 species of mammals known in Poland, 70 were recorded in Lubuskie Province. The list includes protected species, game species, and the unprotected ones. However, the unprotected species are by no means worthless or unimportant. Certain species have unfortunately become extinct in recent times in this area. All mammals are subject to anthropopressure to a certain degree and some of them are seriously endangered due to unfavourable environmental changes. The threats are mainly due to global civilisational processes, but in some cases, the reasons are the local specificity and natural and economic conditions in western Poland. The necessity for nature conservation, including mammals, is becoming increasingly appreciated in the society. Nevertheless, the rapid changes require constant verification of unfavourable factors threatening the mammal fauna of the Lubuskie and clearly defined recommendations for the protection of these animals in the region.

Key words: Ziemia Lubuska (Lubusz Land), animal protection, animal conservation, endangerment, monitoring, education

DAMIAN MARKULAK***POMNIKI PRZYRODY GMINY GUBIN I BRODY***Streszczenie*

W artykule zaprezentowano pomniki przyrody znajdujące się na terenie gminy Brody i Gubin. Podjęto próbę skatalogowania pomników przyrody, które mogą ucierzeć w wyniku planowanej eksploatacji złóż węgla brunatnego znajdujących się na terenie gmin. Wyznaczono dwie strefy zagrożenia dla pomników przyrody. Strefa I – ograniczona jest przez krawędź planowanego wyrobiska, a strefa II mieści się między krawędzią wyrobiska, a maksymalnym prognozowanym lejem depresji. Wskazano zagrożenia mogące występować w poszczególnych strefach oraz zasugerowano możliwe rozwiązania problemów.

Słowa kluczowe: pomniki przyrody, oddziaływanie na środowisko

WSTĘP

Według Ustawy o ochronie przyrody pomnikami przyrody są: „pojedyncze twory przyrody żywej i nieożywionej lub ich skupiska o szczególnej wartości przyrodniczej, naukowej, kulturowej, historycznej lub krajobrazowej oraz odznaczające się indywidualnymi cechami, wyróżniającymi je wśród innych tworów, okazałych rozmiarów drzewa, krzewy gatunków rodzimych lub obcych, źródła, wodospady, wywierzyska, skałki, jary, głązy narzutowe oraz jaskinie” [Dz. U. Nr 92, poz. 880].

Ochrona pomnikowa jest jednym z najpopularniejszych i najstarszych sposobów ochrony przyrody. Na terenie województwa lubuskiego zarejestrowanych jest obecnie 1.249 takich obiektów [RDOŚ 2014]. W samym mieście Gubin znajduje się 18 pomników przyrody. Natomiast na terenie gminy ziemskiej Gubin taką ochroną objęto 22 obiekty, a w gminie Brody 15.

Ustawa o ochronie przyrody ściśle definiuje kwestie związane z pomnikami przyrody. Mianowicie na terenie niezabudowanym pomniki przyrody podlegają ochronie, aż do momentu ich samoistnego rozpadu, w przypadku gdy nie stanowią zagrożenia dla zdrowia i minia ludzi. W celu zapewnienia należytej

* Katedra Ochrony Przyrody, Wydział Nauk Biologicznych; Uniwersytet Zielonogórski

ochrony w stosunku do pomnika przyrody mogą zostać ustanowione zakazy, m.in. zmiany stosunków wodnych itp. [Dz. U. Nr 92, poz. 880].

Gmina Brody i Gubin leżą w zachodniej części województwa lubuskiego. Na terenie gmin znajdują się złoża węgla brunatnego. Planowane jest podjęcie eksploatacji owych pokładów. Na duże znaczenie tych złóż wskazuje ranking złóż węgla brunatnego [Kasiński i in. 2006]. Podjęto również próby analizy możliwości zagospodarowania złoża z uwzględnieniem wymogów ochrony środowiska. Zwraca się uwagę na ograniczenia wynikające z bliskiej obecności obszarów Natura 2000 i rezerwatów przyrody [Naworyta i Chodak 2010]. Natomiast pomniki przyrody potraktowano w sposób marginalny.

POMNIKI PRZYRODY GMINY BRODY

Na terenie gminy Brody znajduje się 5 obszarowych pomników przyrody (tab. 1). Na uwagę zasługuje szczególnie skupienie drzew „Bór Suchy”. Jest to porastający bardzo słabe siedlisko ponad 200-letni las sosnowy. Kolejnym ciekawym pomnikiem przyrody to „Kandelabry”. Sosnowy drzewostan w wieku 78 lat, z drzewami o charakterystycznych kształtach dolnej części pnia.

Tab. 1. Powierzchniowe pomniki przyrody w gminie Brody [RDOŚ 2014]

Table 1. Chosen natural monuments in the municipality of Brody [RDOŚ 2014]

Lp.	Opis pomnika przyrody	Powierzchnia (ha)	Lokalizacja
1	Skupienie drzew o unikatowym pokroju i wieku o nazwie "Bór Suchy"	1,73	Jezioro Wysokie
2	Powierzchniowy pomnik przyrody	0,1	Jezioro Wysokie
	Długosz królewski (<i>Osmunda regalis</i>)		
3	Powierzchniowy pomnik przyrody – Długosz królewski (<i>Osmunda regalis</i>)	0,1	Jezioro Wysokie
4	Powierzchniowy pomnik przyrody, rosiczka okrągłolistna (<i>Drosera anglica</i>), rosiczka pośrednia (<i>Drosera intermedia</i>)	0,3	Jezioro Wysokie
5	Powierzchniowy pomnik przyrody Drzewostan sosnowy "Kandelabry"	3,16	Jezioro Wysokie

Ponadto na terenie gminy ustanowiono także 10 pomników przyrody chroniących pojedyncze drzewa lub ich skupiska (tab. 2). Przeważającą część drzew pomnikowych stanowi dąb szypułkowy (*Quercus robur*). Spotkać tu można

platan klonolistny (*Platanus acerifolia*), buk zwyczajny (*Fagus sylvatica*), oraz sosnę pospolitą (*Pinus sylvestris*).

Tab. 2. Drzewa i skupiska drzew objęte ochroną pomnikową w gminie Brody [RDOŚ 2014]

Table 2. Trees and groups of trees protected by the law in the municipality of Brody [RDOŚ 2014]

Lp.	Opis pomnika przyrody	Pierśnica (cm)	Wyso-kość (m)	Miejscowość	Strefa	Nr
1	Skupienie drzew (<i>Quercus robur</i>) - 5 sztuk	320-430	20-25	Wierzchno	I	9
2	Platan klonolistny (<i>Platanus acerifolia</i>)	360	25	Wierzchno	I	10
3	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	520	ok. 28	Jasienica	I	11
4	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	480	ok. 28	Jasienica	I	12
5	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	390	ok. 26	Jasienica	I	13
6	Platan klonolistny (<i>Platanus acerifolia</i>)	470	ok. 25	Jasienica	I	14
7	Platan klonolistny (<i>Platanus acerifolia</i>)	550	20	Brody	II	15
8	Sosna pospolita (<i>Pinus sylvestris</i>) "Ośmiornica"	488	ok. 26	Jeziory Wsokie	-	-
9	Buk zwyczajny (<i>Fagus sylvatica</i>)	430	25	Obręb Jasienica	-	-
10	Skupisko 4 dębów szypułkowych (<i>Quercus robur</i>)	310, 370, 418, 448	24	Jeziory Wsokie	-	-

Właśnie sosna o nazwie „Ośmiornica” jest jednym z najbardziej rozpoznawalnych pomników przyrody gminy (fot. 1). Jej pień rozgałęzia się na osiem konarów. Drzewo to ma około 150 lat i rośnie w gminie Brody, po lewej stronie drogi łączącej miejscowości Brody i Proszów [RDOŚ 2013].



Fot. 1. Pomnik przyrody w gminie Brody o nazwie „Ośmiornica” (fot. Markulak)
Photo 1. Natural monument in the municipality of Brody called "Octopus"
(photo. Markulak)

POMNIKI PRZYRODY GMINY GUBIN

Na terenie gminy Gubin (z wyłączeniem miasta Gubin) znajdują się 22 pomniki przyrody (tab. 3). Najczęściej chronionymi gatunkami są: dąb szypułkowy (*Q. robur*) i dąb bezszypułkowy (*Quercus petraea*).

Największym chronionym skupiskiem drzew jest aleja składająca się z pięćdziesięciu trzech dębów szypułkowych (*Q. robur*). Rosną one nieregularnie na odcinku 400 m przy drodze Węgliny – Mielno, po obu stronach drogi, w pobliżu rezerwatu „Uroczyska Węglińskie”. Na uwagę zasługuje również wiąz szypułkowy rosnący we wsi Komorów. Drzewo to uznawane jest za jednego z najgrubszych przedstawicieli swojego gatunku w Polsce. Obecnie znajduje się w słabej kondycji, posiada liczne ubytki drewna [Reda i in. 2011].

Tab.3. Pomniki przyrody na terenie gminy Gubin [RDOŚ 2013]

Table 3. Chosen natural monuments in the municipality of Brody [RDOŚ 2014]

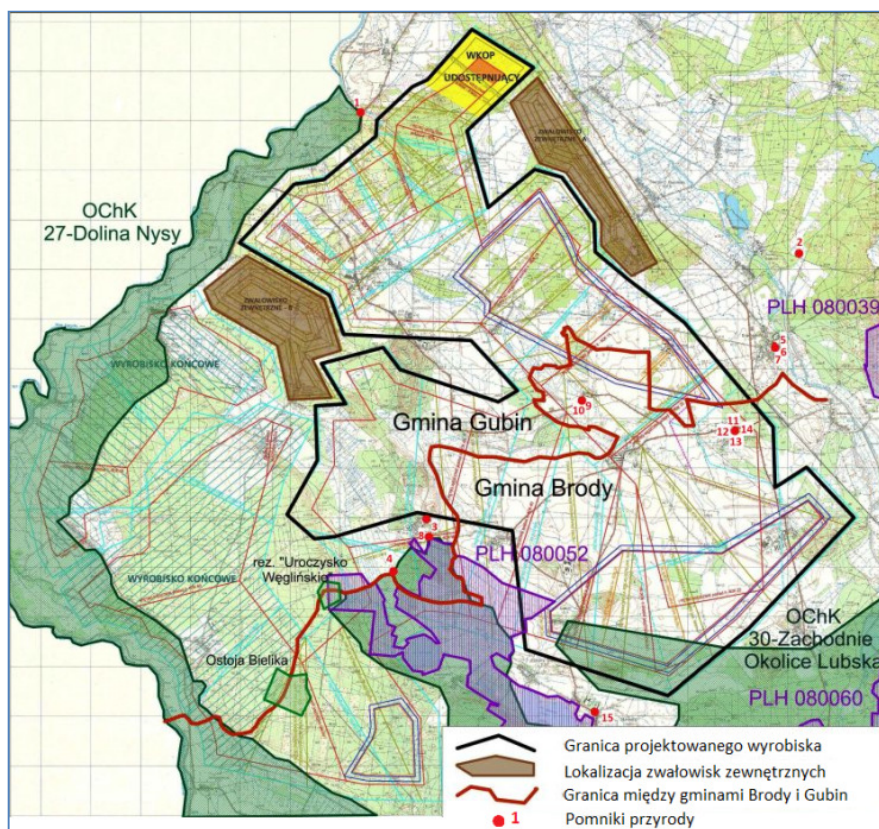
Lp.	Opis pomnika przyrody	Pierśnica (cm)	Wysokość (m)	Miejsowość	Strefa	Nr
1	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	460	ok. 24	Polanowice	II	1
2	Dąb bezszypułkowy (<i>Quercus petraea</i>)	416	25	Wałowice	-	-
3	Dąb bezszypułkowy (<i>Quercus petraea</i>)	310	28	Wałowice	-	-
4	Dąb bezszypułkowy (<i>Quercus petraea</i>)	315	28	Wałowice	-	-
5	Skupienie drzew 2 sztuki – Dąb szypułkowy (<i>Quercus petraea</i>)	366, 450	18, 25	Wałowice	-	-
6	Skupienie drzew – 4 Dęby szypułkowe (<i>Quercus robur</i>)	390, 341, 400, 610	ok. 30	Gębice	II	2
7	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	745	ok. 28	Węgliny	II	3
8	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	470	23	-	-	-
9	Miłorząb dwuklapowy (<i>Ginkgo biloba</i>)	275	22	-	-	-
10	Cypryśnik błotny (<i>Taxodium distichum</i>)	290	23	-	-	-
11	Miłorząb dwuklapowy (<i>Ginkgo biloba</i>)	300	28	-	-	-
12	Aleja – 53 Dęby szypułkowe (<i>Quercus robur</i>)	80 - 300	20-28	Węgliny	II	4
13	Platanów klonolistnych (<i>Platanus acerifolia</i>); Aleja drzew – 9	210 - 360	12-20	Gubin	-	-
14	Platan klonolistny (<i>Platanus acerifolia</i>)	355	12	Gubin	-	-
15	Platanów klonolistnych (<i>Platanus acerifolia</i>); Aleja drzew – 6	170-310	12-20	Gubin	-	-

16	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	690	25	Starosiedle	II	5
17	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	454	27	Starosiedle	II	6
18	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	432	27	Starosiedle	II	7
19	Wiąz szypułkowy (<i>Ulmus laevis</i>)	940	17	Komorów	-	-
20	Wiąz szypułkowy (<i>Ulmus laevis</i>)	482	ok. 25	Kaniów	-	-
21	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	420	ok. 27	Pole	-	-
22	Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	470	ok. 20	Węgliny	II	8

ZAGROŻENIA DLA POMNIKÓW PRZYRODY

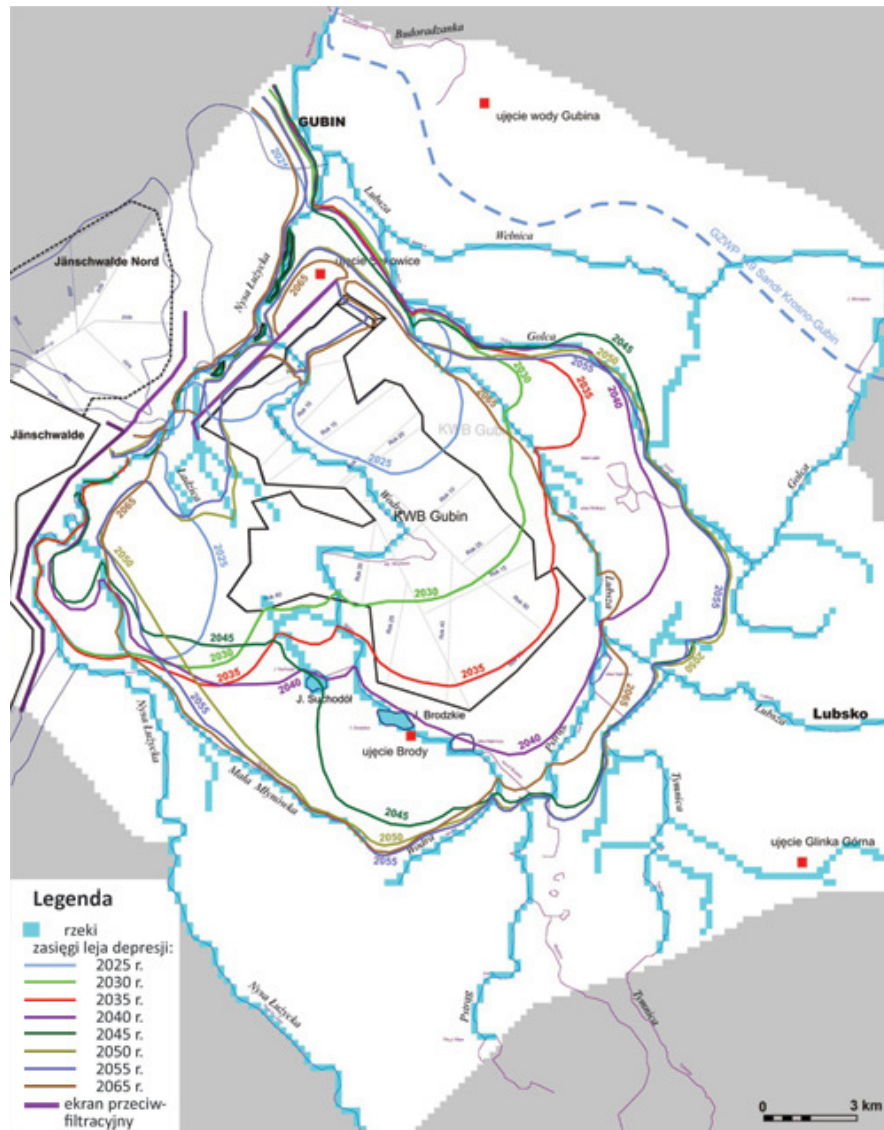
Rozwijająca się idea eksploatacji węgla z terenów gminy Gubin i Brody niesie ze sobą liczne zagrożenia dla pomników przyrody. Część z nich jest bezpośrednio zagrożona usunięciem w wyniku eksploatacji wyrobiska. Pozostałe mogą w znaczny sposób ucierpieć w wyniku zmian w środowisku spowodowanych przez działanie kopalni odkrywkowej. Na ryc. 1 przedstawiono lokalizację pomników przyrody w sąsiedztwie projektowanej kopalni węgla brunatnego. Wyróżniono dwie strefy zagrożenia. Stefa I obejmuje swoim zasięgiem obszar projektowanego wyrobiska. Z tego terenu będzie eksploatowany węgiel, w związku z czym należy się spodziewać na tym obszarze największych przekształceń i degradacji środowiska. Przy niepodjęciu działań ochronnych drzewa znajdujące się w tej strefie skazane są na zagładę. Stefa II obejmuje obszar bezpośrednio przylegający do wyrobiska, a ograniczony prognozowanym maksymalnym zasięgiem leja depresji (ryc. 2.). Na tym obszarze spodziewać się można zmiany istniejących stosunków wodnych, oraz zanieczyszczenia środowiska spowodowanego wzmożonym ruchem pojazdów.

W wyznaczonych strefach znajdują się pomniki przyrody. W strefie I, na terenie gminy Brody istnieje 6 pomników przyrody oznaczonych numerami od 9 do 14 (tab. 2.) W strefie II na terenie gminy Gubin znajduje się 8 pomników przyrody oznaczonych numerami od 1 do 8 (tab. 3.). Dodatkowo jeden pomnik przyrody na terenie gminy Brody oznaczony numerem 15 (tab.2.). Pozostałe pomniki przyrody leżące na terenie gmin znajdują się poza przewidywanym zasięgiem oddziaływania kopalni.



Ryc. 1. Granice zasięgu projektowanej eksploatacji złoża Gubin na tle obszarów chronionych z zaznaczonymi pomnikami przyrody [Naworyta 2011, zmodyfikowana]

Fig. 1. The range boundaries of the proposed exploitation area Gubin on the background of protected areas with marked monuments of nature [Naworyta 2011, modified].



Ryc. 2. Prognozowany rozwój leja depresji w czwartorzędowym poziomie wodonośnym (depresja $s=0,5$ m) [Fiszer 2013]

Fig. 2. The projected development of the depression cone in the quaternary aquifer (depression $s = 0.5$ m) [Fisher 2013]

DYSKUSJA

Pomniki przyrody uznawane są z „miękką” formę ochrony przyrody. Wynika to z faktu, iż ustanowienie ochrony pomnikowej jak i jej zniesienie odbywa się w drodze uchwały rady gminy. Ustawa o ochronie przyrody przewiduje dwie możliwe przyczyny zniesienia ochrony pomnikowej. Pierwszą z nich jest utrata walorów przyrodniczych, ze względu na które ustanowiono ochronę. Druga to realizacja przedsięwzięć celu publicznego bądź działań związanych z bezpieczeństwem powszechnym [Dz. U. Nr 92, poz. 880]. Stąd pomniki przyrody są często pomijane w opracowaniach dotyczących wpływu inwestycji na formy ochrony przyrody, jak ma to miejsce w Karcie informacyjnej przedsięwzięcia „Eksploracja odkrywkowa złoża węgla brunatnego Gubin” [Naworyta 2011]. Znane są przypadki gdy sąd uznaje inwestycje za realizację „nadrzędnego celu publicznego” i daje możliwość eksploatacji złóż na terenach chronionych. Jak miało to miejsce k. Lakomy w RFN [Uberman i Nawrota 2012]. Nie mniej jednak straty dokonane w środowisku przyrodniczym powinny być zawsze rekompensowane. Wiąże się to często ze zwiększeniem kosztów inwestycyjnych, dlatego tak ważne jest uwzględnienie wymogów ochrony przyrody na etapie przygotowania i planowania inwestycji.

Znany jest szereg metod pozwalających na zabezpieczenie drzew podczas inwestycji. Stosowane są one szczególnie podczas remontów dróg i budynków w miastach, stąd też ich krótkoterminowy charakter [Ziemiańska, Suchocka 2012], dlatego wydają się nieprzydatne do ochrony drzew w czasie wieloletniej eksploatacji kopalni. Co więcej zagrożenia dla drzew występujące podczas eksploatacji węgla metodą odkrywkową są diametralnie inne od tych występujących w miastach. Największym zagrożeniem dla pomników przyrody jest znalezienie się w granicach projektowanego wyrobiska, gdzie mogą zostać usunięte wraz z gruntem. Rozwiązaniem tego problemu może być przesadzenie drzew. Jest to jednak rozwiązanie ekstremalnie trudne ze względu na fakt, iż drzewa pomnikowe z zasady są okazałych rozmiarów, a co za tym idzie posiadają dużą bryłę korzeniową, która jest trudna do przetransportowania. Istnieje również ryzyko niepowodzenia procesu przesadzania, co generuje dodatkowe koszty. Na terenie projektowanego wyrobiska kopalni Gubin znajduje się 6 pomników przyrody, w stosunku, do których może zaistnieć potrzeba podjęcia wyżej omawianych działań.

Kolejne zagrożenie dotyczy zmiany stosunków wodnych. Dotyczy ono dziewięciu pomników przyrody znajdujących się w strefie II. Zmiana poziomu zwierciadła wód podziemnych będzie miała największy wpływ na gatunki wilgociolubne. Rozwiązaniem tego problemu może być zaopatrywanie drzewa w wodę np. przez regularne okresowe podlewanie finansowane przez inwestora. Należy zaznaczyć, że po zakończeniu eksploatacji węgla i dokonaniu rekulty-

wacji terenu stosunki wodne powinny powrócić do poprzedniego stanu, tak że dalsze podlewanie nie będzie uzasadnione.

WNIOSKI

Niezbędne jest podjęcie działań chroniących pomniki przyrody na terenie projektowanej kopalni Gubin i w obrębie jej prognozowanego leja depresji.

W rejonie projektowanej kopalni węgla Gubin występują pomniki przyrody. W wyznaczonej strefie I znajduje się 6 pomników przyrody. Jest to 5 pojedynczych drzewa i jedno skupisko drzew. Na terenie strefy II mieści się 9 pomników przyrody, z czego 2 skupiska drzew a pozostałe to pojedyncze drzewa.

Istnieje potrzeba prowadzenia monitoringu kondycji tych drzew. W razie pogarszania się ich stanu niezbędne jest dokonania dogłębnej analizy problemu i dobrania odpowiednich rozwiązań inżynierskich dostosowanych do potrzeb poszczególnych pomników przyrody.

LITERATURA

1. FISZER J., 2012: Prognoza zmian hydrogeologicznych spowodowanych odwodnieniem projektowanej kopalni węgla brunatnego "Gubin". Węgiel Brunatny 3/80.
2. NAWORYTA W., CHODAK., 2010: Analiza możliwości zagospodarowania złóż węgla brunatnego w rejonie Gubina ze szczególnym uwzględnieniem uwarunkowań lokalnych (przyrodniczych, społecznych, kulturowych). Zesz. Nauk. UZ 137 Inż. Środ. 17, Ofic. Wyd. UZ, Zielona Góra, 45-54.
3. NAWORYTA W., 2011: Karta informacyjna przedsięwzięcia „Eksploracja odkrywkowa złóż węgla brunatnego Gubin”. Kraków.
4. RDOŚ w Gorzowie Wielkopolskim, 2011. Rejestr pomników przyrody na terenie Województwa Lubuskiego. Gorzów Wielkopolski.
5. REDA P., 2011: Inwentaryzacja pomników przyrody na terenie projektowanej kopalni węgla brunatnego „Gubin” i okolicy, dane niepublikowane.
6. UBERMAN R., NAWORYTA W., 2012: Eksploracja złóż węgla brunatnego w warunkach ograniczeń przestrzennych i ekologicznych, studium przypadku złóż Gubin. Polityka Energetyczna 15/4.
7. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody. Dz. U. z 2013 r., poz. 627, z późn. zm.
8. ZIEMIAŃSKA M., SUCHOCKA M., 2012: Planowanie i zasady ochrony drzew w procesie inwestycyjnym. Zrównoważony Rozwój - Zastosowania 4.

S u m m a r y

The article presents the natural monuments located in the municipalities of Brody and Gubin. An attempt was made to catalog the monuments of nature, which may suffer as a result of the planned exploitation of lignite deposits located within these municipalities. They were designated two zones of negative impact to monuments. Zone I was limited by the edge of the planned excavation, while zone II is located between the edge of the excavation, and the maximum projected depression cone. There were pointed out the hazards for the zones and suggested possible solutions to problems.

Key words: natural monuments, environmental impact

AGNIESZKA TOKARSKA-OSYCZKA*, GRZEGORZ ISZKUŁO**

**WALORYZACJA PRZYRODNICZO-KRAJOBRAZOWA,
KULTUROWA ORAZ OCENA ATRAKCYJNOŚCI
TURYSTYCZNEJ GMIN NA TERENIE
POJEZIERZA MIĘDZYCHODZKO-SIERAKOWSKIEGO**

Streszczenie

W większości analizowanych wskaźników funkcji turystycznych, siedem gmin tworzących Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie wypadło lepiej w porównaniu do średniej z całej Polski. Najatrakcyjniejszą turystycznie okazała się gmina Międzychód. W połączeniu z walorami kulturowymi i przyrodniczymi świadczy to o dużym potencjale i może to w przyszłości spowodować wzrost zainteresowania turystycznego tym rejonem.

Słowa kluczowe: Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie, walory przyrodnicze i kulturowe, waloryzacja, turystyka, atrakcyjność turystyczna

WPROWADZENIE

Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie zlokalizowane jest na skraju województw: wielkopolskiego oraz lubuskiego. W jego skład wchodzi siedem gmin, zróżnicowanych pod względem ilości wód, lasów, rzeźby terenu czy liczby obiektów historycznych.

Pojezierze posiada wysokie walory zarówno przyrodnicze, jak i krajobrazowe [Wojterska 2003]. Jednak w mnogości opracowań o tym obszarze nie ma publikacji, w której znaleźć można waloryzację tego obszaru. Waloryzacja przyrodniczo-krajobrazowa i kulturowa oraz ocena atrakcyjności turystycznej gmin stała się zatem przedmiotem niniejszego opracowania.

Waloryzacja to metoda, która ma na celu określenie wartości badanych obszarów. Waloryzacja często oznacza klasyfikowanie przestrzeni do różnych

* absolwentka Wydziału Nauk Biologicznych, Uniwersytet Zielonogórski

** Wydział Nauk Biologicznych, Katedra Botaniki i Ekologii, Uniwersytet Zielonogórski;
Instytut Dendrologii PAN w Kórniku

celów i nadawanie jej konkretnych funkcji [Jania 2007]. Kompleksowa waloryzacja, jak podaje Słowińska [2006], powinna obejmować ocenę walorów przyrodniczych, krajobrazowych oraz kulturowych. Autorka dodaje, że wykonanie takiej waloryzacji pozwala nam na wskazanie obszarów przeznaczonych do różnych form zagospodarowania, w tym również wskazuje nam idealne obszary do rozwoju turystyki i rekreacji.

OPIS OBSZARU BADAŃ

Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie położone jest w północnej części województwa wielkopolskiego, na pograniczu Kotliny Gorzowskiej z Pojezierzem Poznańskim [Kondracki 2011]. Łęcki [2010] uważa, że właśnie położenie Pojezierza wpływa na aspekt urozmaicenia krajobrazu tego regionu, gdyż leży on na styku trzech różnych makroregionów fizyczno-geograficznych: Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej, Pojezierza Branderbursko-Lubuskiego i Pojezierza Wielkopolskiego.

W skład Pojezierza wchodzi siedem gmin: Chrzypsko Wielkie, Kwilcz, Międzychód, Sieraków, Pniewy, Przytoczna oraz Pszczew. Gminy Przytoczna i Pszczew należą do powiatu międzyrzeckiego (województwo lubuskie), gminy: Międzychód, Sieraków, Kwilcz oraz Chrzypsko Wielkie należą do powiatu międzychodzkiego, natomiast gmina Pniewy do powiatu szamotulskiego (województwo wielkopolskie) (ryc. 1).

METODYKA BADAŃ

Badania polegały na zgromadzeniu danych o gminach tworzących Pojezierze w celu wyliczenia wskaźników waloryzacji wartości kulturowych i przyrodniczych oraz – ustalenia ich atrakcyjność turystycznej.

W pierwszym etapie badań zapoznano się z walorami turystycznymi gmin. Do oceny wykorzystano zmodyfikowaną metodę bonitacji punktowej opisaną przez Dubel i Szczygielskiego [1982]. Walory te zostały podzielone na dwie grupy: przyrodnicze i kulturowe. Miało to pomóc we wskazaniu na badanych obszarach elementów środowiska przyrodniczego, które zawierają w sobie walory turystyczne. W celu klasyfikacji walorów przyrodniczych wprowadzono odpowiednią skalę bonitacyjną. Pojezierze podzielono na mniejsze jednostki, tj. gminy, które poddano ocenie.

Klasyfikując walory przyrodnicze gmin wzięto pod uwagę: procentowy udział w powierzchni: wód – jezior, lasów oraz rzeźbę terenu – wyliczając deniwelację w metrach. Liczba zakładów przemysłowych lub innych obiektów uciążliwych dla środowiska (w oparciu o procent zajmowanych przez nie po-

wierzchni) wpływała negatywnie na uzyskaną przez konkretną gminę sumę punktów, powodując jej zmniejszenie. W przypadku, gdy przedział procentowy wynosił poniżej 0,5 wartość zaokrąglano w dół. Dane te uzyskano z dokładnego przeanalizowania map trzech powiatów: międzychodzkiego, międzyrzeckiego oraz szamotulskiego.

Tab. 1. Punktacja dla walorów przyrodniczych, na podstawie której oceniano gminy na terenie Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego oraz klasy natężenia walorów wraz z ich podziałem punktowym [Słowińska 2006]

Tab. 1. Scoring for natural values, based on the assessed municipalities in the Międzychodzko-Sierakowskie Lakeland and classes intensity values with their division point [Słowińska 2006]

Lp.	Czynnik	% powierzchni	Punkty
1.	Wody – jeziora	0 – 1	0
		2 – 24	2
		25 – 50	4
		51 – 75	6
		> 75	8
2.	Lasy	0 – 5	0
		6 – 25	1
		26 – 50	2
		51 – 75	3
		> 75	4
3.	Zakłady przemysłowe lub inne obiekty uciążliwe dla środowiska	0	0
		2 – 10	- 2
		11 – 15	- 4
		16 – 20	- 6
		> 20	- 8
4.	Rzeźba terenu	Deniwelacja w (m)	
		0 – 20	0
		21 – 50	2
		51 – 75	4
		76 – 120	6
> 120	8		
Klasy natężenia walorów w badanej strefie:			
I	obszar o bardzo dużych walorach przyrodniczych 15 – 17 punktów		
II	obszar o dużych walorach przyrodniczych 10 – 14 punktów		
III	obszar o średnich walorach przyrodniczych 4 – 9 punktów		
IV	obszar o niewielkich walorach przyrodniczych 0 – 4 punktów		

Minimalna liczba punktów, która mogła zostać uzyskana przez gminy to: 0 (brak wód, lasów, deniwelacja poniżej 20 metrów), maksymalna liczba punktów: 17. Za każdy walor przyrodniczy zostały przydzielone punkty wg ściśle określonej punktacji, która została przedstawiona w tabeli 1. Po zsumowaniu punktów uzyskanych przez konkretną gminę klasyfikowano ją do odpowiedniej klasy natężenia walorów przyrodniczych.

Tab. 2. Punktacja walorów kulturowych, na podstawie której oceniano gminy na terenie Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego oraz klasy natężenia walorów wraz z ich podziałem punktowym [Słowińska 2006]

Tab. 2. Scoring for cultural values, based on the assessed municipalities in the Międzychodzko-Sierakowskie Lakeland and classes intensity values with their division point [Słowińska 2006]

Cecha	Wartość	Punkty
Obiekty zabytkowe wpisane do rejestru zabytków	poniżej 2	0
	2 – 5	1
	6 – 10	2
	powyżej 10	3
Obiekty zabytkowe	młodsze niż 100 lat	1
	w wieku 100 – 200 lat	2
	powyżej 200 lat	3
Miejscowości z obiektami zabytkowymi o znaczeniu ponadlokalnym	0	0
	1 – 3	1
	4 – 6	2
	powyżej 6	3
Ośrodki o dużym nasyceniu obiektami zabytkowymi	0	0
	1	1
	2	2
	3 i więcej	3
Wyjątkowość obiektów kulturowych	o cechach typowych i powtarzalnych	1
	oryginalne w skali regionalnej	2
	oryginalne, niepowtarzalne w skali ogólnopolskiej	3
Liczba muzeów/izb regionalnych	0	0
	1 – 3	1
	4 – 6	2
	powyżej 6	3
Klasy atrakcyjności walorów w badanej strefie:		
I	obszar o bardzo dużych walorach kulturowych 12 – 16 punktów	
II	obszar o dużych walorach kulturowych 7 – 11 punktów	
III	obszar o średnich walorach kulturowych 3 – 6 punktów	
IV	obszar o niewielkich walorach kulturowych mniej niż 3 punkty	

Oceniając walory kulturowe gmin na obszarze Pojezierza wzięto pod uwagę: liczbę obiektów zabytkowych wpisanych do rejestru, liczbę miejscowości z zabytkami o znaczeniu ponadlokalnym oraz liczbę ośrodków o dużym nasyceniu zabytkami, muzeami oraz izbami regionalnymi. Ponadto zwrócono uwagę na wiek obiektów zabytkowych oraz ich wyjątkowość (stwierdzano ją analizując wszystkie obiekty kulturowe oddzielnie, a później sumowano ich liczbę w poszczególnych typach; przyznawano liczbę punktów odpowiadających grupie najliczniejszej). Dane te uzyskano z dokumentów Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków (województwa wielkopolskiego i lubuskiego), własnej wiedzy na temat danych gmin i obserwacji terenowych. Punktacja według której oceniano gminy została przedstawiona w tabeli 2. Minimalnie gmina mogła uzyskać 3 punkty, maksymalnie 16 punktów. Po zsumowaniu punktów uzyskanych przez konkretną gminę klasyfikowano ją do odpowiedniej klasy natężenia walorów kulturowych i odpowiednim kolorem oznaczano na mapie.

Na koniec zostały sporządzone ostateczne wyniki kompleksowej waloryzacji uwzględniające zarówno wyniki klasyfikacji walorów przyrodniczych, jak i walorów kulturowych. Ostateczny wynik został przedstawiony w postaci ryciny.

Ocena funkcji turystycznej

W kolejnym etapie pracy, gminy tworzące Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie poddane zostały ocenie funkcji turystycznej. Ocena ta została wykonana dla sześciu z siedmiu gmin, gdyż nie udało się uzyskać potrzebnych danych o gminie Pniewy. Gminy sklasyfikowano na podstawie wyliczenia pięciu wskaźników: Charvata, Schneidera, udzielonych noclegów, Deferta oraz Baretje'a i Deferta. Wyliczone wartości zostały porównane do wartości tych samych wskaźników uzyskanych dla obszaru całego kraju. Dodatkowo, wartości wskaźników konkretnych obszarów badań odniesione zostały do wyników tych samych analiz dla województw, w których znajdują się dane gminy.

Pierwszy wskaźnik – wskaźnik Charvata, zwany inaczej wskaźnikiem nasycenia bazą turystyczną wyrażany jest przez liczbę turystycznych miejsc noclegowych przypadających na 1 km² powierzchni całkowitej. Wskaźnik Schneidera, czasem zwany wskaźnikiem intensywności ruchu turystycznego oblicza się na podstawie liczby turystów korzystających z noclegów przypadających na 1000 mieszkańców stałych. Trzecim wskaźnikiem jest wskaźnik udzielonych noclegów przypadających na 1 km². Wskaźnik Deferta, zwany też wskaźnikiem funkcji turystycznej, wyrażany jest przez liczbę turystów korzystających z noclegów, przypadających na 1 km² powierzchni całkowitej. Ostatnim uwzględnionym wskaźnikiem jest wskaźnik Baretje'a i Deferta, inaczej wskaźnik funkcji turystycznej miejscowości, wyrażany poprzez liczbę turystycznych miejsc noc-

legowych przypadających na 100 mieszkańców stałych [Chudy-Hyski 2006]. Dane wykorzystane w wynikach uzyskano z ogólnych informacji zawartych na oficjalnych witrynach internetowych poszczególnych gmin (informacje o wielkości gmin i liczbie ich mieszkańców) oraz z Planów Rozwoju Lokalnego, czy Biuletynów Informacji Publicznej poszczególnych gmin.

WYNIKI

Ocena walorów przyrodniczych

Oceniając walory turystyczne gmin pod kątem walorów przyrodniczych (tab. 3) żadna z gmin na terenie Pojezierza nie odpowiada I klasie atrakcyjności tych walorów. Największe natężenie walorów przyrodniczych stwierdzono w gminie Międzychód, która uzyskała II klasę, co oznacza obszar o dużych walorach przyrodniczych. Klasę III oznaczającą obszar o średnich walorach przyrodniczych uzyskały gminy: Chrzypsko Wielkie, Kwilcz, Przytoczna, Pszczew oraz Sieraków. Najmniejsze natężenie walorów przyrodniczych stwierdzono natomiast w gminie Pniewy, uzyskała ona IV klasę oznaczającą obszar o niewielkich walorach przyrodniczych (tab. 3).

Tab. 3. Ocena walorów przyrodniczych poszczególnych gmin: I – wody/jeziora [% powierzchni], II – lasy [% powierzchni], III – obszary przemysłowe i inne obiekty uciążliwe [% powierzchni], IV – deniwelacja terenu [m], V – suma punktów, VI – klasa natężenia walorów przyrodniczych. W nawiasie podano ilość punktów, które w danej kategorii uzyskały poszczególne gminy. Szczegółowe kryteria punktacji – patrz tabela 1

Tab. 3. Assessment of natural values of individual communities: I - water / lake [%] II - forests [%] III - industrial areas and other burdensome facilities [%] IV - drop [m], V - the sum of points VI - class intensity of natural assets. In brackets the number of points, which in a given category received individual community. Detailed scoring criteria - see table 1

Gmina	I	II	III	IV	V	VI
Chrzypsko Wielkie	11,9 (2)	20,0 (1)	poniżej 2 (0)	42,2 (2)	5	III
Kwilcz	2,01 (2)	29,0 (2)	poniżej 2 (0)	32,5 (2)	6	III
Międzychód	4,24 (2)	51,1 (3)	poniżej 2 (0)	79,1 (6)	11	II
Pniewy	1,73 (2)	16,0 (1)	poniżej 2 (0)	36,3 (2)	3	IV
Przytoczna	2,50 (2)	39,0 (2)	poniżej 2 (0)	31,0 (2)	6	III
Pszczew	4,05 (2)	49,0 (2)	poniżej 2 (0)	31,0 (2)	6	III
Sieraków	8,00 (2)	57,0 (3)	poniżej 2 (0)	34,6 (2)	7	III

Ocena walorów kulturowych

Tab. 4. Ocena walorów kulturowych poszczególnych gmin: I – liczba obiektów wpisanych do rejestru zabytków [sztuki], II – liczba obiektów zabytkowych młodszych niż 100 lat [sztuki], III – liczba obiektów zabytkowych w wieku 100 – 200 lat [sztuki], IV – liczba obiektów zabytkowych starszych niż 200 lat [sztuki], V – liczba miejscowości z zabytkami o znaczeniu ponadlokalnym [sztuki], VI – liczba ośrodków o dużym nasyceniu zabytkami [sztuki], VII – obiekty typowe [sztuki], VIII – obiekty oryginalne w regionie [sztuki], IX – muzea/izby regionalne [sztuki], X – punkty, XI – klasa. Szczegółowe kryteria punktacji – patrz tabela 2

Tab. 4. Assessment of the cultural values of individual communities: I - the number of objects registered in the register of monuments [pieces], II - number of historic buildings younger than 100 years old [pieces], III - number of historic buildings at the age of 100 - 200 years [pieces], IV - the number of objects historic older than 200 years [pieces], V - the number of villages with monuments of local importance [pieces], VI - the number of centers with a high density of monuments [pieces], VII - typical objects [pieces], VIII - the original objects in the region [pieces] IX - museums / regional chambers [pieces], X - points, XI - class. Detailed scoring criteria - see table 2

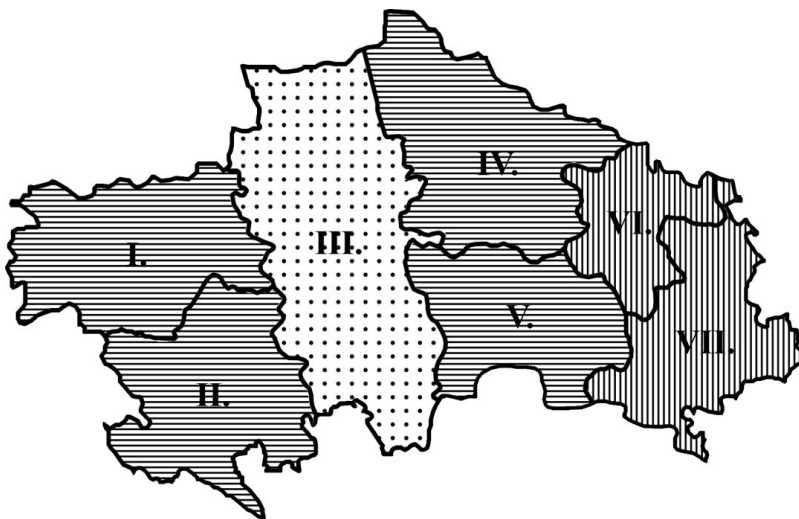
Wartość kulturowa	Gmina						
	Chrzypsko Wielkie	Kwilcz	Międzychód	Pniewy	Przytoczna	Pszczew	Sieraków
I	14	31	50	28	12	12	22
II	0	3	4	2	0	0	0
III	13	24	33	17	10	5	18
IV	1	4	13	9	2	7	4
V	0	0	0	0	0	0	0
VI	0	2	1	1	0	1	1
VII	12	27	48	22	9	12	15
VIII	2	4	2	6	3	0	7
IX	0	0	1	1	0	1	1
X	6	8	8	8	7	8	8
XI	III	II	II	II	II	II	II

Atrakcyjność turystyczna uwzględniająca walory kulturowe pokazała, iż na obszarze Pojezierza (tab. 4) żadna gmina nie należała do I klasy atrakcyjności.

Duże natężenie walorów kulturowych stwierdzono w gminach: Kwilcz, Pniewy, Przytoczna, Pszczew, Międzychód oraz Sieraków, które uzyskały II klasę, oznaczającą obszar o dużych walorach kulturowych. Najmniejsze natężenie walorów kulturowych stwierdzono natomiast w gminie Chrzypsko Wielkie, uzyskała ona III klasę oznaczającą obszar o średnich walorach kulturowych.

Ostateczna ocena walorów przyrodniczo-kulturowych

Uwzględniając wyniki zawierające równocześnie kryteria: walorów przyrodniczych i kulturowych, stwierdzono, że na terenie Pojezierza nie było żadnej gminy należącej do I klasy atrakcyjności turystycznej. Na obszarze (rys. 1) tym występują gminy zaliczane do: II, III oraz IV klasy. Gmina Międzychód jako jedyna odpowiadała II klasie, gminy: Przytoczna, Pszczew, Sieraków, Kwilcz zaklasyfikowano do klasy III. Gminy Chrzypsko Wielkie oraz Pniewy wypadły najslabiej w rankingu i zaliczone zostały do IV klasy.



Rys. 1. Ostateczna atrakcyjność turystyczna gmin. Kropkami zaznaczono drugą klasę atrakcyjności, poziomymi paskami – trzecią klasę, pionowymi paskami – czwartą klasę. Gminy na terenie Pojezierza Międzychódzko-Sierakowskiego: I – Przytoczna, II – Pszczew, III – Międzychód, IV – Sieraków, V – Kwilcz, VI – Chrzypsko Wielkie, VII – Pniewy

Fig. 1. The ultimate tourist attractiveness of communities. Dots mark the second class of attractiveness, horizontal bars - third class, vertical stripes - the fourth class. Communities of the Międzychódzko-Sierakowski Lakeland: I - Przytoczna II - Pszczew, III - Międzychód, IV - Sieraków, V - Kwilcz, VI - Chrzypsko Wielkie, VII - Pniewy

Ocena funkcji turystycznej

W kolejnym etapie pracy, gminy tworzące Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie poddane zostały ocenie funkcji turystycznej. Wyliczenia poszczególnych wskaźników zostały przedstawione w tabeli nr 5.

Ocena funkcji turystycznej gmin została wykonana na podstawie obliczenia pięciu wskaźników dla każdej z sześciu gmin. W przypadku siódmej gminy zlokalizowanej na terenie Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego – gminy Pniewy – nie udało się uzyskać wszystkich danych niezbędnych do wyliczenia wskaźników funkcji turystycznej.

Pierwszy z nich to wskaźnik Charvata. Jego wartość dla gminy Sieraków wynosił 6,14, co stanowi najwyższą jego wartość na Pojezierzu. Dla pozostałych gmin wyniki wyliczeń przedstawiają się następująco: Chrzypsko Wielkie – 5,09, Pszczew – 4,66, Międzychód – 3,25, Kwilcz – 1,67 oraz Przytoczna – 1,53.

Tab. 5. Ocena funkcji turystycznej gmin tworzących Pojezierze: I – wskaźnik Charvata, II – wskaźnik Schneidera, III – wskaźnik udzielonych noclegów, IV – wskaźnik Deferta oraz V – wskaźnik Baretje'a i Deferta

Tab. 5. Rating tourist function communities forming Lakeland: I - pointer Charvat, II - pointer Schneider, III - pointer of nights, IV - Deferta pointer and V - pointer Baretje'a and Deferta.

Gmina	I	II	III	IV	V
Chrzypsko Wielkie	5,09	101,7	334,2	40,3	12,9
Kwilcz	1,67	18,69	36,32	8,11	3,85
Międzychód	3,25	24,50	104,5	14,6	5,44
Pniewy	-	-	-	-	-
Przytoczna	1,53	113,0	53,50	34,9	4,96
Pszczew	4,66	206,9	226,1	48,6	19,8
Sieraków	6,14	247,7	440,9	107,3	14,2

Kolejną z przeprowadzanych analiz było wyliczenie wskaźnika Schneidera. Gmina Sieraków miała najwyższą wartość tego wskaźnika – 247,7. Wyniki dla pozostałych gmin to: Pszczew – 206,9, Przytoczna – 113,0, Chrzypsko Wielkie – 101,7, Międzychód – 24,5, Kwilcz – 18,69.

Trzecim wskaźnikiem jest wskaźnik udzielonych noclegów. Najwyższą jego wartość wśród gmin Pojezierza uzyskała gmina Sieraków – 440,9. Dalej uplasowały się: Chrzypsko Wielkie – 334,2, Pszczew – 226,1, Międzychód – 104,5, Przytoczna – 53,5 oraz Kwilcz – 36,32.

Najwyższą wartość kolejnego wskaźnika – Deferta – miała gmina Sieraków – 107,3. Następne wartości uzyskały kolejno gminy: Pszczew – 48,6, Chrzypsko Wielkie – 40,3, Przytoczna – 34,9, Międzychód – 14,6 oraz Kwilcz – 8,11.

Ostatnia z przeprowadzonych analiz polegała na wyliczeniu wartości wskaźnika Baretje'a i Deferta. Najwyższą jego wartość wśród gmin Pojezierza uzyskała gmina Pszczew – 19,8. Dalsze wyniki przedstawiają się następująco: Sieraków – 14,2, Chrzypsko Wielkie – 12,9, Międzychód – 5,44, Przytoczna – 4,96, Kwilcz – 3,85.

DYSKUSJA

Ocena walorów przyrodniczych

O atrakcyjności Pojezierza w największym stopniu zdecydowały: powierzchnie zajmowane przez lasy, wody, pastwiska, łąki oraz urozmaicenie rzeźby terenu. Wielu autorów uważa właśnie te kryteria za najważniejsze [Dubel i Szczypiński 1982; Słowińska 2006]. Inni dodatkowo badają również udział zespołów leśnych, czy obiektów chronionych – takich jak: parki narodowe, rezerваты przyrody, parki krajobrazowe lub pomniki przyrody [Bielak 2010]. Dla większości z nich na niekorzyść badanych obszarów wpływały powierzchnie zajmowane przez uciążliwe zakłady przemysłowe [Dubel i Szczypiński 1982; Słowińska 2006].

Na Pojezierzu Międzychodzko-Sierakowskim nie ma terenów o wybitnych walorach krajobrazowych – tj. obszarów o bardzo urozmaiconej rzeźbie terenów; w znacznej części zalesionych, bądź posiadających bardzo dużo cieków wodnych; obszarów z zerowym odsetkiem terenów przemysłowych. Dla porównania gmina Wojcieszów znajdująca się w województwie dolnośląskim, powiecie złotoryjskim, ma jeden procent terenów, które zaliczono właśnie do tej klasy walorów krajobrazowych [Słowińska 2006]. Natomiast na terenie dawnego województwa katowickiego obszary o wybitnych walorach zajmowały 9 km² [Dubel i Szczypiński 1982]. Tereny o dużych walorach krajobrazowych na Pojezierzu zajmują 24,4%. W gminie Wojcieszów obszary o z tej klasy walorów krajobrazowych zajmowały 14% całej powierzchni gminy [Słowińska 2006]. Na terenie Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego żadna gmina nie została zaliczona do klasy o niskich walorach przyrodniczych. Natomiast największa powierzchnia dawnego województwa katowickiego została jednak zaliczona do klasy przeciętnych walorów przyrodniczych [Dubel i Szczypiński 1982].

Ponadto na terenie Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego zlokalizowane są dwa parki krajobrazowe oraz 11 rezerwatów przyrody. Dla porównania

w powiecie nowosądeckim (w skład którego wchodzi aż 17 gmin) zlokalizowany jest tylko jeden park krajobrazowy oraz 14 rezerwatów [Bielak 2010].

Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie ze względu na swoje położenie nie ma dużych różnic w deniwelacji terenu, w przeciwieństwie do terenu Ziemi Kłodzkiej. Występują tam obszary mieszczące się w dwóch przedziałach: 19-49% oraz 49 – 84% nachylenia. Związane jest to oczywiście z faktem położenia na terenie gór [Jania 2007]. Jednak na Pojezierzu występuje wysoki procentowy udział powierzchni wodnej. Jania [2007] opisuje, iż na terenie Ziemi Kłodzkiej zaobserwowano gęstą sieć różnego rodzaju cieków, jednak nie podaje procentowego udziału wód na badanej powierzchni. Z graficznego przedstawienia lokalizacji cieków można stwierdzić, że procentowy udział powierzchni wodnej na Pojezierzu jest znacznie większy.

Ocena walorów kulturowych

Prawie wszystkie gminy tworzące Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie zostały zaklasyfikowane jako obszary o dużych walorach kulturowych. Natomiast jak podaje Słowińska [2006] gmina Wojcieszów na niemalże 80% powierzchni całkowicie jest pozbawiona jakichkolwiek walorów kulturowych, a jedynie 0,5 km² uznane zostało za teren o wybitnych takich walorach. Na obszarze Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego większość zabytków kulturowych znajduje się w miejscowościach, które są siedzibami władz: Kwilcz, Międzychód, Pniewy, Pszczew oraz Sieraków. Jednak w pozostałych częściach gmin również znajdują się liczne zabytki, najczęściej w postaci zabytkowych dworów, pałaców czy kościołów. Na terenie gminy Wojcieszów największy potencjał kulturowy zlokalizowany był na terenie dawnych części wsi: Wojcieszowa Górnego oraz Wojcieszowa Dolnego [Słowińska 2006].

Na terenie Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego znajdują się trzy muzea. Zlokalizowanych jest tutaj ponadto dużo zabytków w wieku 100-200 lat. Niestety nikt do tej pory nie sporządził spisu wszystkich zespołów regionalnych oraz wydarzeń kulturowych, które odbywają się na badanym terenie. Dla porównania w powiecie nowosądeckim, jak podaje Bielak [2010] licznie występują dawne cerkwie i kościoły. Nowy Sącz uznany został za miejscowość z dominującą liczbą obiektów zabytkowych architektury i budownictwa. W powiecie nowosądeckim ponadto znajduje się sześć muzeów. Autor zwraca również uwagę, że na walory kulturowe składają się liczne zespoły regionalne oraz wydarzenia i imprezy kulturalne, religijne i sportowe [Bielak 2010].

Na tle porównywanych obszarów z badanym Pojezierzem można stwierdzić, iż ma ono większy potencjał kulturowy niż gmina Wojcieszów, a mniejszy niż powiat nowosądecki, gdyż tam jest więcej instytucji kulturowych.

Ostateczna ocena walorów przyrodniczo-kulturowych

Waloryzacja przyrodniczo-kulturowa miała na celu ukazanie obszarów, które łączą piękno natury z bogactwem kulturowym. Na Pojezierzu Międzychodzko-Sierakowskim za gminę posiadającą najwięcej walorów zarówno przyrodniczych, jak i kulturowych uznano gminę Międzychód. Pozostałe gminy jednak również posiadają dużo walorów przyrodniczo-kulturowych, jedynie gminy Pniewy i Chrzypsko Wielkie zostały ocenione jako obszary o niskich walorach. Dla porównania gmina Wojcieszków została uznana głównie za atrakcyjną przyrodniczo, lecz jedynie 3,8% powierzchni było atrakcyjne kulturowo. Jedynymi terenami, które łączyły na swojej powierzchni walory przyrodnicze z kulturowymi były: w Wojcieszowie Dolnym oraz w pobliżu rezerwatu Góra Miłek [Słowińska 2006].

Można więc uznać, że Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie ze względu na swoje położenie oraz mnogość walorów przyrodniczo-kulturowych za obszar posiadający duży potencjał turystyczny i mogący zaspokoić różnorakie potrzeby turystów. Do podobnych wniosków doszedł Bielak [2010] w odniesieniu do powiatu nowosądeckiego. Pojezierze nie odbiega atrakcyjnością również od Ziemi Kłodzkiej oraz dawnego województwa katowickiego, które zostały przeanalizowane tylko pod względem walorów przyrodniczych. Należy wspomnieć, iż głównym atutem Ziemi Kłodzkiej jest jej położenie, które poprzez pasma górskie daje jej możliwość rozwijania różnych dziedzin turystyki (np. kolarstwo wysokogórskie), które nie mają prawa bytu na obszarach nizinnych [Jania 2007].

Ocena funkcji turystycznej

Porównanie gmin Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego z pozostałą częścią kraju oraz województwem lubuskim i wielkopolskim wypada stosunkowo korzystnie (wartości wskaźników podano w tabeli 6). W przypadku pierwszego wskaźnika – Charvata – cztery z sześciu badanych gmin uzyskały wyższą jego wartość niż ta wyliczona dla całej Polski, która wyniosła 1,9. Były to: Chrzypsko Wielkie, Międzychód, Pszczew i Sieraków. Z kolei, porównując to z wartościami wskaźników dla województw (lubuskie – 1,29, wielkopolskie – 1,32), wszystkie gminy osiągnęły wyższe wyniki.

Następnie porównano wartości wskaźnika Schneidera. W tym przypadku, żadna z gmin nie osiągnęła wyższego wyniku niż wartość tego wskaźnika dla kraju (370,87), czy województwa (lubuskie – 497,12, wielkopolskie – 324,8).

Trzecie porównanie dotyczyło wskaźnika udzielonych noclegów. Jego wartość dla kraju wynosiła 146,94, dla województwa lubuskiego – 81,13, a dla województwa wielkopolskiego – 84,40. W odniesieniu do wartości wyliczonej

dla kraju, wyniki wyższe uzyskały gminy: Chrzypsko Wielkie, Pszczew oraz Sieraków. W przypadku odniesienia wartości wskaźnika wyliczonego dla gmin lubuskich do wyników województwa, również Pszczew uzyskał wyższy wynik. Porównanie gmin wielkopolskich dało podobny wynik: wspomniane wcześniej gminy Chrzypsko Wielkie i Sieraków, oraz dodatkowo Międzychód uzyskały wyższy wynik niż wartość wyliczona dla województwa.

Tab. 6. Wartości wskaźników funkcji turystycznej wyliczone dla danych obszarów: I – wskaźnik Charvata, II – wskaźnik Schneidera, III – wskaźnik udzielonych noclegów, IV – wskaźnik Deferta oraz V – wskaźnik Baretje'a i Deferta [Chudy-Hyski 2006]

Tab. 6. The values of the tourist function calculated for the areas: I - pointer Charvat, II - pointer Schneider, III - the rate of granted accommodation, IV - Deferta pointer and V - pointer Baretje'a and Deferta [Chudy-Hyski 2006]

Obszar	I	II	III	IV	V
Polska	1,90	370,87	146,9	45,33	1,56
Województwo lubuskie	1,29	497,12	81,13	35,84	1,79
Województwo wielkopolskie	1,32	324,80	84,40	36,54	1,17

W czwartym z kolei odniesieniu, porównywano wartości wskaźnika Deferta. Wartość wyliczona dla kraju to 45,33, a dla województw lubuskiego i wielkopolskiego, odpowiednio: 35,84 i 36,54. W tym przypadku wartości wyższe od krajowej uzyskały dwie gminy: Pszczew i Sieraków, a od wojewódzkich: Pszczew (dla lubuskiego) oraz Chrzypsko Wielkie i Sieraków (dla wielkopolskiego).

Ostatnie porównanie wskaźników dotyczyło wskaźnika Baretje'a i Deferta. Wyliczone wartości: 1,56 dla obszaru całego kraju, 1,79 dla województwa lubuskiego oraz 1,17 dla województwa wielkopolskiego okazały się niższe od wszystkich wartości wyliczonych dla poszczególnych gmin.

Porównując z województwami: wielkopolskim oraz lubuskim większość gmin tworzących Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie jest bardzo atrakcyjna. Większość wartości wskaźników funkcji turystycznej była wyższa, aniżeli wartości tych wskaźników dla województw. Niestety region ten nie jest jeszcze doceniony w skali kraju, a nawet w skali swoich województw pod względem walorów turystycznych, a mógłby on pełnić w przyszłości większą funkcję turystyczną. Należałoby przede wszystkim szerzej rozpowszechniać o nim informacje oraz go reklamować.

PODSUMOWANIE

Rozpatrując wykonaną waloryzację przyrodniczo-kulturową można stwierdzić, iż badany teren jest atrakcyjny z punktu widzenia turystyki i rekreacji. Obszar ten ma duży potencjał przyrodniczy, ze względu na dużą powierzchnię zalesioną oraz powierzchnię pokrytą przez cieki i zbiorki wodne. Dodatkowo atrakcyjność przyrodniczą zwiększa fakt, że obszary uciążliwe dla środowiska stanowią jedynie mały odsetek powierzchni.

Na terenie Pojezierza zlokalizowanych jest dużo obiektów kultury materialnej, co w połączeniu z odpowiednią promocją może zapewnić wzrost zainteresowania turystycznego.

Wykonując waloryzację przyrodniczo-kulturową uwzględniającą wszystkie obszary tworzące Pojezierze stwierdzono, że pod względem walorów przyrodniczych, najwyższą klasę atrakcyjności na badanym obszarze stanowi gmina Międzychód. Natomiast pod względem walorów kulturowych, praktycznie wszystkie gminy uzyskały II klasę, za wyjątkiem gminy Chrzypsko Wielkie, która jako jedyna należy do III klasy natężenia walorów kulturowych.

Podsumowując wyniki badań walorów przyrodniczych oraz kulturowych, najlepiej wypada gmina Międzychód, stanowiąc II klasę atrakcyjności turystycznej. Pozostałe gminy uplasowały się w niższych klasach, jednak przy zaangażowaniu władz i mieszkańców mogłyby w przyszłości rozwinąć się na korzyść zarówno przyrodniczą, jak i kulturową.

Przy ocenie funkcji turystycznej gmin wykazano, iż gmina Sieraków ma najwięcej miejsc turystycznych przypadających na 1 km² powierzchni całkowitej, również w tej gminie przypada najwięcej turystów korzystających z noclegów przypadających na 1000 mieszkańców stałych. Ponadto gmina Sieraków udziela najwięcej noclegów, które przypadają na 1 km² oraz ma największą liczbę turystów korzystających z noclegów, przypadających na 1 km² powierzchni całkowitej. Gmina Pszczew natomiast posiada najwięcej turystycznych miejsc noclegowych przypadających na 100 mieszkańców stałych. Należy więc utrzymywać osiągnięty poziom funkcji turystycznej oraz w miarę możliwości starać się podwyższać standardy oferowane turystom.

LITERATURA

1. BIELAK B.; 2010. Ocena atrakcyjności turystycznej powiatu nowosądeckiego, [w:] Transgraniczna turystyka ekologiczna jako szansa rozwoju Sądeckizny, Wyd. Starostwo Powiatowe w Nowym Sączu, 100-114.
2. CHUDY-HYSKI D.; 2006. Ocena wybranych uwarunkowań rozwoju funkcji turystycznej obszaru. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, [w:] Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, 2 (1), 129-141.

3. DUBEL K., SZCZYGIELSKI K.; 1982. Ocena przydatności środowiska przyrodniczego województwa katowickiego do potrzeb turystyki i wypoczynku, *Czasopismo Geograficzne*, L III 2, 159-178.
4. JANIA M. 2007.; Próba waloryzacji przyrodniczej Ziemi Kłodzkiej na potrzeby turystyki i rekreacji, [w:] *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko*, Wyd. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, 28-41.
5. KONDRACKI J. 2011.; *Geografia regionalna Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
6. ŁĘCKI W. 2010.; *Pojezierze Międzychodzko-Sierakowskie*, WBPiCAK, Poznań.
7. SŁOWIŃSKA A. 2006.; *Ekspozycja walorów i koncepcja aktywizacji turystycznej Wojcieszowa*, praca magisterska, Instytut Budownictwa i Architektury Krajobrazu, Wrocław.
8. WOJTERSKA M. 2003.; *Struktura krajobrazów roślinnych Pojezierza Międzychodzko-Sierakowskiego*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

VALORIZATION OF NATURE, LANDSCAPE AND CULTURAL AND TOURIST ATTRACTIVENESS RATING COMMUNITIS IN THE MIĘDZYCHODZKO-SIERAKOWSKI LAKELAND

S u m m a r y

In most of the analyzed indicators of tourism, seven communities of the Międzychodzko-Sierakowskie Lakeland had better results compared to the average from the entire of Poland. Międzychód was the most attractive tourist municipality. In conjunction with the cultural and natural values it indicates a high potential of this region and may result in increasing of tourist interest of Lakeland in the future.

Key words: Międzychodzko-Sierakowskie Lakeland, natural and cultural values, valorization, tourism, tourism attractiveness

BOGUSŁAW J. WOJTYSZYN*

**MODERNIZACJA MADRYCKIEJ DZIELNICY CARABANCHEL
W ASPEKCIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU MIASTA**

Streszczenie

Zrównoważona modernizacja dzielnic w ramach „Zielonej strategii” Madrytu jest realizowana przez władze miasta poprzez prośrodowiskowe programy rozwoju budownictwa społecznego. Badania wykazały, że w ostatnim dziesięcioleciu najwięcej zrównoważonych modeli społecznych domów mieszkalnych powstało na osiedlu Buenavista w południowej dzielnicy Carabanchel Alto.

Słowa kluczowe: zrównoważone budownictwo społeczne, urbanistyka

**„ZIELONA STRATEGIA” W BUDOWLANYM
SEKTORZE GOSPODARCZYM MADRYTU**

Pierwsze pod względem wielkości miasto i stolica Hiszpanii – „Madrid”, jest obecnie największą metropolią gospodarczą, położoną w środkowej części kraju u podnóża łańcucha gór Sierra de Guadarrama (Wyżyna Kastyljska), nad rzeką Manzanares. Jest głównym centrum komunikacyjnym kraju i najwyżej (600 m n.p.m.) położoną stolicą Europy. Jest też jednym z najstarszych miast na naszym kontynencie. Jego początki sięgają Starożytnego Imperium Rzymskiego (II w. p.n.e.) [Madrid.se 2010]. Pierwsze, znaczące działania władz miasta w kierunku poprawy warunków życia jej mieszkańców, zostały podjęte już w drugiej połowie XIX w. W tym czasie miasto znacznie zmodernizowano i odnowiono, a także przystąpiono do rozbudowy jego północnej części. Pod nadzorem Marquesa de Salamanca, na północ od Calle de Alcalá wybudowano w układzie szachownicowym 28 nowych ulic. Powstała w ten sposób dzielnica, nosząca do dzisiaj nazwę Salamanca, uważana za jedną z najelegantszych w mieście. Po jej wschodniej stronie rozpoczęto metodą nowatorską rozbudowę

* Uniwersytet Zielonogórski, Katedra Architektury i Urbanistyki; Politechnika Wrocławska

miasta w układzie liniowym. Rozwiązanie to było odwzorowaniem pierwszej myśli tworzenia zabudowy w układzie pasmowym, przedstawionej przez Arturo Soria y Mata w swojej koncepcji miasta liniowego z roku 1882. Soria wyprzedził wówczas angielską koncepcję miasta-ogrodu, z którą łączyło się wiele podobnych pomysłów związanych z poprawą warunków życia ludności miejskiej. Ze względu na duże trudności z pozyskiwaniem gruntów, zrealizowano zaledwie 5-cio kilometrowy odcinek tego układu, który później stopniowo obudowywany, a w końcu wchłonięty przez miasto, stał się częścią dzielnicy noszącej dzisiaj nazwę Ciudad Lineal [Wojtyszyn 2001, 2010].

Na przełomie XX i XXI wieku dynamiczny rozwój gospodarki hiszpańskiej wpłynął na silny wzrost demograficzny Madrytu i duży napływ ludności z imigracji międzynarodowej. Władze miasta, aby nie dopuścić do obniżenia się poziomu integracji wewnątrz społecznej i konkurencyjności Madrytu na zewnątrz, rozwinęły politykę zgodną z zasadami zrównoważonego rozwoju. Zapewnienie wszystkim mieszkańcom Madrytu godziwych warunków pracy, wypoczynku i zamieszkania, wymagało uruchomienia wielu programów prośrodowiskowych w sektorze usługowym (kulturalnym, turystycznym i finansowym) oraz w budowlanym (mieszkaniowym zwłaszcza społecznym, rekreacyjnym i transportowym). Rosnąca świadomość ekologiczna mieszkańców Madrytu w zakresie ochrony środowiska, przyspieszyła realizację zatwierdzonych przez Radę Miejską programów m.in. takich, jak: "Zrównoważone zużywanie energii i zapobieganie zmianom klimatu" (zadanie – rozwój ekologicznego transportu szynowego – metro, tramwaj, ruchu rowerowego i pieszego, efekt – redukcja w ciągu roku 35 tys. ton CO₂), „Zarządzanie wodą” (zadanie – recykling 100 % zanieczyszczonych wód, efekt – około 500 miliony m³ zwróconych rzekom lub wykorzystanych do mycia ulic i nawadniania zieleni), „Zarządzanie odpadami” (zadanie – przetworzenie 50% śmieci organicznych miasta, efekt – budowa Centrum Biometanu uzyskującego biogaz z 60% odpadów) [Ayuntamiento de Madrid 2008]. Madryt bazując na własnych wysokich walorach architektoniczno-historycznych i krajo-brazowo-przyrodniczych, kontynuuje również w sposób zrównoważony, dynamiczny rozwój turystyki, wzbogacając ją o atrakcyjne nowe miejsca rozrywki i wypoczynku. Miasto utrzymuje obecnie ponad 40 parków i ogrodów, a także duże kompleksy zieleni położone nad brzegami rzeki Manzanares. Dla Władz Madrytu i jego mieszkańców ważnym elementem strategii przestrzennego rozwoju jest stałe podnoszenie jakości i wizerunku środowiska miejskiego zarówno centralnej części miasta jak i jego peryferii. Rada Miejska w tym celu uruchomiła szeroko zakrojony, wieloletni program: „Revitalización del centro Madrid”, w ramach, którego realizowany jest ambitny plan: „Plan de Renovación Urbana del Entoro del Rio Manzanares” urbanistycznej i architektonicznej rewitalizacji i restauracji rzeczno-krajobrazu centrum miasta.



Fot. 1. Nowe tereny zieleni nad rzeką Manzanares, Madryt [Wojtyszyn 2010]

Phot. 1. New green coastal areas of the river Manzanares [Wojtyszyn 2010]

Rys. 1. Dzielnica Carabanchel w granicach Madrytu [www. madrid.es 2013]

Fig. 1. Carabanchel district within the limits of Madrid [www. madrid.es 2013]

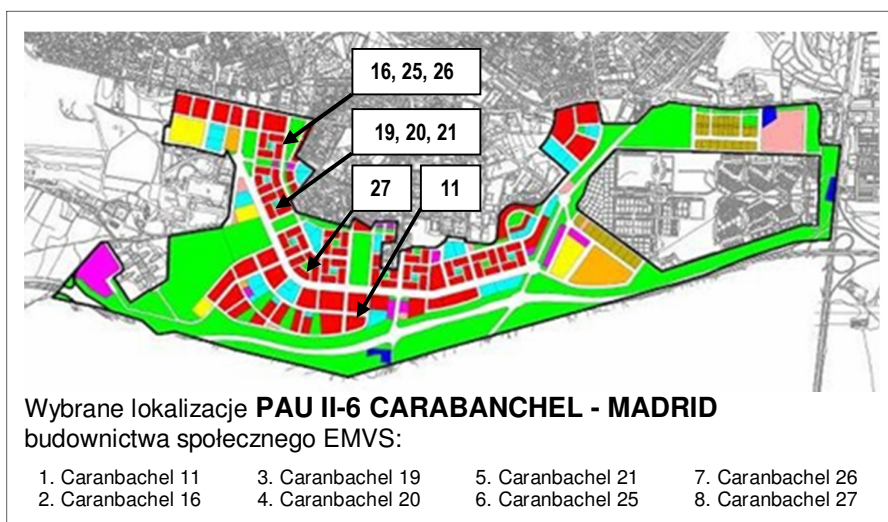
Dzięki madryckim rzeczonym projektom (Madrid Rio Proyectos) miasto wzbogaciło się o ponad 320 ha atrakcyjnie urządzonych, łatwo dostępnych terenów zieleni nad rzeką, na których nasadzono ponad 26 tys. nowych drzew, tworzących liczne szpalery wzdłuż alei widokowych. Wzrastająca aktywność sektora budowlanego UE w kierunku wdrażania nowych technologii i nowatorskich rozwiązań budowlanych na rzecz zrównoważonego rozwoju miasta, miała wpływ na wygenerowanie i wprowadzenie do planowania urbanistycznego oraz projektowania architektury zabudowy miejskiej nowego pojęcia „struktury ekobudowlanej” [Lindblom 2013, Ruano 1999]. Coraz więcej przykładów takiego typu budownictwa występuje we wznoszonych domach społecznych na nowo powstających terenach mieszkaniowych osiedli Vallecas, Sanchinarro, a najwięcej w strukturze zabudowy Carabanchel. Kontynuacja zrównoważonej strategii rozwoju Madrytu odbywała się tam między innymi według Operacyjnego Programu „Urbanizacja, Domy i Inicjatywy”.

ZRÓWNOWAŻONY KIERUNEK MODERNIZACJI BUDOWNICTWA SPOŁECZNEGO MADRYCKIEJ DZIELNICY CARABANCHEL

Zrównoważony kierunek modernizacji budownictwa społecznego madryckiej dzielnicy Carabanchel, jest rozwijany przez Władze Miasta poprzez realizację prośrodowiskowych planów urbanistycznych i projektów architektoniczno-budowlanych. Projekty te opracowywane są według ekologicznych zasad zrównoważonego rozwoju, zawartych w ONZ-towskiej Karcie Ziemi w Action Programme – AGENDA 21 [Dziekońska 2003, RSCEE 1993]. Dzielnica Cara-

banchel, to okręg składający się z 6 obwodów, znajdujących się w południowo-zachodniej części Madrytu. Carabanchel od strony Alto (Wysokie) przylega do granicy administracyjnej miasta, a od strony Bajo (Dolne) w kierunku centrum, graniczy z rzeką Manzanares. Z dzielnicowego parku Carabanchel Alto (Parque de las Cruces) do historycznego parku miejskiego (Parque del Buen Retiro) w centrum Madrytu jest wzdłuż linii prostej około 8 km. Dzielnicę tę, niegdyś znacznie zniszczoną podczas wojny domowej w latach 1937-1939, obecnie zamieszkuje około 250 tys. mieszkańców. Przeważnie są to imigranci z Afryki i Europy Wschodniej [Wikipedia 2013]. Zdegradowane i opustoszałe tereny na południu dzielnicy Carabanchel Alto objęte od 2000 r. miejskim programem budownictwa ekologicznego, stały się w obwodzie Buenavista największym placem budowy społecznych domów zrównoważonych. Podstawowe założeniach do koncepcji zrównoważonego planu urbanistycznego (PAU II-6 CARABANCHEL) dla terenów mieszkaniowych osiedla w obwodzie Buenavista, zostały zatwierdzone przez Radę Miasta jeszcze pod koniec XX wieku. Planem objęto obszar o pow. 350 ha, znajdujący się między dzielnicą od zachodu Latina a od wschodu Usera oraz od północy między dzielnicą Carabanchel Bajo i autostradą M-40 z Toledo do Madrytu od południa (rys. 2). Według planu rozwoju Madrytu na tym obszarze docelowo zamieszka ponad 34 tys. ludzi w otoczeniu około 150 ha terenów zieleni, co stanowi 40% całkowitej po wierzchni PAU. Zaplanowane są tam również tereny na cele edukacyjne, dotyczące technik pozyskiwania energii słonecznej. Wzdłuż głównej alei Avenida de la Peseta, stanowiącej kompozycyjną oś urbanistycznego układu, utworzone zostały niewielkie zespoły budynków mieszkalnych z własnymi ogrodowymi dziedzińcami [Ayuntamiento de Madrid 2007, Urbarama 2011]. Miasto odpowiadając na potrzeby mieszkańców w zakresie zdrowych i tanich miejsc zamieszkania, posiadających zrównoważone walory domów wiejskich jak i techniczne wygody domów miejskich, skupiło swoją uwagę nad eksperymentalnym rozwojem zrównoważonego budownictwa społecznego, co obecnie na świecie stanowi novum [Wojtyśzyczyn 2005]. W tym celu powołano w Madrycie Miejską Spółkę EMVS – Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo (Gminne Przedsiębiorstwo Terenów Mieszkaniowych), która podjęła się przy wsparciu Władz Rządowych, promowania projektów zrównoważonego budownictwa społecznego. Spółka ta reprezentowana przez jej Dyrektora i Burmistrza Madrytu, stała się w mieście głównym inwestorem i organizatorem tego przedsięwzięcia. Zaproszone przez EMVS znane i cenione krajowe i zagraniczne biura architektoniczne, zaproponowały w swoich projektach mieszkalnych domów społecznych, wiele interesujących i nowatorskich rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych w zakresie komunikacji społecznej oraz szereg pomysłowych rozwiązań konstrukcyjno-budowlanych w zakresie ekobudownictwa, a także w zakresie estetyczno-formalnym – różne metody wkomponowywania się w zrównoważony krajobraz otoczenia. Innowacyjne projekty domów, które uzyskały pełną akceptację

i wsparcie EMVS są przy udziale Miasta nagradzane i prezentowane na forach międzynarodowych oraz w branżowych publikatorach krajowych i zagranicznych. Madrycka Mieszkaniowa Spółka EMVS zlecając liczne projekty i realizację w mieście społecznych domów mieszkalnych, zwraca szczególną uwagę na stałe obniżanie, zwłaszcza na przedmieściu, kosztów ich budowy i późniejszej eksploatacji. EMVS wymaga od projektantów, aby ich domy tworzyły przyjazne warunki życia, integrujące mieszkańców i podnoszące ich bezpieczeństwo w sąsiedztwie. Angażuje ona i promuje przede wszystkim te krajowe i międzynarodowe biura architektoniczne, które mają odmienne, nowatorskie podejście do rozwijanego przez miasto eksperymentalnego programu budowy społecznych domów zrównoważonych [Design Build Network 2010].



Rys. 2. Zrównoważony plan urbanistyczny osiedla Buenavista na południu dzielnicy Carabachel Alto [www. plano.carabachel.net, 2011]

Fig. 2. Sustainable urban plan Buenavista building in the south district of Carabachel Alto [www. plano.carabachel.net, 2011]

MODELOWE REALIZACJE SPOŁECZNYCH DOMÓW ZRÓWNOWAŻONYCH NA OSIEDLU BUENAVISTA W DZIELNICY CARABACHEL ALTO

Spośród ośmiu najciekawszych projektów miejskiej struktury biobudowlanej w dzielnicy Carabachel Alto (tab. 1) warto do zaprezentowania są trzy zrównoważone domy społeczne, które zrealizowano w odmienny sposób [Design Build Network 2010].

Tab. 1. Zestawienie wybranych projektów modeli ekobudowlanych

Tab. 1. Summary of selected models of sustainable projects

Projekt: Carabanchel 11 EMVS Architekci: Thom Mayne z zespołem (Morphosis), Los Angeles, USA i Begoña Diaz-Urgorri z zespołem (B+DU Estudio de Arquitectura), Madryt, Rok ukończenia: 2007, Liczba mieszkań: 141		Projekt: Carabanchel 16 EMVS Architekci: Alejandro Zarea Polo, Farshid Moussavi z zespołem (FOA), Londyn, UK Rok ukończenia: 2007 Liczba mieszkań: 88		Projekt: Carabanchel 20 EMVS Architekci: Ignacio Borrego, Néstor Montenegro, Lina Toro (dosmasuno arquitectos), Madryt, Rok ukończenia: 2007 Liczba mieszkań: 102
Projekt: Carabanchel 10 Rok ukończenia: 2006	Projekt: Carabanchel 19 Rok ukończenia: 2006	Projekt: Carabanchel 21 Rok ukończenia: 2009	Projekt: Carabanchel 26 Rok ukończenia: 2010	Projekt: Carabanchel 27 Rok ukończenia: 2009

Carabanchel 11 – projekt kompleksu zabudowy wielorodzinnej z ekobulwarem został wyróżniony nagrodą „Premio Pritzker 2005” przez urząd VPO (Viviendas de Protección Oficial) w Carabanchel, a także nagrodą „Premio Asprima 2008” przez stowarzyszenie ASPRIMA (La Asociación de Promotores Inmobiliarios de Madrid). W projekcie architektury zabudowy o charakterze dywanowym, utworzona została spontaniczna kratownicowa struktura przestrzenna w formie ubelkowań nawiązująca do stylu konstruktywistycznego. Powstał w ten sposób wielorodzinny żywy kompleks mieszkalny, w którym toną ce w zieleni o powierzchni około 3 tys. m² (proj. arch. krajobrazu Ana Luengo), wykreowane prywatne i wspólne ogródki, patia, logie zacienione wąskie przejścia i główny pasaż tworzą miejsca, gdzie ludzie mogą poznać się i porozmawiać – w przeciwieństwie do wysokich wieżowców, gdzie mieszkańcy są stłoczeni i wyizolowani. Wejścia do kompleksu 2-piętrowej zabudowy znajdują się w obrzeżnej zabudowie 14-piętrowej. Dojazd do każdej części kompleksu samochodem odbywa się tylko poprzez garaż podziemny, co chroni mieszkańców przed uciążliwościami ruchu ulicznego. Wychładzanie mieszkań w czasie gorącego lata dzięki białym ścianom i zieleni wspomaga oprócz klimatyzacji, mauretański system wentylacji naturalnej poprzez wysokie kominy stanowiące jednocześnie kompozycyjny element architektury. Kompleks otrzymuje również ciepłą wodę, ogrzewaną energią słoneczną z kolektorów płytowych umieszczonych na szczycie wyższej zabudowy.



Fot. 3 i 4. Zrównoważone domy społeczne Carabanchel 19 i 11: C19 – elewacyjny ciąg regulowanych żaluzji poziomych i C11 – mauretański system wentylacji kominowej kreują architekturę budynków [Wojtyszyn 2010]

Phot. 3 and 4. Sustainable social houses Carabanchel 19 and 11: C19 – string elevation adjustable horizontal blinds and C11 – Moorish tower ventilation system create the architecture of buildings [Wojtyszyn 2010]

Carabanchel 16 – Kopia architektury tego budynku w zmniejszonym wymiarze, eksponowana była wcześniej, jako hiszpański pawilon wystawienniczy budownictwa zrównoważonego i przestrzeni społecznej na wystawie Expo 2010 w Szanghaju (Chiny). W projekcie architektonicznym budynku wyjątkową rolę w jego zwartej prostopadłościenniej obudowie, odegrały rozwiązania techniczne z zastosowaniem materiałów naturalnych. Ponieważ budynek usytuowany jest wzdłuż dłuższej osi N-S, jego mieszkania wystawione są od zachodniej i wschodniej elewacji na bezpośrednie gorące hiszpańskie słońce. Aby temu zaradzić, wszystkie mieszkania są przewietrzane na przestrzał z obydwu stron budynku i obwiedzione drewnianymi galeriami, do których zamontowano na stalowej konstrukcji, pionowo rozsuwane żaluzje z matą bambusową. Mieszkańcy przesuwając żaluzje uczestniczą w tworzeniu zmieniających się układów światła i cienia w naturalnej bambusowej strukturze i kolorystyce elewacji budynku. Przestrzeń gospodarczo-garażowa budynku tworzy dla jego części mieszkalnej zielony cokół o nachylonych ścianach, zadarnionych trawą z automatycznym nawadnianiem. Na wschodniej jego stronie jest także miejsce dla prywatnych ogrodów. Budynek również posiada na dachu panele słoneczne i dodatkowo klimatyzację.



Fot. 5, 6 i 7. Zrównoważony dom społeczny Carabanchel 16 – Bambusowe żaluzje ruchome kreują architekturę elewacji budynku [Wojtyszyn 2010]

Phot. 5, 6 and 7. Sustainable social house Carabanchel 16 – Bamboo, movable shutters create the architecture of the building facade [Wojtyszyn 2010]

Carabanchel 20 – W projekcie architektury budynku jego rdzeń w kształcie litery L, usytuowany na skraju działki przy głównej ulicy i lasku sosnowym, utworzył po przeciwnej stronie dynamiczne, otwarte wnętrza z głęboko urzeźbioną elewacją i zielenią prywatnego tarasu ogrodowego na dachu parkingu. Od strony głównej ulicy, przed nadmiernym nagrzaniem mieszkań, chronią zamontowane do elewacji budynku ażurowe filtry. W celu wyciszenia mieszkań w strefie wypoczynkowej i zmniejszenia ich powierzchni komunikacyjnej, do wewnątrz dziedzińca wysunięto pokoje sypialne z postaci odrębnych brył przymocowanych do rdzenia budynku. Konstrukcję budynku zoptymalizowano w sposób zrównoważony stosując uprzemysłowiony system automatycznego montażu lekkich modułów stalowych i wysokiej jakości gotowych elementów aluminiowych. Dzięki temu uniknięto powstawania odpadów i znacznie przyspieszono proces budowy, co istotnie obniżyło również koszty realizacji.



Fot. 8 i 9. Zrównoważone domy społeczne Carabanchel Carabanchel 20 i 21: C20 – głęboko urzeźbiona elewacja budynku i C21 – kolorowe poziomo przesuwne żaluzje są efektem technicznych innowacji [Wojtyszyn 2010]

Phot. 8 and 9. Sustainable social houses Carabanchel Carabanchel 20 and 21: C20 – deeply sculptured facade of the building and C21 – colorful horizontally sliding shutters are the result of technical innovation [Wojtyszyn 2010]

PODSUMOWANIE

„Zielona strategia” Madrytu, której głównym celem jest stałe podnoszenie jakości życia swoich mieszkańców, jak w poprzednich stuleciach, tak i teraz, wyznacza kolejne zadania w zakresie modernizacji i renowacji zabudowy społecznej miasta. W tym celu miasto uruchamia szereg programów prośrodowiskowych, których realizację powierza specjalnie powołanym do tego instytucjom. Wraz z rosnącą ekologiczną świadomością społeczną mieszkańców Madrytu, powstaje wiele ciekawych prośrodowiskowych rozwiązań urbanistycznych i architektonicznych, zarówno w usługowym jak i w mieszkaniowym sektorze budowlanym. Miasto, między innymi poprzez program „Urbanizacja – Domy – Inwestycje” zainicjowało w ostatnim dziesięcioleciu, przyśpieszony rozwój madryckiego społecznego budownictwa zrównoważonego. Zaproszone z kraju i całego świata zespoły architektoniczno-budowlane, uczestniczą w tworzeniu nowatorskich, eksperymentalnych rozwiązań projektowych, które są realizowane pod pojęciem „mieszkaniowej struktury ekobudowlanej”. Największą liczbą wybudowanych w ten sposób społecznych domów zrównoważonych w Madrycie, może poszczycić się dzielnica Carabanchel. W dzielnicy tej, najwięcej domów zostało również wyróżnionych nagrodami za oryginalne podejście projektowe w rozwiązywaniu architektoniczno-urbanistycznych i budowlanych problemów związanych z ekologicznymi wymogami, jakie należy spełnić zarówno na etapie realizacji domu jak i jego eksploatacji w myśl zasad AGENDY 21. Przedstawione efekty działania władz Madrytu na rzecz poprawy wa-

runków środowiskowych miasta, zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, pokazują jak można organizacyjnie i przy wsparciu własnego zaplecza fachowców, przyspieszyć ekologizację mieszkaniowego i usługowego sektora budownictwa społecznego.

LITERATURA

1. AYUNTAMIENTO DE MADRID; 2007. Madrid Operative Program 2007-2011, Governing Area for Urbanism and Housing, Madrid.
2. AYUNTAMIENTO DE MADRID; 2008. City of Madrid Plan for the Sustainable Use of Energy and Climate Change Prevention, Madrid.
10. CARABANCHEL.NET, 2011. <http://www.plano.carabanchel.net>.
11. DESIGN BUILD NETWORK, 2010. <http://www.designbuild-network.com>.
3. DZIEKOŃSKA E.; 2003. Ład przestrzenny wobec Lokalnej Agendy 21, Materiały Seminaryjne, Koło Miejskie Okręgu Górnośląskiego, Polski Klub Ekologiczny, Tychy.
4. LINDBLOM J.; 2013. European Commission's strategy on sustainable buildings, w: Open house. Final Dissemination Workshop, UE, Brussels.
12. MADRID.ES, 2010. <http://www.madrid.es/portal/site/munimadrid>.
5. RSCEE (Regionalne Samorządowe Centrum Edukacji Ekologicznej przy Sejmiku Samorządowym we Wrocławiu); 1993. Szczyt Ziemi: Rio'92. AGENDA 21. Przewodnik dla samorządów, Wyd. RSCEE, Wrocław.
6. RUANO M.; 1999. Ecourbanismo. Entornos humanos sostenibles: 60 proyectos, Editorial GG, Barcelona.
13. URBARAMA. Atlas of Architecture; 2011. <http://www.urbarama.com/project>.
14. WIKIPEDIA; 2013. <http://www.pl.wikipedia.org/wiki/Madryt>.
7. WOJTYSZYN B.; 2001. Ekologiczne interpretacje przestrzeni zurbanizowanej, w: Kształtowanie przestrzeni zurbanizowanej w myśl zasad ekorozwoju, Polski Klub Ekologiczny, Okręg Dolnośląski, Wrocław, 11-39.
8. WOJTYSZYN B.; 2005. Partycypacja społeczna w planowaniu przestrzennym na rzecz zrównoważonego rozwoju, w: Oblicza równowagi, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, 228-239.
9. WOJTYSZYN B.; 2010. Dostępność sąsiedzka i jej zgeometryzowana struktura przestrzeni zurbanizowanej, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej.

MODERNIZATION MADRID'S CARABANCHEL TOWARDS SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE CITY

S u m m a r y

Sustainable modernization of the districts within the "Green Strategy" Madrid is carried out by the city authorities through the implementation of pro-environmental programs of development social housing. Studies have shown that in the last ten years, most sustainable models of social homes was built on residential areas Buenavista in the southern district of Carabanchel Alto.

Key words: sustainable social housing

JACEK PARTYKA^{*}, ZYGMUNT LIPNICKI^{}**

**KONCEPCJA STANOWISKA DO BADANIA
PROCESU KRZEPNIĘCIA W WILGOTNYCH
BUDOWLANYCH MATERIAŁACH POROWATYCH**

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono projekt koncepcyjny stanowiska badawczego do badania procesu krzepnięcia wilgotnych budowlanych materiałów porowatych. Planowany eksperyment polega na rejestracji frontu krzepnięcia w czasie, w zależności od warunków zewnętrznych. Idea pomiaru frontu krzepnięcia oparta jest na wykorzystaniu zmiany właściwości fizycznych wody w procesie krzepnięcia

Słowa kluczowe: krzepnięcie, front krzepnięcia, porowaty materiał budowlany

WSTĘP

Krzepnięcie jest powszechnie obserwowanym zjawiskiem w przyrodzie. W technice procesy krzepnięcia są spotykane w materiałach i procesach, gdzie technologie kontrolujące procesy krzepnięcia są istotne, decydujące o wytwarzaniu wysokiej jakości produktów i rozwoju nowych materiałów [Weaver, Viskanta, 1986; Lipnicki, Weigand 2008; Derek, Ingham, 2005; Kimura, 2005].

Problem krzepnięcia cieczy w materiałach porowatych może występować w konstrukcjach inżynierskich, takich, jak wilgotne fundamenty w budownictwie, wilgotne izolacje, materiały włókniste i także w wilgotnych materiałach zmienno-fazowych (PCM – phase – change material), podczas akumulacji ciepła [Lipnicki, Weigand, 2012].

Przemarzanie wilgotnych budowlanych materiałów porowatych wpływa na własności techniczne materiałów, a nawet może prowadzić do ich destrukcji. Wymienione zjawiska są wystarczającym motywem decydującym o prowadzeniu badań procesu krzepnięcia wilgotnych budowlanych materiałów porowa-

^{*} doktorant w Instytucie Budownictwa UZ

^{**} Instytut Inżynierii Środowiska UZ

tych. Zjawiskom krzepnięcia towarzyszy zwiększenie objętości zamrożonej wody występującej w porach wilgotnych materiałów.

Ekspansja powstającego lodu, może być jedną z wielu również, przyczyną migracji wilgoci, zawartej w porach materiałów budowlanych, lub jej ograniczenia.

Badania eksperymentalne służą zrozumieniu procesów oddziaływania zamrażającej wody w porach wilgotnych budowlanych materiałów porowatych, na te materiały.

Porównanie badań eksperymentalnych z modelami teoretycznymi, które są oparte na teorii termodynamiki i mechaniki, pozwoli je zweryfikować.

Dokładne poznanie zjawiska zamrażania pozwoli skutecznie przeciwdziałać szkodliwym następstwom procesu krzepnięcia wody w wilgotnych budowlanych materiałach porowatych.

MATERIAŁY POROWATE STOSOWANE W BUDOWNICTWIE

Ciała stałe stosowane w budownictwie, w których występują przestrzenie wypełnione powietrzem o objętości względnie małej w porównaniu z objętością całego ciała, nazywamy materiałami porowatymi, a „puste” przestrzenie, niezależnie od ich kształtu, nazywane są porami. Do ciał stałych pochodzenia naturalnego i sztucznego, posiadających strukturę porowatą można zaliczyć: glebę, drewno, skórę, kości zwierzęce, materiały budowlane, ceramiczne, metale otrzymywane według technologii proszków stosowanej w metalurgii itp.

Materiały budowlane, takie, jak cegły, beton, wapień, piaskowiec, są wszystkie ze swojej natury porowate. Dzięki porowatej strukturze, należą one do materiałów dobrze izolujących przepływ ciepła. Materiały stosowane w budownictwie dzięki swej dużej porowatości posiadają dobre właściwości izolacyjne. Wpływa na tę właściwość powietrze zatrzymane w porach. Drewno, oprócz innych zalet, dzięki porowatości jest również dobrym izolatorem ciepła [Dullien, 1992].

Porowatość materiałów jest właściwością, która sprzyja wchłanianiu wody przez te materiały. Głównym parametrem materiałów porowatych jest porowatość efektywna, która wyrażona jest wzorem [Klemm, 2008]:

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V} \quad (1)$$

gdzie: V_p jest objętością porów otwartych zawartych w elementarnym obszarze wypełnionym materiałem porowatym, V jest objętością całego obszaru.

W tab. 1 zestawiono, wyznaczone za pomocą pozymetrii rtęciowej, podstawowe parametry strukturalne kilku przykładowych wybranych materiałów budowlanych [Klemm, 2008].

Tab. 1. Podstawowe parametry struktury wewnętrznej wybranych materiałów budowlanych [Gawin, 2000]

Tab.1. Basic parameters of the internal structure of selected construction materials [Gawin, 2000]

Materiał	Gęstość pozorna kg/m ³	Gęstość szkielet u kg/m ³	Porowatość, %	Całkowita objętość porów dm ³ /kg	Całkowita powierzchnia porów m ² /g
Zaprawa cementowa	2019	2535	20,04	0,1008	1,317
Cegła zwykła	1780	2668	33,3	0,1870	7,867
Gips budowlany	935	2334	60,5	0,6407	3,041
Gazobeton	1002	2334	57,1	0,5694	26,743

Przedstawione właściwości wybranych materiałów budowlanych w powyższej tabeli, są dowodem na to, że porowatość takich materiałów jest bardzo powszechna. Z porowatością związana jest bardzo mocno skłonność do pochłaniania wilgoci [Klemm, 2008], a co za tym idzie dalej, zdolność do ich przemarzania w warunkach niskich temperatur. Na temat przemarzania materiałów porowatych powstało wiele prac teoretycznych i doświadczalnych. Przykładem mogą być wybrane tu prace Weavera, Viskanty [1986] i Lipnickiego, Weiganda [2008].

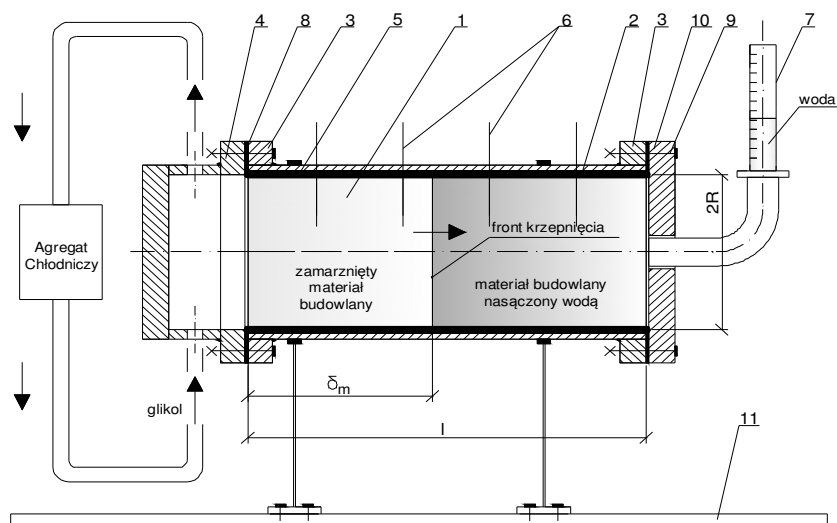
W wymienionych publikacjach badane jest teoretycznie i eksperymentalnie przemarzanie modelowych materiałów porowatych w połączeniu z migracją wilgoci.

Problem krzepnięcia materiałów porowatych w połączeniu z migracją wilgoci ma duże znaczenie naukowe i techniczne. Brakuje szczególnie badań eksperymentalnych, ze względu na trudność obserwacji procesu krzepnięcia w nieprzezroczystych materiałach, jakimi są materiały porowate. Dlatego niniejsza praca podejmuje próbę przedstawienia nowej metody badań eksperymentalnych na oryginalnym stanowisku badawczym.

Celem badań jest obserwacja pośrednia frontu krzepnięcia. W badaniu procesu krzepnięcia planuje się wykorzystać wilgotne budowlane materiały porowate, dostępne w ogólnym obrocie i mające powszechne zastosowanie w budownictwie: pustaki, bloczki i płytki.

PROJEKT STANOWISKA BADAWCZEGO I PROPOZYCJA BADAŃ

Proponowana koncepcja badawcza wywodzi się z wcześniej już stosowanych badań eksperymentalnych w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego [Lipnicki, Weigand, 2012; Paszkowicz, Lipnicki, 1999].



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego
Fig.1. Schematic of the research station

Budowa stanowiska badawczego

Schemat stanowiska badawczego przedstawia rysunek 1. Przedmiotem badań jest walcowa próbka 1 o promieniu R i długości l nawilżona wodą i umieszczona w rurze przezroczystej 2, wykonanej z pleksiglasu. Powierzchnia walcowa badanej próbki kontaktująca się z rurą, pokryta jest cienką warstwą przezroczystego silikonu 5.

Od czoła z lewej strony, próbka kontaktuje się z zimnym glikolem poprzez płaską płytę miedzianą 8. Płyta bardzo dobrze przylega do powierzchni czołowej próbki.

Z drugiej strony płyty, wewnątrz komory chłodniczej 4, przepływa zimny glikol, o temperaturze niższej od 0°C . Zimny glikol dostarczany jest do komory z agregatu chłodniczego i po odebraniu ciepła krzepnięcia wraca z powrotem do agregatu.

Komora przymocowana jest do rury za pomocą kołnierzy 3 i śrub 9. Z drugiej strony, badana próbka przykryta jest pokrywą 10 przymocowaną do kołnierza rury 3, również śrubami mocującymi 9.

W środku pokrywy 10 znajduje się otwór, wewnątrz którego umieszczona jest szczelnie rurka, połączona z pionowym cylindrem miarowym 7. Cylinder miarowy służy do pomiaru objętości wypieranej wody z zamarzającego materiału porowatego. W celu zapewnienia szczelności stanowiska badawczego, zastosowano pierścienie uszczelniające typu O-ring. Wewnątrz próbki rozmieszczono równomiernie termopary 6, w celu pomiaru temperatury.

Przebieg badań

Próbka walcowa wstępnie nawilżona jest zimną wodą destylowaną i umieszczona precyzyjnie w rurze z pleksiglasu. Następnie, wewnątrz próbki przez małe otwory wykonane w rurze zewnętrznej, umieszczone są równomiernie na długości czujniki temperatury.

Cylinder miarowy zalany jest zimną wodą destylowaną o określonej temperaturze do skali początkowej. W chwili początkowej (początek eksperymentu), włączony jest przepływ zimnego glikolu etylowego o ściśle zadanej temperaturze do lewej komory stanowiska badawczego. Postępujący proces krzepnięcia obserwowany będzie w czasie, przez obserwację optyczną frontu krzepnięcia i określany pośrednio przez pomiar przyrostu wody w cylindrze miarowym.

Równocześnie, będzie mierzona temperatura materiału porowatego za pomocą termopar.

Średnia grubość warstwy zakrzepłej δ_m (rys. 1), mierzona będzie podobnie jak w pracy [Lipnicki, Weigand, 2012]. Z analizy zachowania masy, przyrost objętości wody w cylindrze miarowym ΔV , określa równanie:

$$\Delta V = V_L \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_w} \right) = V_L \frac{\rho_w - \rho_L}{\rho_w} = \varphi \pi R^2 \delta_m \frac{\rho_w - \rho_L}{\rho_w}, \quad (2)$$

a stąd, średnią grubość warstwy zakrzepłej, wzór

$$\delta_m = \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_L} \frac{\Delta V}{\varphi \pi R^2}, \quad (3)$$

gdzie oznaczono odpowiednio:

$V_L = \varphi \pi R^2 \delta$ jest objętością lodu, R jest promieniem badanej próbki, φ jest wilgotnością względną materiału porowatego, ρ_w jest gęstością wody, a ρ_L jest gęstością lodu.

Pomiar temperatury porowatego materiału budowlanego podczas badania, dokonywany będzie za pomocą czujników temperatury 6, umieszczonych

w badanej próbce w ustalonym rozstawie, natomiast wskazania temperatury odczytywane będą z wykorzystaniem przenośnego miernika.

Komora badawcza umieszczona zostanie na wspornikach zamocowanych w podstawie 11.

W celu umożliwienia bieżącej obserwacji eksperymentu, w szczególności powierzchni międzyfazowej woda-lód, przewiduje się barwienie wody, z użyciem fluoresceiny – barwnika lub innego, o zastosowaniu w badaniach diagnostycznych. Proces krzepnięcia porowatych materiałów budowlanych, będzie rejestrowany poprzez wykonywanie zdjęć w ustalonych odstępach czasu.

W czasie eksperymentu, prowadzony będzie ciągły monitoring temperatury glikolu i temperatury ścianki miedzianej 8, oddzielającej komorę badawczą od przestrzeni, w której przepływa glikol.

Dla wyraźnego zobrazowania wyników eksperymentu, fotografie szczegółów badania, będą odpowiednio powiększone.

PODSUMOWANIE

Stanowisko badawcze wykonane według przedstawionego projektu, służy do wykonywania badań eksperymentalnych pomiaru frontu krzepnięcia w wilgotnych budowlanych materiałach porowatych.

Celem proponowanych badań doświadczalnych jest weryfikacja badań teoretycznych prowadzonych przez autorów na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Projekt stanowiska badawczego jest oryginalnym rozwiązaniem, opartym na oryginalnej koncepcji badawczej. Pomiar eksperymentalny rozwoju frontu krzepnięcia, szczególnie w wilgotnych materiałach porowatych, jest zadaniem bardzo trudnym.

Dlatego przedstawiona koncepcja, pomiaru trudno obserwowalnego frontu krzepnięcia, wydaje się interesująca i warta realizacji.

LITERATURA

1. WEAVER, JA.; VISKANTA, R.; 1986. Melting of frozen, porous media contained in a horizontal or a vertical, cylindrical capsule. *Int J Heat Mass Transf* 29: 1943–1951.
2. LIPNICKI, Z.; WEIGAND B.; 2008. Natural convection flow with solidification between two vertical plates filled with a porous medium. *Heat Mass Transfer* 44, 1401–1407.

3. LIPNICKI, Z.; WEIGAND, B.; 2012. An experimental and theoretical study of solidification in a free-convection flow inside a vertical annular enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55, 655–664.
4. DEREK, B.; INGHAM POP.I.J.; 2005. *Transport Phenomena in porous media III*, s.400.
5. KIMURA, S.; 2005. *Dinamic Solidification in a water-saturated porous medium cooled from above*, Institute of Nature and Enviromental Technology, Kanazawa University, Japan, s.400.
6. DULLIEN, F.A.L.; 1992. *Porous Media Fluid Transport and Pore Structure*, Second Edition, San Diego Kalifornia, s.2.
7. KLEMM, P.; 2005-2008. *Praca zbiorowa: Budownictwo Ogólne, tom 2 Fizyka budowli*, Arkady, Warszawa, s.10,14.
8. GAWIN, D.; 2000. *Modelowanie sprzężonych zjawisk cieplno-wilgotnościowych w materiałach i elementach budowlanych*. Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej. *Rozprawy Naukowe z.* 279, Łódź.
9. PASZKOWICZ, M. A.; LIPNICKI, Z.; 1999. *Koncepcja stanowiska laboratoryjnego do badania procesu zamarzania zwilżonych materiałów porowatych*, *Studia i Materiały, Technika*, 1, nr 48, s.115-118.

THE CONCEPTION OF POSITION TO TEST OF SOLIDIFICATION PROCESS IN WET BUILDING POROUS MATERIALS

S u m m a r y

The test stand taken by the proposed project is to perform experimental studies measuring the solidification front in moist building porous materials. The objective of the proposed research is verification of theoretical experimental research conducted by the authors at the Department of Civil and Environmental Engineering University of Zielona Góra. Project research station is an original solution based on the original concept of the research. The experimental measurement of development of solidification front, especially in moist porous materials is a very difficult task. Therefore, the concept was difficult to measure observable solidification front seems to be interesting and worth implementing.

Key words: solidification, porous building material, solidification front

MARIA WŁODARCZYK-MAKUŁA*, AGNIESZKA TUREK**,
AGNIESZKA OBSTÓJ**

WPŁYW PROMIENIOWANIA UV NA ZMIANY STĘŻENIA BENZO-FLUORANTENÓW W ŚCIEKACH

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu czasu naświetlania promieniami ultrafioletowymi na zmiany stężenia WWA w ściekach przemysłowych. Badania prowadzono z wykorzystaniem ścieków koksowniczych pobranych z odpływu zakładowej biologicznej oczyszczalni. Naświetlanie ścieków promieniami ultrafioletowymi prowadzono stosując zmienny czas ekspozycji: 30, 60 i 90 sekund. Oznaczenia ilościowe WWA wykonywano metodą chromatografii cieczowej. Oznaczano fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten. Podczas ekspozycji ścieków na promieniowanie ultrafioletowe odnotowano obniżenie stężenia WWA. Efektywność usunięcia WWA była w granicach od 45 do 62% dla sumarycznej zawartości tych związków, natomiast dla poszczególnych była w zakresie od 17% do 67%. Skuteczność degradacji zależała od czasu ekspozycji i połączenia pierścieni w cząsteczce węglowodoru.

Słowa kluczowe: Fl, B(j)F, B(b)F, B(k)F, HPLC, naświetlanie UV, fotodegradacja, ścieki koksownicze

WSTĘP

Wśród przemian fizyczno-chemicznych WWA prowadzących do destrukcji tych związków wymienia się rozkład pod wpływem światła. Badania opisane w literaturze wskazują, że WWA ulegają destrukcji pod wpływem promieniowania ultrafioletowego i elektromagnetycznego. W środowisku proces fotodegradacji WWA dotyczyć może jedynie powierzchniowych warstw wód i gleb. Węglowodory aromatyczne pod wpływem światła oraz tlenu stosunkowo łatwo ulegają fotochemicznym tworząc związki epoksydowe, chinony, diole, fenole

* Politechnika Częstochowska, Katedra Chemii, Technologii Wody i Ścieków

** doktorant w Katedrze Chemii, Technologii Wody i Ścieków, Politechnika Częstochowska

i aldehydy oraz pochodne zawierające azot w pierścieniu, np.: 1,5-dihydroksynaftalen, karbazol, akrydyna, 9-fluorenon, 9-hydroksyfenantren, 4-hydroksyakrydyna, ksanton, antrachinon, 1,8-dihydroksyantrachinon, 1-nitropiren. Im większa jest liczba skondensowanych pierścieni w cząsteczce WWA tym łatwiej się ona utlenia, również w wyniku reakcji substytucji elektrofilowej [Nakamiya i in. 2004]. WWA ulegają destrukcji pod wpływem promieniowania ultrafioletowego o długości fali w granicach od 10 do 400 nm i elektromagnetycznego (promienie gamma o długości fali mniejszej od 124 pm) [Cataldo i Keheyen 2006]. Dlatego fotodegradacja i utlenianie oraz ich połączenie są uważane za najefektywniejsze metody destrukcji WWA [Dugay i in. 2002, Jamroz i in. 2002]. Wpływ fotodegradacji na degradację WWA w wodach badali Xia i współpracownicy. Naświetlanie prowadzono z wykorzystaniem lampy ksenonowej. Określono rozkład acenaftenu, fluorenu, fenantrenu, fluorantenu i pirenu. Ze względu na stopień usunięcia węglowodory uszeregowano następująco:

acenaftylen>piren>fenantren> fluoren>fluoranten

Stopień degradacji acenaftenu, fluorenu i fenantrenu spadał wraz ze wzrostem stężenia kwasów fulwowych co wyjaśniono wspomaganie przez kwasy powstawania aktywnego tlenu. Udział tlenu reaktywnego zwiększał stopień degradacji z 33 do 69% [Xia i in. 2009]. Skuteczność promieniowania gamma na usuwanie siedemnastu WWA badał Cataldo i współpracownicy [Cataldo i Keheyen 2006]. Stosowano trzy dawki wynoszące 100, 200 i 300 kGy. Źródłem promieniowania był izotop kobaltu ^{60}Co emitujący 2,7 kGy/h. Najbardziej trwałe był koronen. Na podstawie wyników badań ustalono szereg trwałości badanych węglowodorów następująco:

koronen> chryzen>fluoren>2-metylofenantren>acenaftylen>piren>
3-metylofenantren > fluoranten>fenantren>
1-metylnaftalen>antracen>naftalen

Dawka 100 kGy była wystarczająca do rozpadu większości WWA z wyjątkiem fluorenu i chryzenu. Całkowite ich usunięcie było możliwe po zastosowaniu utleniania ozonem lub mieszanią ozonu i tlenu lub przy większej dawce promieniowania (200 kGy). Wtedy uzyskano całkowite usunięcie fluorenu i chryzenu. WWA mogą ulegać degradacji pod wpływem ozonu, ale produkty procesu radiolizy i po zastosowaniu radiolizy wraz z ozonowaniem będą różne. Wynika to z faktu utleniania pochodnych WWA, powstających po naświetlaniu, za pomocą ozonu [Dugay i in. 2002]. W badaniach nad rozkładem WWA zaadsorbowanych na cząstkach popiołów lotnych stosowano naświetlanie promieniami UV. Efektywność fotodegradacji spadała wraz ze wzrostem masy cząsteczkowej WWA, a naświetlanie UV-B przyspieszało proces [Niu i in. 2007].

W odniesieniu do próbek gleby badano wpływ takich parametrów jak: temperatura, wielkość cząstek stałych, głębokość gleby i stężenie kwasów humusowych na efektywność degradacji pirenu. Czas półtrwania badanego węglowodoru zależał od głębokości warstwy gleby i gdy głębokość gleby wzrosła z 1 do 4 mm, okres półtrwania zwiększył się z 20 do 38 d. Obecność kwasów humusowych znacząco zwiększała wydajność fotodegradacji pirenu na powierzchni gleby eksponowanej na promieniowanie ultrafioletowe [Zhang i in. 2010]. Jamroz i współautorzy [2002] prowadzili badania utleniania wybranych WWA z wykorzystaniem ditlenku diwodoru, ozonu oraz promieniowania ultrafioletowego. Ustalono parametry procesowe całkowitego usuwania benzo(a)pirenu, chryzenu i fluorenu w wodzie utrzymując stałą wartość pH na poziomie 7. Wykazano, że podczas fotochemicznych procesów powstawały produkty pośrednie, które wykazywały zróżnicowaną toksyczność na organizmy wskaźnikowe. Największą toksyczność odnotowano dla produktów degradacji węglowodorów, gdy do utleniania stosowano ditlenek diwodoru [Jamroz i in. 2002]. Celem badań było określenie wpływu naświetlania promieniami ultrafioletowymi na zmiany WWA (fluorantenu, benzo(j)fluorantenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu) w ściekach przemysłowych podczas działania promieniami ultrafioletowymi.

METODYKA BADAŃ TECHNOLOGICZNYCH

Material do badań

Badania prowadzono z wykorzystaniem ścieków koksowniczych, które odprowadzane są z zakładowej biologicznej oczyszczalni. Zakład zajmuje się produkcją najwyższej jakości koksu, produktów węglpochodnych oraz gazu koksowniczego. Gaz powstający w procesie zgazowania węgla może być wykorzystany po uprzednim wydzieleniu składników użytecznych, oczyszczeniu i schłodzeniu. Oczyszczanie gazu koksowniczego z kondensatów wodnych, amoniaku i siarkowodoru prowadzi do uzyskania produktów węglpochodnych takich jak smoła koksownicza, benzol koksowniczy, siarczan amonu. Jest to początkowy proces oczyszczania wody pogazowej. Następnie przetłaczana jest do zbiornika uśredniającego, gdzie po wymieszaniu i uśrednieniu z odpadową wodą amoniakalną, stanowią strumień ścieków koksowniczych kierowanych do biologicznej oczyszczalni ścieków (BOŚ). Proces oczyszczania ścieków prowadzi się z wykorzystaniem bioreaktorów do denitryfikacji, utleniania związków organicznych, nitryfikacji. Ścieki oczyszczone w biologicznej oczyszczalni są wykorzystywane w układzie zamkniętym do gaszenia koksu. Dlatego z punktu widzenia ograniczenia emisji WWA do atmosfery ważne jest opracowanie procesów pozwalających na minimalizowanie ilości tych związków w ściekach.

Metodyka badań

Badania technologiczne polegały na naświetlaniu ścieków koksowniczych promieniami UV. Przed przystąpieniem do procesu przygotowano próbkę kontrolną, w której zanalizowano wybrane WWA. W pozostałych próbkach ścieków koksowniczych naświetlanie promieniami ultrafioletowymi prowadzono stosując zmienny czas ekspozycji: 30, 60, i 90 sekund. Badania prowadzono w warunkach statycznych, naświetlając ścieki w kuwecie porcelanowej. Warstwa ścieków wynosiła 2 mm. Zmiany stężenia WWA określono na podstawie analizy ścieków przed i po procesie fotodegradacji.

Metodyka analityczna WWA

Analiza WWA obejmowała wstępne przygotowanie próbek oraz ilościowe oznaczenie chromatograficzne. Pierwszym etapem była ekstrakcja substancji organicznych ze ścieków. Do 500 ml ścieków dodano rozpuszczalniki: metanol, cykloheksan, dichlorometan w stosunku objętościowym 20:5:1. Następnie poddano wytrząsaniu przez 60 minut utrzymując stałą amplitudę. Ekstrakty oddzielono od próbki ścieków a następnie oczyszczano w warunkach próżniowych (SPE) w kolumnkach wypełnionych żelalem krzemionkowym (kondycjonowanie wypełnienia dichlorometan, cykloheksan, v:v = 1:5, 3x3 ml). Otrzymany ekstrakt zatężono do sucha w strumieniu azotu, a następnie dodano 1 ml acetonitrylu. Tak przygotowany ekstrakt poddano oznaczeniu ilościowemu na chromatografie cieczowym firmy Waters model Alliance 2695, wyposażonego w detektor fluorymetryczny Waters 2475, detektor fotodiodowy Waters 2998 oraz w komorę termostatowaną z chłodzeniem i grzaniem. Metoda polegała na oznaczeniu stężenia WWA w ekstraktach poprzez ich rozdział metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej HPLC w układzie faz odwróconych i analizę ilościową za pomocą detektora fluorymetrycznego (DAD). Analizę przeprowadzono na kolumnie Supelcosil LC-PAH 15 cm x 4,6 mm x 5 µm. Czas trwania analizy wynosił 40 minut, z przepływem 1,5 ml/min. Temperatura termostatowania kolumny wynosiła 25°C. Podstawowe parametry przepływu fazy ruchomej przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Przepływ fazy ruchomej podczas analizy HPLC

Tab. 1. The flow of the mobile phase HPLC analysis

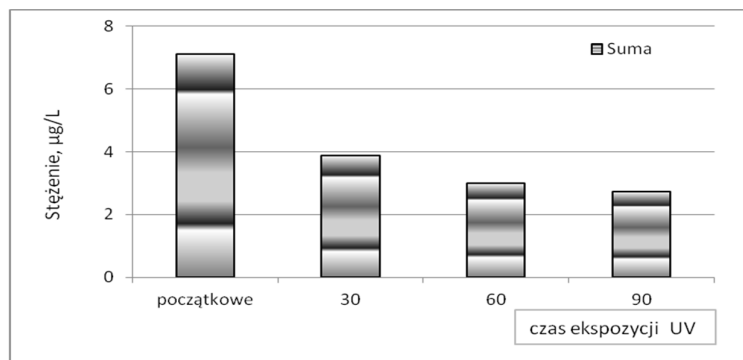
Czas [min]	Przepływ [ml/min]	% A acetonitryl	%B metanol
0	1,5	55	45
5	1,5	55	45
30	1,5	0	100
36,10	1,5	55	45

Oznaczenie ilościowe wykonano przy użyciu mieszaniny wzorcowej 16 WWA o stężeniu 2000 µg/ml. Z roztworu wzorcowego sporządzono pięć roz-

tworów pośrednich o odpowiednich stężeniach: 5 ng/ml, 10 ng/ml, 20 ng/ml, 30 ng/ml, 50 ng/ml każdego z WWA.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Sumaryczne stężenie analizowanych węglowodorów podczas prowadzenia procesu naświetlania przedstawiono na rys. 1. Stężenie fluorantenu, benzo(j)-fluorantenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu w ściekach surowych wynosiło 7,12 µg/l. Podczas procesu fotodegradacji odnotowano obniżenie stężenia badanych związków. Po procesie naświetlania promieniami ultrafioletowymi przez 30 sekund, stopień usunięcia węglowodorów przekroczył 45%, a końcowe stężenie było na poziomie 3,89 µg/l. Wydłużanie czasu ekspozycji UV spowodowało coraz większą, dochodzącą do 61% , redukcję rozpatrywanych związków. Końcowe stężenie sumy czterech węglowodorów było na poziomie 2,72 µg/l.



Rys. 1. Zmiany stężeń sumy 4 WWA w ściekach koksowniczych

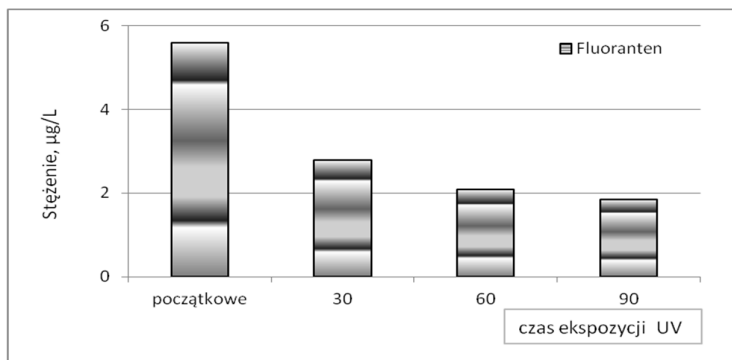
Fig. 1. Changes in the concentrations of total 4 PAHs in wastewater coke

Jednak nie wszystkie węglowodory ulegały destrukcji w jednakowym stopniu. Na rysunku 2 przedstawiono zmiany stężenia fluorantenu w zależności od czasu ekspozycji na promienie ultrafioletowe. Stężenie fluorantenu w ściekach surowych wynosiło 5,59 µg/l, co stanowiło 78% sumy czterech analizowanych WWA. Po naświetlaniu trwającym 30 sekund odnotowano ubytek tego związku o 50%. Wydłużenie czasu ekspozycji UV skutkowało zwiększeniem efektywności fotodegradacji do 63% i 67%.

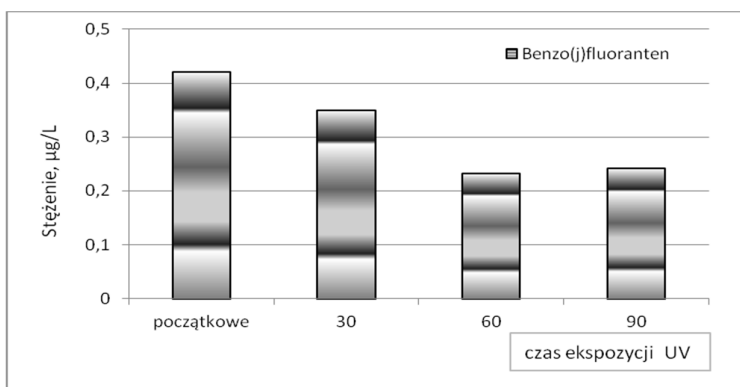
Zawartość benzo(j)fluorantenu w ściekach surowych wynosiła 0,42 µg/l, stanowiąc jedynie 6% sumy czterech WWA (rys. 3). Naświetlanie trwające 30 sekund spowodowało usunięcie związku tylko w 17%. Dwukrotne wydłużenie czasu ekspozycji promieni ultrafioletowych zwiększyło redukcję węglowodoru

do 45%, a końcowe stężenie było na poziomie 0,23 $\mu\text{g/l}$. Wydłużanie czasu promieniowania nie poprawiało skuteczności w usuwaniu tego węglowodoru.

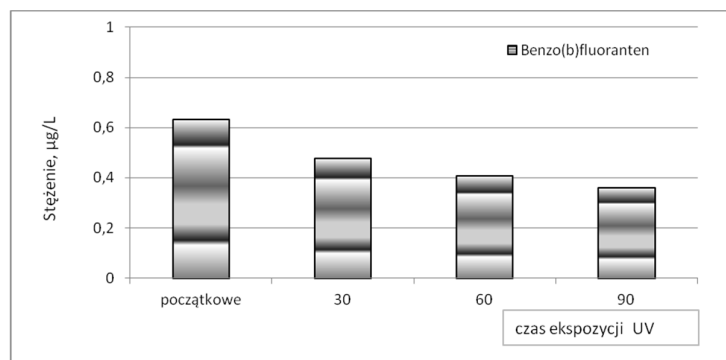
Na rys. 4 przedstawiono zmiany stężenia benzo(b)fluorantenu w ściekach przed i po naświetlaniu. W ściekach surowych stężenie tego związku wynosiło 0,63 $\mu\text{g/l}$. Efektywność fotodegradacji wzrastała wraz z wydłużaniem czasu ekspozycji na promienie UV. Największą skuteczność procesu odnotowano przy czasie naświetlania 90 sekund (43%), a końcowe stężenie wynosiło 0,35 $\mu\text{g/l}$.



Rys. 2. Zmiany stężeń fluorantenu w ściekach koksowniczych
Fig. 2. Changes in the concentrations of fluoranthene in wastewater coke

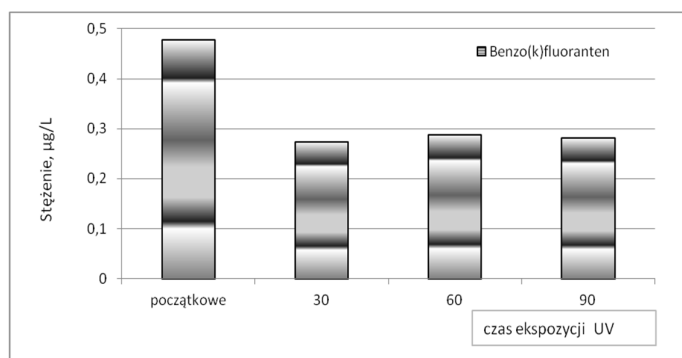


Rys. 3. Zmiany stężeń benzo(j)fluorantenu w ściekach koksowniczych
Fig. 3. Changes in the concentrations of benzo(j)fluoranthene in wastewater coke



Rys. 3. Zmiany stężeń benzo(b)fluorantenu w ściekach koksowniczych
 Fig. 3. Changes in the concentrations of benzo(b)fluoranthene in wastewater coke

Stężenie benzo(k)fluorantenu w ściekach koksowniczych przed procesem fotodegradacji wynosiło 0,48 µg/l, co stanowiło 7% sumy czterech analizowanych WWA. Przy ekspozycji ścieków na promienie ultrafioletowe trwającej 30 sekund usunięto 43% zawartości tego związku. Na tym samym poziomie (41%) była efektywność usunięcia przy ekspozycji trwającej 90 sekund. Stężenie końcowe B(k)F było na poziomie 0,28 µg/l.



Rys. 4. Zmiany stężeń benzo(k)fluorantenu w ściekach koksowniczych
 Fig. 4. Changes in the concentrations of benzo(k)fluoranthene in wastewater coke

W tabeli 2 przedstawiono procent usunięcia poszczególnych związków oraz zawartość procentową w sumarycznej zawartości WWA w zależności od czasu naświetlania

Tab. 2. Zawartość procentowa oraz procent usunięcia WWA

Tab. 2. The percentage and the percentage removal of PAHs

Ekspozycja UV, s		WWA				
		Fl	B(j)F	B(b)F	B(k)F	Σ 4 WWA
0	<i>R</i> ¹	78	6	9	7	
30	<i>R</i>	72	9	12	7	
	<i>U</i> ²	50	17	24	43	45
60	<i>R</i>	69	8	13	10	
	<i>U</i>	63	45	36	40	58
90	<i>R</i>	68	9	13	10	
	<i>U</i>	67	43	43	41	62

¹⁾ R – zawartość procentowa (100% przyjęto Σ 4 WWA (Fl,B(j)F, B(b)F, B(k)F),

²⁾ U – procent usunięcia

Wyniki przedstawione w tabeli 2 wskazują, że zawartość procentowa poszczególnych węglowodorów w sumarycznej ilości WWA nie ulegała znaczącym zmianom podczas procesu technologicznego. Zawartość procentowa fluorantenu w badanych próbkach była największa: od 69 do 78%. Dla benzo(b)fluorantenu i benzo(k)fluorantenu zawartość procentowa była na poziomie od 7 do 13%. Najmniejszy udział w sumie benzofluorantenu (od 6 do 9%) stanowił benzo(j)fluoranten. Największy spadek sumarycznej ilości 4 WWA zaobserwowano przy czasie naświetlania wynoszącym 90 sekund. Przy tym czasie naświetlania, reaktywność chemiczna rozpatrywanych węglowodorów malała w szeregu:

fluoranten > benzo(j)fluoranten = benzo(b)fluoranten > benzo(k)fluoranten. Skuteczność degradacji zależała od czasu ekspozycji jak również budowy strukturalnej rozpatrywanych węglowodorów. Częsteczka fluorantenu zbudowana jest z trzech pierścieni benzenowych i jednego cyklopentenowego.

Pozostałe węglowodory benzo(j)fluoranten, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten zbudowane są z czterech pierścieni benzenowych i jednego cyklopentenowego. Benzofluoranteny różnią się jedynie rozmieszczeniem pierścieni w cząsteczce. Ponadto fluoranten, w porównaniu z pozostałymi analizowanymi związkami, posiada najmniejszą masę molową i dlatego skuteczność fotodegradacji była największa (67%). Reaktywność benzofluorantenu była na podobnym poziomie i tym samym największy stopień usunięcia również był na stałym poziomie (41-45%).

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- Sumaryczne stężenie czterech analizowanych WWA w ściekach koksowniczych wynosiło 7,12 µg/l.
- Efektywność usunięcia poszczególnych węglowodorów ze ścieków w procesie fotodegradacji w przyjętych warunkach badań wynosiła:
 - dla fluorantenu od 50% do 67%,
 - dla benzo(j)fluoranten od 17% do 45%,
 - dla benzo(b)fluoranten od 24% do 43%,
 - dla benzo(k)fluoranten od 40% do 41%.
- Skuteczność usuwania czterech WWA (sumarycznie) była największa i wynosiła 62% przy czasie naświetlania promieniami ultrafioletowymi wynoszącym 90 sekund.
- W najkorzystniejszych warunkach fotodegradacji, reaktywność chemiczna badanych WWA malała zgodnie z szeregiem:
fluoranten > benzo(j)fluoranten = benzo(b)fluoranten > benzo(k)fluoranten.

Badania zrealizowano w ramach BS/MN-402-303/12, BS/MN-402-305/12, BS-PB-402-301/11

LITERATURA

1. NAKAMIYA K., FURUICHI T., ISHII K., SOUDA I., 2004. Degradation of chlorinated dioxin in denitrifying activated sludge from leachate treatment plant of a landfill, *J. Mater. Cycles waste Management*, 6, 35-40.
2. CATALDO F., KEHEYAN Y., 2006. Gamma- radiolysis and ozonolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in solution, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol.267, 3, 679-683.
3. DUGAY A., HERRENKNECHT C., CZOK M., GUYON F., PAGES N., 2002. New procedure for selective extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons in plants for gas chromatographic-mass spectrometric analysis, *Journal of Chromatography A.*, 958, 1-7.
4. JAMROZ T., LEDAKOWICZ S., MILLER J., SENCIO B., 2002. Toksyczność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i produktów ich rozkładu, *Inżynieria i Aparatura chemiczna*, 3s, 45-46.
5. XIA X., LI G., YANG Z., CHEN Y., HUANG G.H., 2009. Effects of fulvic concentration and origin on photodegradation of polycyclic aromatic hydro-

- carbons in aqueous solution: Importance of active oxygen, *Environmental Pollution*, 157, 1352-1359.
6. NIU J., SUN P., SCHRAMM K-W., 2007. Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with fly ash particles under simulated sun-light irradiation, *Journal of Photochemistry und Photobiology A: Chemistry*, 186, 93-98.
 7. ZHANG L., XU CH. CHEN Z., LI X., LI P., 2010. Photodegradation of pyrene on soil surfaces under UV light irradiation, *Journal of Hazardous Materials*, 173, 168-172.

THE EFFECT OF ULTRAVIOLET RADIATION ON CHANGES CONCENTRATION OF BENZO-FLUORANTHENES IN COKING WASTEWATER

S u m m a r y

The aim of the study was to determine the effect of UV exposure time on the change in concentration of PAHs in industrial wastewater. The study was conducted with the use of coking wastewater collected from the out-flow of biological wastewater treatment factory. Ultraviolet irradiation treatment plant was carried out using a variable exposure time: 30, 60 and 90 seconds. Quantification of PAHs was performed by liquid chromatography. Determined fluoranthene, benzo(j)fluoranthene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene. During exposure to ultraviolet light water treatment decreases in concentrations of PAHs. PAH removal efficiency was in the range from 45 to 62% for the total amount of these compounds, while for the individual is in the range from 17 to 67%. Percentage of degradation depended on the exposure time and the connection rings in the hydrocarbon molecule.

Key words: Fl, B(j)F, B(b)F, B(k)F, HPLC, UV irradiation, photodegradation, coking wastewater

MAGDALENA CZARNA*

SKUTECZNOŚĆ ŚRODKÓW CHEMICZNYCH STOSOWANYCH DO LIKWIDACJI ŚLISKOŚCI ZIMOWEJ

Streszczenie

Sposoby zimowego utrzymania dróg, stosowane aktualnie w większości krajów uzależnione są od przyjętych standardów utrzymania dróg. Obserwowany z roku na rok wzrost ilości stosowanych w Europie i na świecie środków chemicznych (przede wszystkim chlorku sodu NaCl), wymusza na służbach drogowych podjęcia odpowiednich działań, zmierzających do ograniczenia ilości stosowanego powszechnie chlorku sodu na korzyść bardziej nowoczesnych środków, które mogą być bardziej skuteczne dla nawierzchni drogowych, a jednocześnie bardziej bezpieczne dla środowiska przyrodniczego. W artykule przedstawiono skuteczność działania tych środków oraz wskazano substancje najbardziej skuteczne.

Słowa kluczowe: zimowe utrzymanie dróg, chlorek sodu, śliskość zimowa

WSTĘP

Najważniejszym zadaniem jednostek zarządzających zimowym utrzymaniem dróg jest zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa dla ich użytkowników. Jest to wielkie wyzwanie, wymagające od służb drogowych znalezienia kompromisu pomiędzy wyborem środka chemicznego, który zapewni przejezdność dróg w każdych warunkach atmosferycznych oraz nie spowoduje pogorszenia stanu środowiska przyrodniczego [Kołodziejczyk 2007, Kołodziejczyk i Ćwiąkała 2009, Findlay i Kelly 2011].

Aktualnie w Europie i na świecie testuje się szereg środków chemicznych, między innymi pod względem: korozyjności wobec betonu [Forman i in. 2003], biodegradacji w środowisku [Jansson 2004, Kołodziejczyk 2008] oraz wzniosu kapilarnego, decydującego o mrozoodporności gruntu wbudowanego w nasypy drogowe [Ćwiąkała, Kołodziejczyk i Rafalski 2012].

* doktorantka; Instytut Inżynieria Środowiska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski

Przykładowo, w Finlandii od 2004 r. The Finnish Road Administration (FINRA) prowadzi badania nad alternatywnymi środkami chemicznymi, które można wykorzystać w zimowym utrzymaniu dróg. Testy dokonane na wybranych odcinkach dróg wskazały, że powszechnie stosowany chlorek sodu można z powodzeniem zastąpić mrówczanem potasu (HCOOK) lub octanem potasu (KAc), które ulegają biodegradacji na nieszkodliwe dla środowiska produkty. Jednak analiza kosztów zakupu tych środków wykazała, że są one około piętnastokrotnie wyższe od kosztów zakupu chlorku sodu – wynoszą około 570 euro za tonę [Jansson 2004]. Należy również wspomnieć, że w Finlandii obowiązuje zakaz stosowania suchej soli do odładzania nawierzchni drogowych. Z uwagi na jej negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze oraz szybkie usuwanie z dróg przez koła samochodów oraz wiatr, dopuszcza się jedynie stosowanie roztworów soli (solanek) lub soli zwilżonej [Komulainen 2011].

W USA na obszarach, na których istnieje możliwość kumulacji zbyt dużej ilości chlorku sodu (np. na lotniskach), z powodzeniem stosuje się octan wapniowo-magnezowy (CMA) w postaci stałej lub 25% roztworu.

W Polsce do usuwania śniegu, gołoledzi oraz lodowicy wykorzystuje się środki chemiczne, które powinny sprawnie oraz szybko topić śnieg oraz lód. Środki, które mogą być używane na drogach publicznych, ulicach i placach oraz warunki ich stosowania, określa rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 października 2005 roku (Dz. U. z 2005 r., Nr 230, poz. 1960). Są to środki:

- niechemiczne:
 - piasek o średnicy cząstek od 0,1 do 1 mm,
 - kruszywo naturalne lub sztuczne o uziarnieniu do 4 mm;
- chemiczne w postaci stałej:
 - chlorek sodu (NaCl),
 - chlorek magnezu (MgCl_2),
 - chlorek wapnia (CaCl_2);
- chemiczne w postaci zwilżonej:
 - chlorek sodu (NaCl),
 - chlorek magnezu (MgCl_2),
 - chlorek wapnia (CaCl_2);
- mieszaniny środków niechemicznych i chemicznych.

METODYKA BADAŃ

Badania doświadczalne nad skutecznością działania różnych środków chemicznych przeprowadzono zimą 2013 r., w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego. W warunkach naturalnych, na wydzielonych powierzchniach badawczych, utworzonych z warstw śniegu o powierzchni $0,5 \text{ m}^2$ każda, przeprowadzono środki chemiczne stosowane w likwidacji ślisko-

ści zimowej (tab. 1) w ilościach: 7,5 g, 10,0 g, 12,5 g oraz 15,0 g. Badania powtórzono trzykrotnie, wykonując kolejno każdy pomiar na nowej kwaterze. Ubytek warstw śniegu sprawdzano po upływie: 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 30 min, 45 min, 60 min oraz 75 min.

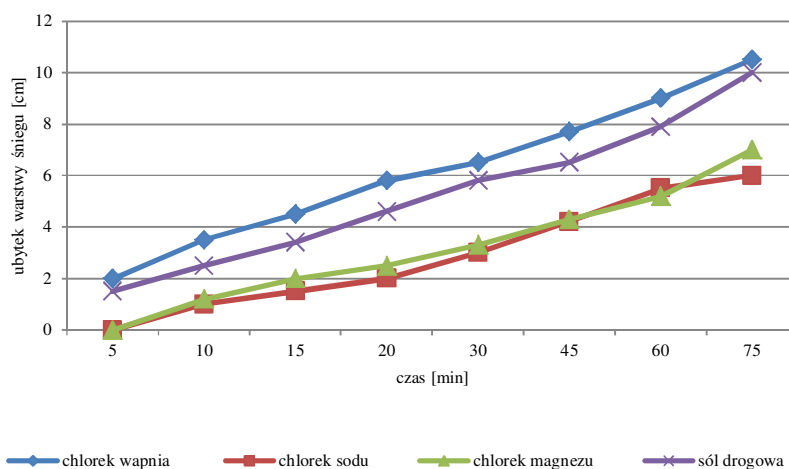
Tab. 1. Zestawienie środków chemicznych użytych do badań [Czarna 2013]

Tab. 1. List of chemicals used to the study [Czarna 2013]

Numer powierzchni badawczej	Środek chemiczny użyty do badań	Stężenie środka chemicznego użytego do badań [%], wzór chemiczny	Ilość środka chemicznego zastosowanego w celu likwidacji śliskości zimowej [g/0,5 m ²]
1	chlorek sodu	100% NaCl	7,5
2			10,0
3			12,5
4			15,0
5	chlorek wapnia	80% CaCl ₂	7,5
6			10,0
7			12,5
8			15,0
9	chlorek magnezu	100% MgCl ₂	7,5
10			10,0
11			12,5
12			15,0
13	mrówczan potasu	100% HCOOK	7,5
14			10,0
15			12,5
16			15,0
17	octan potasu	100% CH ₃ COOK	7,5
18			10,0
19			12,5
20			15,0
21	octan wapniowo-magnezowy	100% CMA	7,5
22			10,0
23			12,5
24			15,0

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

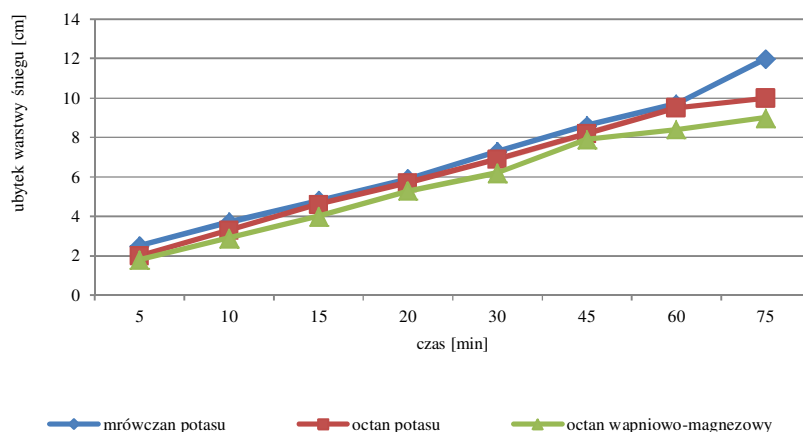
Analiza wyników badań wykazała liniową zależność pomiędzy intensywnością topnienia śniegu i czasem reakcji związku chemicznego (rys. 1). Wysoką skuteczność działania wykazał chlorek wapnia w dawce $15 \text{ g}/0,5 \text{ m}^2$ – po 75 min. zaobserwowano ubytek warstwy śniegu o wysokości 10,5 cm. Najniższą skuteczność działania spośród chlorków wykazał chlorek sodu - ubytek warstwy śniegu o wysokości 6 cm uzyskano po 75 min.



Rys. 1. Wpływ chlorku wapnia, chlorku sodu, chlorku magnezu oraz soli drogowej, w dawce $15 \text{ g}/0,5 \text{ m}^2$, na szybkość topnienia śniegu

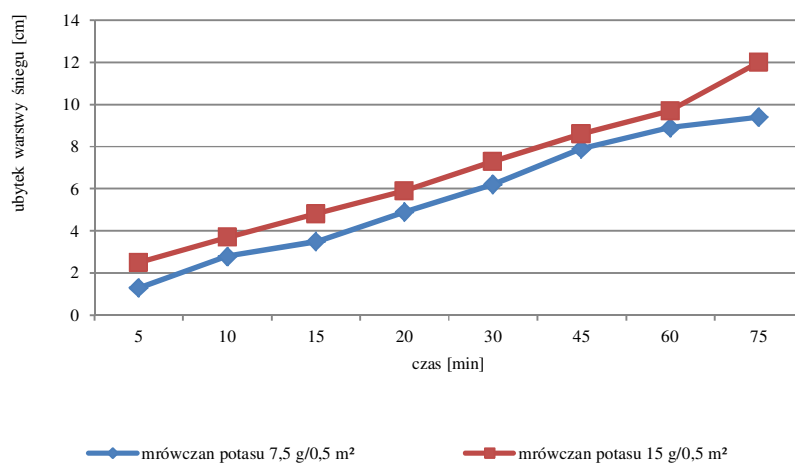
Fig. 1. The influence of calcium chloride, sodium chloride, magnesium chloride and road salt, in dose $15 \text{ g}/0,5 \text{ m}^2$, on speed melting snow

Podczas badań porównano również skuteczność działania alternatywnych środków chemicznych. Przykładowo, analizując działanie mrówczanu potasu, octanu potasu oraz octanu wapniowo-magnezowego (rys. 2) najlepsze rezultaty zaobserwowano przy wykorzystaniu mrówczanu potasu (ubytek śniegu w wysokości 12 cm). Ponadto, zaobserwowano wyższą skuteczność działania alternatywnych środków chemicznych o wyższym stężeniu, zaznaczającą się w postaci większego ubytku warstwy śniegu – zatem dawka reagenta miała wpływ na intensywność procesu topnienia śniegu (rys. 3).



Rys. 2. Wpływ mrówczanu potasu, octanu potasu oraz octanu wapniowo-magnezowego, w dawce 15g/0,5 m², na szybkość topnienia śniegu

Fig. 2. The influence of potassium formate, potassium acetate and calcium-magnesium acetate, in dose 15g/0,5 m², on speed melting snow



Rys. 3. Wpływ mrówczanu potasu w dawce 7,5g/0,5 m² oraz 15g/0,5 m², na szybkość topnienia śniegu

Fig. 3. The influence potassium formate in dose 7,5g/0,5 m² and 15g/0,5 m², on speed melting snow

WNIOSKI

Z analizy wyników badań nad skutecznością działania różnych związków chemicznych stosowanych w zimowym utrzymaniu dróg wynika, że najlepsze rezultaty w zakresie topnienia można osiągnąć stosując mrówczan potasu – w tych warunkach ubytek warstwy śniegu może wynosić nawet 12 cm. Najniższą skuteczność działania wykazał chlorek sodu (6 cm).

LITERATURA

1. ĆWIAKAŁA M.; KOŁODZIEJCZYK U.; RAFALSKI L., 2012. The influence of selected chemical compounds used in Winter Road maintenance on the active capillarity of soils. *Journal of Soils and Sediments*.
2. FINDLAY S.; KELLY V., 2011. Emerging indirect and long-term road salt effects on ecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences* (1223), Issue: The Year in Ecology and Conservation Biology, New York.
3. FORMAN R. i in.: *Road Ecology*, 2003. Science and Solutions. Island Press.
4. JANSSON A., 2004. Testing potassium formate as an alternative deicer in Finland. Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Krzyżowa.
5. KELLY V.R. i in., 2008. Long-Term Sodium Chloride Retention in a Rural Watershed: Legacy Effects of Road Salt on Streamwater Concentration. *Environ. Sci. Technol.*
6. KOŁODZIEJCZYK U., 2007. Wpływ chlorku sodu stosowanego w zimowym utrzymaniu dróg na kapilarność gruntów. *Geologos* Nr 11.
7. KOŁODZIEJCZYK U., 2008. Zimowe utrzymanie dróg a ochrona środowiska. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych – Environmental Protection and Natural Resources* Nr 37.
8. KOŁODZIEJCZYK U.; ĆWIAKAŁA M., 2009. Evaluation of efficiency of use of aggregates and chemical compounds for winter Road maintenance. *Civil and Environmental Engineering Reports* No 3.
9. KOMULAINEN V., 2011. Road maintenance in Finland and Germany. Bachelor's Thesis.

THE EFFECTIVENESS OF CHEMICALS USED IN REMOVING WINTER SLIPPERINESS

S u m m a r y

Methods for winter road maintenance, currently used in most countries are dependent on the accepted standards of road maintenance. Observed year-on-year increase in the amount used in Europe and in the world of chemicals (mainly sodium chloride, NaCl), forces the road to the services to take appropriate steps to limit the amount of sodium chloride, commonly used in favor of more modern means of which may be more effective for pavement, while more safe for the environment. The article presents the effectiveness of these measures and identifies the most effective substances.

Key words: winter road maintenance, sodium chloride, winter slipperiness

TOMASZ TELESZEWSKI***SYMULACJA KONWEKCJI WYMUSZONEJ W PRZEWODACH
PROSTOOSIOWYCH PRZY PRZEPŁYWIE LAMINARNYM
METODĄ ELEMENTÓW BRZEGOWYCH***Streszczenie*

W pracy przedstawiono algorytm symulacji konwekcji wymuszonej MEB przy przepływie laminarnym w przewodach prostoosiowych niezależnie od kształtu poprzecznego przewodu. Weryfikacja algorytmu została wykonana poprzez porównanie rezultatów MEB z rozwiązaniem analitycznym. W publikacji wyznaczono zależność liczby Nusselta od liczby boków w przewodach o przekroju wielokąta foremnego.

Słowa kluczowe: konwekcja wymuszona, przewody prostoosiowe, liczba Nusselta, metoda elementów brzegowych (MEB)

WPROWADZENIE

W licznych zagadnieniach cieplno-przepływowych w inżynierii środowiska wykorzystuje się do obliczeń metody numeryczne, związane z przejmowaniem ciepła przy wymuszonym ruchu płynu w przewodach prostoosiowych [Clark 2000, Kakac i Liu 2002]. Rozwiązania analityczne pól temperatur konwekcji wymuszonej w przewodach prostoliniowych znane są tylko dla najprostszych geometrii [Shah i London 1978, Ray i Misra 2010], natomiast w przypadku skomplikowanych kształtów przekrojów przewodów stosuje się najczęściej metody siatkowe np. metoda różnic skończonych [Sadasivam i in. 1999].

Równania różniczkowe opisujące przepływ płynu newtonowskiego i nieściśliwego wynikają z zasady zachowania masy (1), momentu pędu (2) i energii (3) [Batchelor 2000, White 2005]:

$$\operatorname{div} \bar{v} = 0 \quad (1)$$

* Politechnika Białostocka; Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
Katedra Ciepłownictwa

$$\rho \frac{D\bar{v}}{Dt} = -\nabla \bar{\varphi} + \mu \nabla^2 \bar{v} \quad ; \quad \bar{\varphi} = \nabla p - \rho \bar{g} \quad (2)$$

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = \lambda \nabla^2 T + \mu \tau_{ij} \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \quad (3)$$

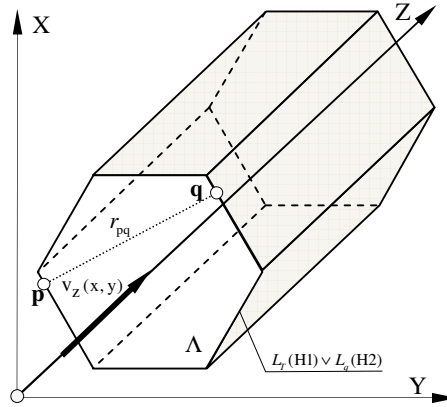
gdzie: v_i oznacza prędkość przepływu, p ciśnienie, g jest to przyspieszenie ziemskie, ρ jest gęstością cieczy, μ jest współczynnikiem lepkości dynamicznej, C_p jest ciepłem właściwym przy stałym ciśnieniu, λ jest współczynnikiem przewodzenia ciepła, τ_{ij} jest lepkiem tensorem naprężeń, natomiast i, j są to indeksy współrzędnych kartezjańskich.

Zakładając w pełni rozwinięty przepływ laminarny, składowe prędkości wzdłuż osi współrzędnych x i y równe są zero. Równanie (3) ulega uproszczeniu przy założeniu stałego wzdłuż osi przewodnictwa, a także pominięciu dyssypacji lepkości. W wyniku czego równania (1-3) przybierają postać (rys.1):

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

$$\mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial p}{\partial z} \quad ; \quad \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

$$\lambda \nabla^2 T = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial z} v_z \quad (6)$$



Rys. 1. Szkic obrazujący zagadnienia brzegowe w przepływach przez kanały prostoliniowe
Fig. 1. Sketch to consideration of boundary conditions for duct flow

Następnie przyjęto dekompozycję prędkości na składową przepływu niezakłóconego v_∞ oraz przepływu wzbudzonego v_w ściankami przewodu, w wyniku czego równanie (5) zostanie zredukowane do równania Laplace'a:

$$\frac{\partial^2 v_w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_w}{\partial y^2} = 0 \quad ; \quad v_w(\mathbf{q}) = -v_\infty \quad ; \quad \mathbf{q} \in L \quad (7)$$

gdzie:

$$v_\infty = \frac{1}{4} \wp(x_q^2 + y_q^2) \quad ; \quad \wp = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dz} < 0 \quad (7a)$$

Ostatecznie prędkość w przekroju kanału wyznacza się z zależności:

$$v_z = v_\infty + v_w \quad (8)$$

Schemat programu obliczeniowego składa się z dwóch części. W pierwszej części rozwiązywane jest równanie (7) i zależność (8), z której wyznacza się pole prędkości v_z w obszarze Λ , jest ono warunkiem dla równania (6). Przykłady zastosowania pierwszej części algorytmu MEB do określania wielkości jednoliczbowych, które opisują izotermiczne przepływy laminarne w przewodach prostoosiowych zostały przedstawione w pracach [Teleszewski i Sorko 2012, Teleszewski 2012]. W drugiej części programu z równania (6) wyznaczane jest pole temperatury na podstawie której wyznaczana jest liczba Nusselta Nu. W pracy przyjęto dwa warunki na obwodzie przewodu: warunek Dirichleta w postaci zadanej temperatury na konturze przekroju przewodu, oznaczony jako H1 i warunek Neumanna, czyli zadany stały strumień, oznaczony jako H2.

W celu wyznaczenia pól temperatur konwekcji wymuszonej w przepływie laminarnym przez przewody prostoosiowe napisano autorski program obliczeniowy FORCED_CONVECTIONinDUCT w języku Fortran.

BRZEGOWE RÓWNANIA CAŁKOWE OPISUJĄCE KONWEKCJE WYMUSZONĄ W PRZEPŁYWIE LAMINARNYM PRZEZ PRZEWODY PROSTOOSIOWE

Rozwiązaniem równania różniczkowego (7) przy założeniu podziału brzegu L zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara jest następujące równanie całkowe [Brebba i in. 1984, Pozrikidis 1992, Teleszewski i Sorko 2011]:

$$\frac{1}{2} v_w(\mathbf{p}) + \int_{(L)} g_w(\mathbf{q}) K(\mathbf{p}, \mathbf{q}) dL_q = \int_{(L)} v_w(\mathbf{q}) E(\mathbf{p}, \mathbf{q}) dL_q \quad (9)$$

gdzie:

$$K(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{1}{r_{pq}} \right) \quad ; \quad r_{pq} = |\mathbf{p} - \mathbf{q}| \quad ; \quad (\mathbf{p}) \in L, (\mathbf{q}) \in L \quad (9a)$$

$$E(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{1}{2\pi} \frac{(x_p - x_q)n_x + (y_p - y_q)n_y}{r_{pq}^2} ; \quad (\mathbf{p}) \in L, (\mathbf{q}) \in L$$

$$\left[n_x, n_y \right] = \left[\frac{\delta y_q}{\delta L_q}, -\frac{\delta x_q}{\delta L_q} \right] \quad (9b)$$

gdzie: n_x oraz n_y są to wersory normalnej do brzegu (L).

Po wyznaczeniu gęstości $g_w(\mathbf{q})$ na linii brzegowej (L), prędkość v_z w dowolnym punkcie obszaru (Λ) wyznacza się z zależności:

$$v_z(\mathbf{p}) = - \int_{(L)} g_w(\mathbf{q}) K(\mathbf{p}, \mathbf{q}) dL_q + \int_{(L)} v_w(\mathbf{q}) E(\mathbf{p}, \mathbf{q}) dL_q + v_\infty(\mathbf{p}) \quad (10)$$

$$(\mathbf{p}) \in \Lambda ; (\mathbf{q}) \in L$$

Zagadnienie brzegowe dla równania różniczkowego (6) formułuje się w postaci złożonego warunku brzegowego Dirichleta i Neumanna zakładającego znane wartości temperatury $\tilde{T}(\mathbf{q})$ (H1) na części brzegu L_T ($\mathbf{q} \in L_T$) i znane wartości strumienia ciepła $\tilde{q}(\mathbf{q})$ (H2) na części brzegu L_q ($\mathbf{q} \in L_q$) (rys. 1). Wyznaczone pole $v_z(\mathbf{p})$ w obszarze (Λ) uwzględnia się w równaniu (6), którego rozwiązaniem jest następujące równanie całkowe:

$$-\chi(\mathbf{p})T(\mathbf{p}) + \int_{(L_q)} q(\mathbf{q})\mathbf{K}(\mathbf{p}, \mathbf{q})dL_q + \int_{(L_T)} T(\mathbf{q})\mathbf{E}(\mathbf{p}, \mathbf{q})dL_T =$$

$$= - \int_{(L_T)} \tilde{q}(\mathbf{q})\mathbf{K}(\mathbf{p}, \mathbf{q})dL_T - \int_{(L_q)} \tilde{T}(\mathbf{q})\mathbf{E}(\mathbf{p}, \mathbf{q})dL_q + \rho c_p \iint_{\Lambda} v_z(\mathbf{w}) \frac{\partial T}{\partial z} \mathbf{K}(\mathbf{w}, \mathbf{q}) \quad (11)$$

$$(\mathbf{p}), (\mathbf{q}) \in L ; (\mathbf{w}) \in \Lambda$$

gdzie dla brzegu gładkiego $\chi(\mathbf{p})=1/2$ oraz:

$$\mathbf{K}(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \left(\frac{1}{r_{pq}} \right) ; \quad r_{pq} = \sqrt{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2} , \quad (11a)$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{1}{2\pi} \frac{(x_p - x_q)n_x + (y_p - y_q)n_y}{r_{pq}^2} , \quad (11b)$$

$$\mathbf{K}(\mathbf{w}, \mathbf{q}) = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \left(\frac{1}{r_{wq}} \right) ; \quad r_{wq} = \sqrt{(x_w - x_q)^2 + (y_w - y_q)^2} . \quad (11c)$$

Po wyznaczeniu $T(\mathbf{p})$ oraz $q(\mathbf{p})$ temperaturę w dowolnym punkcie ($\mathbf{p} \in \Lambda$) rozpatrywanego obszaru (Λ) wyznacza się ze związku całkowego:

$$T(\mathbf{p}) = \int_{(L)} T(\mathbf{q}) \mathbf{E}(\mathbf{p}, \mathbf{q}) dL_q + \int_{(L)} q(\mathbf{q}) \mathbf{K}(\mathbf{p}, \mathbf{q}) dL_q - \rho c_p \iint_{\Lambda} v_z(\mathbf{p}) \frac{\partial T}{\partial z} \mathbf{K}(\mathbf{p}, \mathbf{q}) d\Lambda, \quad (12)$$

$$(\mathbf{q}) \in L; (\mathbf{p}) \in \Lambda$$

WERYFIKACJA METODY MEB

W celu określenia błędu metody MEB porównano rezultaty obliczeń numerycznych z rozwiązaniem analitycznym. Rozwiązanie teoretyczne pola temperatury w przewodzie okrągłym przy założeniu stałego osiowego strumienia ciepła i stałej temperatury obwodowej, opisane jest następującym wzorem [White 2005]:

$$T_{TEO}(r) = T_s - \frac{\rho C_p v_{sr} R^2}{8\lambda} \frac{\partial T_s}{\partial x} \left(3 - \frac{4r^2}{R^2} + \frac{r^4}{R^4} \right) \quad (13)$$

$$v_{sr} = \frac{R^2}{8\mu} \frac{dp}{dz} ; \quad Re = \frac{v_{sr} 2R}{\nu}$$

gdzie: v_{sr} jest to prędkość średnia w przewodzie kołowym, natomiast $R=0,01$ [m] oznacza promień przewodu, ν jest współczynnikiem lepkości kinematycznej, Re to liczba Reynoldsa, $T_s=20,0^\circ\text{C}$ jest zadaną temperaturą ścianki przewodu, $\partial T_s / \partial x = 1,0$ jest stałym osiowym gradientem temperatury.

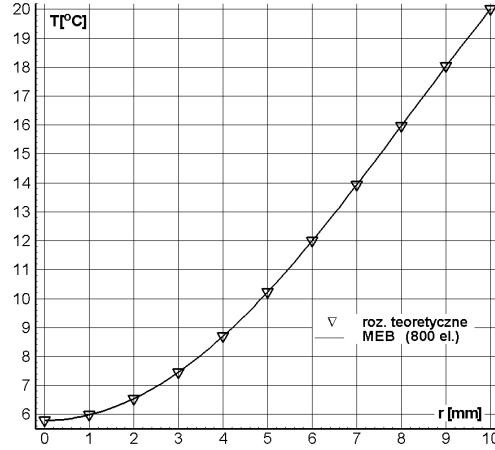
Do obliczeń przyjęto przepływ glikolu etylenowego o parametrach: $\rho = 1115,6 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 0,000019 \text{ m}^2/\text{s}$, $C_p = 2403,0 \text{ J/(kgK)}$, $\lambda = 0,2705 \text{ W/(mK)}$ Względne błędy obliczeń MEB poszczególnych temperatur wyznaczono według formuły:

$$\delta T_{MEB} = \left| \frac{T_{TEO} - T_{MEB}}{T_{TEO}} \right| \cdot 100\% \quad (14)$$

gdzie: T_{TEO} jest to rozwiązanie teoretyczne (13), natomiast T_{MEB} jest rozwiązaniem metody elementów brzegowych.

Maksymalny błąd metody elementów brzegowych nie przekracza wartości 0,05% w przypadku brzegu L składającego się z 400 elementów i 0,025% w przypadku brzegu zbudowanego z 800 elementów. Na rysunku 2 przedstawiono

graficzne porównanie rezultatów numerycznych MEB z rozwiązaniem teoretycznym (13).



Rys. 2. Porównanie rezultatów obliczeń MEB z rozwiązaniem teoretycznym (13)

Fig. 2. Compare BEM results with theoretical solution (13)

PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

Poniżej przedstawiono przykład obliczeniowy wykorzystania metody elementów brzegowych do wyznaczenia zależności liczby Nusselta Nu w funkcji liczby boków n przekroju poprzecznego przewodów w kształcie wielokątów foremnych. Liczba Nusselta została wyznaczona z następującego wzoru:

$$Nu = \frac{q_w D_h}{\lambda (T_s - T_m)} \quad (15)$$

$$D_h = \frac{4\Lambda}{L} \quad ; \quad T_m = \frac{1}{\Lambda v_{sr}} \int_{\Lambda} v T d\Lambda \quad ; \quad v_{sr} = \frac{1}{\Lambda} \int_{\Lambda} v d\Lambda \quad (15a)$$

gdzie: D_h jest średnicą hydrauliczną, natomiast T_m jest średnią temperaturą masową płynu.

W pracy wykonano szereg symulacji dla przekrojów poprzecznych przewodów o kształcie wielokąta foremnego w zakresie liczby boków n od 3 do 30 oraz o kształcie okręgu. Po określeniu liczb Nusselta dla każdego kształtu przekroju przewodu, stosując aproksymację wyników Nu dla warunku H1 i H2 otrzymano następujące wzory opisujące zależność liczby Nusselta od liczby boków n przekroju poprzecznego przewodu o przekroju wielokąta foremnego:

$$Nu_{H1[MEB]} = 4.364 - \frac{0.008}{n} - \frac{14.525}{n^2} + \frac{9.819}{n^3} \quad (16)$$

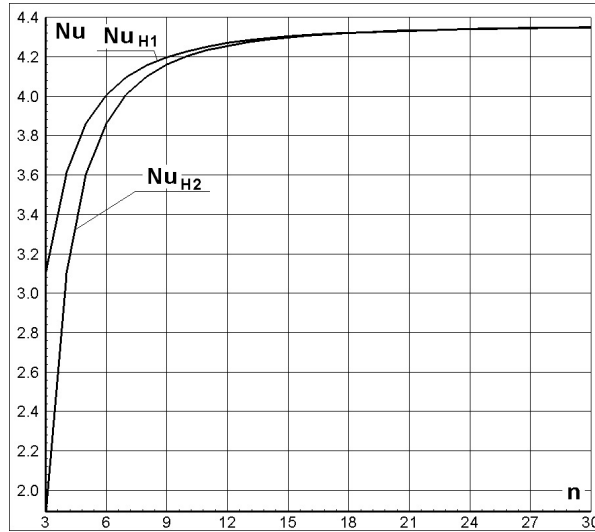
oraz

$$Nu_{H2[MEB]} = 4.364 + \frac{0.159}{n} - \frac{18.115}{n^2} + \frac{18.877}{n^3} - \frac{192.554}{n^4} + \frac{283.3}{n^5} \quad (17)$$

Rezultaty obliczeń MEB zostały porównane ze znanymi rezultatami obliczeń pracy [Cheng 1966, 1969] w tabeli 1. Błędy $\delta Nu_{H1[MEB]}$ i $\delta Nu_{H2[MEB]}$ zostały wyznaczone ze wzoru:

$$\delta Nu_{Hi[MEB]} = \left| \frac{Nu_{Hi[Cheng]} - Nu_{Hi[MEB]}}{Nu_{Hi[Cheng]}} \right| \cdot 100\% \quad ; \quad i = 1, 2 \quad (18)$$

Na rysunku 3 wykreślono zależności liczby Nu w funkcji liczby boków wielokąta foremnego przekroju kanału dla warunku H1 i H2.



Rys. 3. Wartości liczb Nusselta Nu_{H1} i Nu_{H2} w funkcji liczby ścianek przewodu o przekroju wielokąta foremnego w laminarnym przepływie przez przewód, rozwiązanie (16-17)

Fig. 3. Regular (n -sided) polygonal ducts: Nu_{H1} and Nu_{H2} , solutions (16-17) for fully developed laminar flow

Tab. 1. Porównanie wyznaczonej zależności liczby Nusselta Nu_{H1} (16) i Nu_{H2} (17) w funkcji liczby ścian wielokąta foremego tworzącego przekrój przewodu prostoosiowego ze znanym rozwiązaniem [Cheng 1966, 1969]

Tab. 1. Compare Nusselt Nu_{H1} (16) i Nu_{H2} (17) results with Cheng solutions [Cheng 1966, 1969]

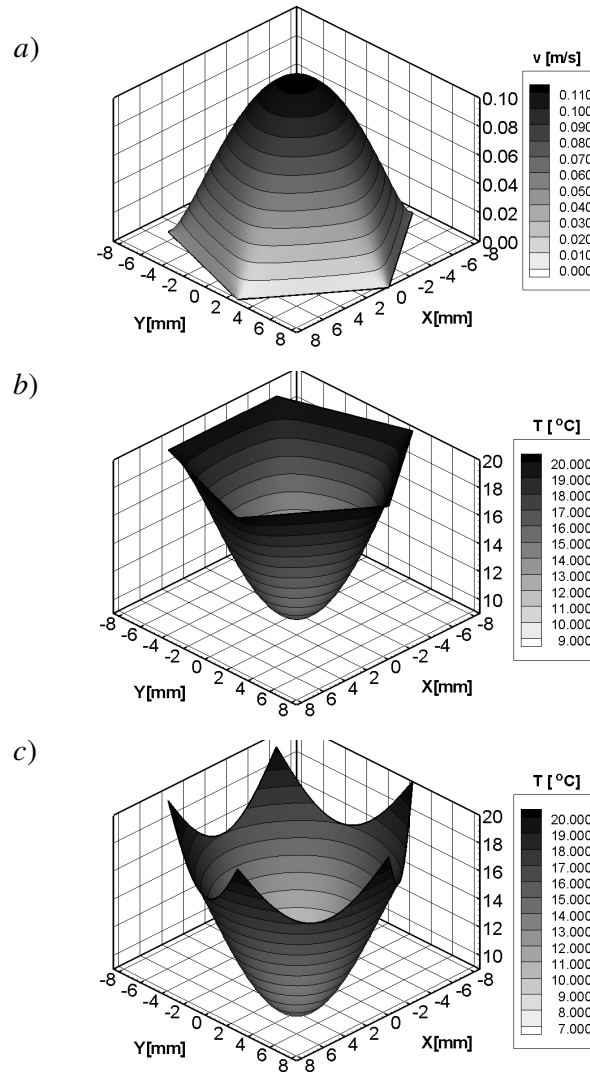
n	Nu_{H1} [Cheng]	Nu_{H1} [MEB]	δNu_{H1} [MEB]	Nu_{H2} [Cheng]	Nu_{H2} [MEB]	δNu_{H2} [MEB]
-	-	-	%	-	-	%
3	3,111	3,111	0,000	1,892	1,892	0,000
4	3,608	3,608	0,000	3,091	3,091	0,000
5	3,859	3,860	0,026	3,605	3,605	0,000
6	4,002	4,005	0,075	3,862	3,863	0,026
7	4,102	4,095	0,171	4,009	4,009	0,000
8	4,153	4,155	0,048	4,100	4,099	0,024
9	4,196	4,197	0,024	4,159	4,159	0,000
10	4,227	4,228	0,024	4,201	4,201	0,000
11	-	4,251	-	-	4,232	-
12	-	4,268	-	-	4,254	-
13	-	4,282	-	-	4,272	-
14	-	4,293	-	-	4,285	-
15	-	4,302	-	-	4,296	-
20	4,329	4,329	0,000	4,328	4,328	0,000
25	-	4,341	-	-	4,342	-
30	-	4,348	-	-	4,350	-
10^{50}	4,364	4,364	0,000	4,364	4,364	0,000

Wzory (16) i (17) mogą być użyte w aplikacjach do prognozowania liczby Nussleta w kanałach o przekroju wielokąta foremego z maksymalnym błędem 0,20% dla Nu_{H1} i 0,03% dla Nu_{H2} .

Poniżej przedstawiono graficzne rezultaty obliczeń MEB dla przewodu pięciokątnego przez który przepływa glikol etylenowy o parametrach

$\rho = 1115,6 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 0,000019 \text{ m}^2/\text{s}$, $C_p = 2403,0 \text{ J/(kgK)}$, $\lambda = 0,2705 \text{ W/(mK)}$. Obliczenia wykonano dla warunku H1, w którym założono temperaturę na ścianie kanału $T_s = 20^\circ\text{C}$ oraz dla warunku H2 przy założeniu stałej gęstości strumienia ciepła $q_w = 512.535 \text{ W/m}^2$. Symulacje przeprowadzono dla liczby $Re = 40$.

Na rysunku 4a przedstawiono pole prędkości w kanale pięciokątnym. Rysunek 4b przedstawia pole temperatury dla przyjętego warunku H1, natomiast rysunek 4c pole temperatury dla warunku H2.



Rys. 4. Przepływ przewodzie pięciokątnym (glikol etylenowy, $Re=40$) – rezultaty obliczeń MEB: a) pole prędkości, b) pole temperatury (warunek H1, $Nu_{H1}=3,860$), c) pole temperatury (warunek H2, $Nu_{H2}=3,605$)

Fig. 4. Flow in pentagon duct (ethylene glycol, $Re=40$) - BEM solution:
a) velocity field, b) temperature field (H1 condition's, $Nu_{H1}=3,860$), c) temperature field (H2 condition's, $Nu_{H2}=3,605$)

Wnioski

Przedstawiony w pracy algorytm metody elementów brzegowych stanowi efektywne narzędzie do badań konwekcji wymuszonej płynu w przewodach prostoosiowych niezależnie od kształtu przekroju przewodu. Główną zaletą prezentowanej metody jest eliminacja pracochłonnych przestrzennych siatek stosowanych w klasycznych siatkowych metodach numerycznych. Prezentowana metoda MEB charakteryzuje się dużą dokładnością.

W publikacji przedstawiono praktyczny przykład zastosowania metody do określenia zależności liczby Nussleta dla dwóch warunków H1 i H2 od liczby ścian tworzących przewód prostoosiowy o przekroju wielokąta foremnego.

Prezentowana metoda może być również stosowana w przepływach w mikrokanałach, tam gdzie przepływy te są zgodne z makroprzepływami.

Opracowanie zrealizowano w ramach pracy statutowej
nr S/WBiŚ/4/2014 Katedry Ciepłownictwa Politechniki Białostockiej

LITERATURA

1. CLARK M. M.; 2000. Transport Modeling for Environmental Engineers and Scientists Second Edition. John Wiley&Sons.
2. KAKAC S., LIU H.; 2002. Heat exchangers selection, rating, and thermal design, Second Edition, CRC Press 2002.
3. SHAH R.K., LONDON A.L.; 1978. Laminar Flow Forced Convection in Ducts A Source Book for Compact Heat Exchanger Analytical Data. Academic Press
4. RAY S., MISRA D.; 2010. Laminar fully developed flow through square and equilateral triangular ducts with rounded corners subjected to H1 and H2 boundary conditions. International Journal of Thermal Sciences 49, 1763-1775
5. SADASIVAM R., MANGLIK R.M, JOG M. A.; 1999. Fully developed forced convection through trapezoidal and hexagonal ducts. International Journal of Heat and Mass Transfer 42, 4321-4331
6. BATCHELOR G.K.; 2000. An introduction to fluid dynamics. Cambridge University Press
7. WHITE F.; 2005. Viscous Fluid Flow. McGraw-Hill Mechanical Eng.
8. TELESZEWSKI T.J., SORKO S.A.; 2012. Wyznaczanie współczynnika Boussinesqa w przepływie laminarnym w prostoosiowych przewodach o dowolnym kształcie przekroju poprzecznego metodą elementów brzegowych. Symulacja w Badaniach i Rozwoju, Vol. 3, No. 2, 115-128

9. TELESZEWSKI T.J.; 2012. Algorytm wyznaczania współczynnika Coriolisa przepływów laminarnych w kanałach prostokątnych metodą elementów brzegowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 283 Budownictwo i Inżynieria Środowiska z. 59, Nr 4, 131-141
10. BREBBIA C.A., TELLES J.F.C., WROBEL L.C.; 1984. Boundary element Techniques Theory and Applications in Engineering. Springer-Verlag. NY.
11. POZRIKIDIS C.; 1992. Boundary Integral and Singularity Methods for Linearized Viscous Flow. Cambridge University Press
12. TELESZEWSKI T.J., SORKO S.A.; 2011. Zastosowanie metody elementów brzegowych do wyznaczania jednokierunkowego przepływu w przewodach prostoosiowych o dowolnym kształcie przekroju poprzecznego. Acta Mechanica et Automatica Vol.5, Nr 3, 124-132
13. CHENG K.C.; 1966. Laminar flow and heat transfer characteristics in regular polygonal ducts. Proc. Int. Heat Transfer Conf., 3rd, AIChE, New York, 64-76
14. CHENG K.C.; 1969. Laminar forced convection in regular polygonal ducts with uniform peripheral heat flux. J. Heat Transfer 91, 156-157

BOUNDARY ELEMENTS METHOD SIMULATION OF LAMINAR FLOW FORCED CONVECTION IN DUCT

S u m m a r y

The paper presents the numerical algorithm Boundary Element Method to simulation modelling forced convection in a duct. The efficiency and the credibility of proposed algorithm were verified by numerical tests in theoretical solution. A numerical examples are presented fully developed forced convection through pentagon duct. In this study is proposed for determining the Nusselt number in regular polygonal channels.

Key words: forced convection, flow in ducts, Nusselt number, boundary element method (BEM)



**UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I ŚRODOWISKA
INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

ZAPRASZA DO PODJĘCIA STUDIÓW

**NA KIERUNKACH INŻYNIERIA ŚRODOWISKA
ORAZ ARCHITEKTURA KRAJOBRAZU**

Studia pierwszego stopnia **inżynierskie** odbywają się w formie studiów stacjonarnych i niestacjonarnych (3,5-letnie).

Studia drugiego stopnia **magisterskie** odbywają się w formie studiów stacjonarnych i niestacjonarnych (1,5-roczone).

Studia trzeciego stopnia **doktoranckie** (dotyczy kierunku inżynieria środowiska) odbywają się w formie studiów stacjonarnych (4-letnie).

Informacje o kierunku i specjalnościach znajdziecie Państwo na stronie:
http://www.wils.uz.zgora.pl/oferta_dydaktyczna

Dziekanat WILiŚ (pok. 101 i 102, bud. A-8) czynny: wtorek, środa, czwartek, piątek - w godzinach 10-13, sobota (w czasie zjazdów WILiŚ): w godzinach 8-12, nieczynny – poniedziałek.

Informacje na temat rekrutacji: <http://rekrutacja.uz.zgora.pl>

Strona internetowa Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska:

<http://www.wils.uz.zgora.pl>

Strona internetowa Instytutu Inżynierii Środowiska:

<http://www.iis.uz.zgora.pl>



**UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

**ZAPRASZA
DO WSPÓŁPRACY**

Oferujemy wykonanie:

- ocen oddziaływania na środowisko i raportów środowiskowych, do dokumentacji budowlanej i opracowań planistycznych;
- opracowań ekofizjograficznych;
- projektów koncepcyjnych i wykonawczych rekultywacji terenów zdegradowanych;
- dokumentacji geologiczno-inżynierskich;
- operatów wodno-prawnych;
- badań właściwości wód powierzchniowych i podziemnych, w tym przeznaczonych do spożycia;
- badań ścieków komunalnych i przemysłowych, osadów ściekowych i odpadów;
- badań gleb i gruntów wraz z podaniem zaleceń uprawowych i rekultywacyjnych;
- projektów zagospodarowania terenów o różnej funkcjonalności.