UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Seria: Inżynieria Środowiska - nr 38

zeszyty naukowe

158

Uniwersytet Zielonogórski • Zielona Góra 2015

ZESZYTY NAUKOWE
UNIWERSYTETU ZIELONOGÓRSKIEGO
NR 158

INŻYNIERIA ŚRODOWISKA – 38

ZIELONA GÓRA • 2015

REDAKCJA ZESZYTU NAUKOWEGO:
dr hab. inż. Andrzej Greinert, prof. UZ (*Redaktor Naczelny*)
Redaktorzy tematyczni:
prof. dr hab. inż. Andrzej Jędrczak, prof. dr hab. inż. Tadeusz Kuczyński, prof. dr hab. inż. Zofia Sadecka, dr hab. Michał Drab, prof. UZ, dr hab. Urszula Kołodziejczyk, prof. UZ, dr hab. Zygmunt Lipnicki, prof. UZ, dr hab. Marlena Piontek, prof. UZ, dr hab. inż. Nguyen Thi Bich Loc, prof. UZ
Sekretarz:
dr inż. Magda Hudak, dr inż. Oryna Słobodzian-Ksenicz, dr inż. Ewelina Płuciennik-Koropczuk

RADA WYDAWNICZA:
Andrzej Pieczyński (Przewodniczący),
Ryszard Błażyński (Sekretarz)
Członkowie: Marian Adamski, Rafał Ciesielski, Michał Drab, Beata Gabryś, Bohdan Halczak, Van Cao Long, Marian Nowak, Anna Walicka, Krzysztof Witkowski, Zdzisław Wołk

Wydano za zgodą J.M. Rektora Uniwersytetu Zielonogórskiego

ISSN 1895-7323

Wydanie Zeszytu współfinansowane przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Zielonej Górze

Copyright © by IIŚ WILiŚ UZ, Zielona Góra 2015

SPIS TREŚCI

Zdzisław Adamczyk, Ewa Makosz – Parametry teksturalne analcymu powstałego przy użyciu 1M roztworu NaOH 5

Zdzisław Adamczyk, Katarzyna Nowińska – Pierwiastki towarzyszące w fazach szlamów powstających w procesie szybowym pirometalurgicznego otrzymywania cynku i ołowiu 13

Jarosław Kamyk, Alicja Kot-Niewiadomska – Kształtowanie brył krajobrazowych jako kierunek odzysku odpadów wydobywczych w górnictwie węgla kamiennego 23

Krystian Malek, Karolina Skoczkowska, Roman Ulbrich – Proces segregacji w aparatach bębnowych 32

Justyna Chudecka, Tomasz Tomaszewicz – przydatność erodowanych gleb porolnych Jako siedliska leśnego w oparciu o indeks trofizmu gleb leśnych (ITGL) 40

Monika Domanowska, Jakub Kostecki – Ogrody deszczowe w miastach jako jedno z narzędzi wdrażania usług ekosystemów 50

Ewa Makosz – Zastosowanie syntetycznego analcymu do usuwania metali ciężkich z roztworów wodnych 59

Jędrzej Daszkiewicz, Piotr Goliński – Ocena aktywności żerowej *Cervus elaphus* na zrewitalizowanych łąkach śródleśnych na podstawie analizy intensywności zgryzania runi 66

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 158

Nr 38 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2015**

ZDZISŁAW ADAMCZYK, EWA MAKOSZ*

PARAMETRY TEKSTURALNE ANALCYMU POWSTAŁEGO PRZY UŻYCIU 1M ROZTWORU NAOH

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

W pracy przedstawiono parametry teksturalne materiału zeolitowego, powstałego w wyniku hydrotermalnej syntezy popiołu lotnego. Do zeolityzacji wykorzystano popiół lotny w ilości 200 g, zawierający kwarc, mullit, składniki nieprzezroczyste, szkliwo oraz w podrzędnej ilości hematyt i nieprzepaloną substancję organiczną, a proces syntezy prowadzono przy użyciu 1M roztworu NaOH. W produktach po syntezie zidentyfikowano analcym, jako dominujący zeolit, z domieszką innego zeolitu - kankrynitu. Parametry teksturalne otrzymanego materiału zeolitowego wskazują, że jest to materiał mezoporowaty. Porównanie parametrów teksturalnych otrzymanego materiału zeolitowego zbudowanego z analcymu z domieszkami kankrynitu z innym materiałem zeolitowym otrzymanym w wyniku podobnej syntezy, gdzie obecny był tylko jeden zeolit – analcym wskazuje, że obecność kankrynitu wpływa na te parametry, jednakże nie zmienia to typu adsorbentu ze względu na wielkość porów.

Słowa kluczowe: analcym, parametry teksturale, popiół lotny, synteza

WPROWADZENIE

Analcym – minerał z gromady krzemianów, zaliczany do grupy zeolitów (oraz ze względu na wiele cech wspólnych także do grupy skaleniowców). Minerał ten występuje w postaci naturalnej, ale otrzymywany jest również w procesach syntezy materiałów zeolitowych, tworzonych na bazie popiołów lotnych [Adamczyk i in. 2007; Adamczyk i in. 2005; Adamczyk i in. 2003; Derkowski 2002].

Zastosowanie zeolitów, zarówno naturalnych, jak i syntetycznych, w różnych gałęziach gospodarki determinowane jest, przede wszystkim, ich zdolnościami sorpcyjnymi i możliwością wymiany jonowej. Właściwości te uzależnione są w głównej mierze od właściwości teksturalnych. Ważnymi parametra-

* Politechnika Śląska, Gliwice

mi teksturalnymi, decydującymi o możliwościach racjonalnego kierunku zastosowania materiału zeolitowego, są m. in.: powierzchnia właściwa porów, całkowita objętość porów, średnica porów i in. [Adamczyk i Białecka 2005; Franus i Wdowin 2011; Haidouti 1997; Panayotowa 2003; Querol i in. 1997; Querol i in. 2007; Sztekler i in. 2009; Ściubidło i in. 2009; Żygadło i in. 2010].

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań parametrów teksturalnych syntetycznego materiału zeolitowego, w tym powierzchni właściwej porów, całkowitej objętość porów, powierzchni mikroporów, średniej średnicy porów oraz średnicy dominującej porów.

METODYKA BADAŃ

Do hydrotermalnej syntezy materiału zeolitowego zastosowano próbkę popiołu lotnego (próbka 13), szczegółowo opisanego w innej pracy [Adamczyk i Makosz 2014]. W popiele surowym (przed syntezą) zidentyfikowano następujące składniki mineralne: mullit, kwarc, hematyt, szkliwo, substancja organiczna [Adamczyk i Makosz 2014].

Proces syntezy był prowadzony w warunkach, które wynikały z doświadczeń Autorów, i zostały określone we wcześniejszych eksperymentach – czas, temperatura, ilość roztworu NaOH, ciśnienie. Zastosowano roztwór aktywujący NaOH o stężeniu 1M oraz 200 g masę popiołu lotnego (próbka 13).

Do obserwacji mikroskopowych w świetle przechodzącym zastosowano mikroskop AXIOSKOP firmy Zeiss. Identyfikację faz przeprowadzono przy zastosowaniu dyfraktometru rentgenowskiego HZG-4 z interfejsem cyfrowego zbierania danych, przy wykorzystaniu lampy $Cu_{k\alpha 1}$ w następujących warunkach: napięcie 35 kV, natężenie 20 mA.

Dla materiału zeolitowego otrzymanego w procesie syntezy oznaczono parametry tekstualne takie jak: powierzchnia właściwa porów, całkowita objętość porów, powierzchnia mikroporów, średnia średnica porów, średnica dominująca porów. Parametry te oznaczono po wcześniejszym odgazowaniu próbki w warunkach ściśle kontrolowanej temperatury (250°C przez okres 24h) i obniżonego ciśnienia (10-3 hPa).

Wielkości i rozkład porów oznaczono na podstawie przebiegu izotermy adsorpcji/desorpcji par azotu w temperaturze -194,85°C.

Powierzchnię właściwą oznaczono w oparciu o teorię wielowarstwowej adsorpcji Braunauera-Emmetta-Tellera, tzw. BET (S_{BET}) przy p/p_0 pomiędzy 0,06 i 0,3 (p, p_0 – ciśnienie równowagowe i ciśnienie pary nasyconej azotu).

Objętość porów V_p została określona na podstawie objętości zaadsorbowanego azotu przy ciśnieniu $p/p_0 = 0,98$.

Powierzchnia mikroporów (S_{mes}) i średnice porów D_p obliczono ze wzoru $D_p = 4V_p/S_{BET}$.

Rozkład objętości porów Rp wyliczono, korzystając z ogólnego równania izotermy opartego na połączeniu zmodyfikowanego równania Kalvina i statystycznej grubości adsorbowanego filmu.

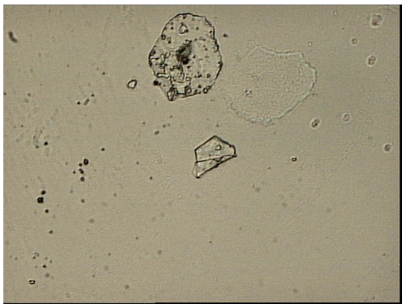
Badania tekstury popiołu i materiału zeolitowego przeprowadzono przy użyciu sorptomatu ASAP 2020 firmy Micromeritics.

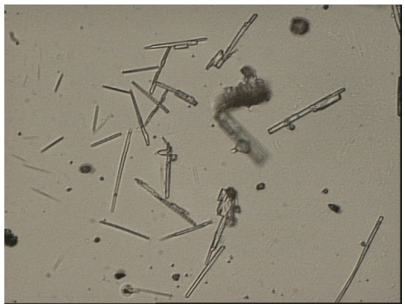
W celach porównawczych takie same badania parametrów teksturalnych przeprowadzono na monomineralnym materiale zeolitowym (analcym) otrzymanym w identycznych warunkach dla 100 g masy popiołu lotnego [Adamczyk i Makosz 2014].

WYNIKI BADAŃ

Skład mineralny materiału zeolitowego

W obrazie mikroskopowym identyfikacja składników mineralnych produktów po syntezie jest trudna, z uwagi na niewielkie rozmiary ziarn mineralnych. Ziarna tworzą zwykle agregaty, w których najczęściej nawet morfologia poszczególnych składników mineralnych jest trudna do ustalenia. Tylko sporadycznie niektóre z kryształów posiadały rozmiary umożliwiające określenie ich morfologii i cech optycznych. Kryształy te swoim wykształceniem przypominają analcym i kankrynit (fot. 1 – 2). Proces syntezy spowodował, że praktycznie żaden ze składników mineralnych wyjściowego popiołu lotnego (za wyjątkiem substancji organicznej) nie pozostał w produkcie po syntezie.



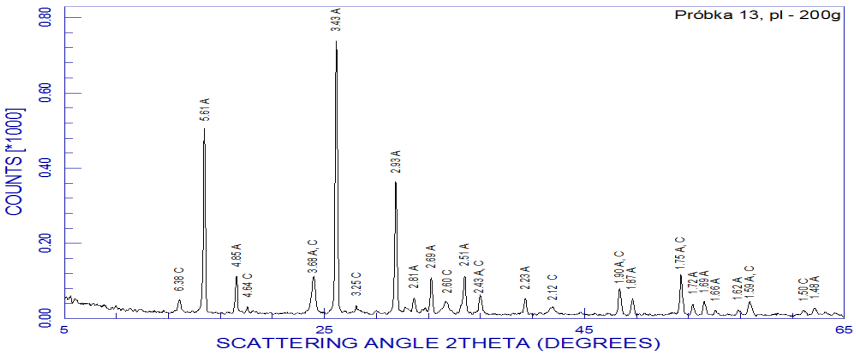


Na dyfraktogramie materiału zeolitowego widoczne są refleksy pochodzące od analcymu ($Na[AlSi_2O_6]\cdot H_2O$) oraz kankrynitu ($Na_6Ca[CO_3|(AlSiO_4)_6]\cdot 2H_2O$) (rys. 1):

– analcym – refleksy: 5,61; 4,85; 3,68; 3,43; 2,93; 2,81; 2,69; 2,51; 2,43; 2,23; 1,90; 1,87; 1,75; 1,72; 1,69; 1,66; 1,62; 1,59; 1,48 Å,

– kankrynit – refleksy: 6,38; 4,64; 3,68; 3,25; 2,60; 2,43; 2,12; 1,90; 1,75; 1,59; 1,50 Å.

Brak refleksów pochodzących od składników mineralnych materiału wyjściowego potwierdza obserwacje mikroskopowe – składniki mineralne popiołu lotnego nie pozostały w produkcie po syntezie.



Rys. 1. Dyfraktogram materiału zeolitowego (próbka 13).
Objaśnienia: A – analcym, C – kankrynit.
Fig. 1. The diffraction pattern of the zeolite material (sample 13).
Explanation: A - analcime, C - kankrynite.

Parametry teksturalne produktów po zeolityzacji popiołu lotnego

Badany materiał po syntezie wykazywał zróżnicowane wartości parametrów teksturalnych. Powierzchnia właściwa (S_{mes}) popiołu surowego wynosiła 1,08 $m^2 \cdot g^{-1}$, co kwalifikuje ten materiał do materiałów nieporowatych. Tymczasem produkty pochodzące z hydrotermalnej syntezy przy użyciu 1M roztworu NaOH wykazują zdecydowanie wyższą powierzchnię właściwą niż surowy popiół.

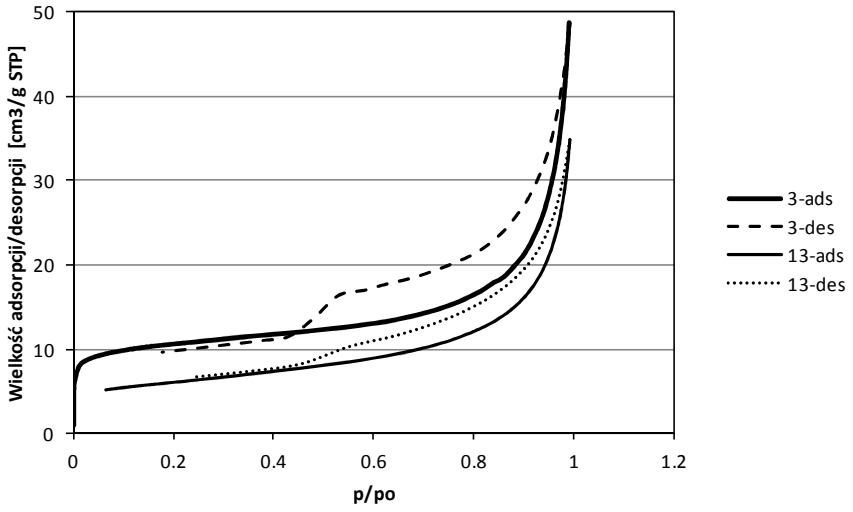
Dla materiału zeolitowego pochodzącego z syntezy 100 g popiołu lotnego powierzchnia właściwa wynosiła 36,95 $m^2 \cdot g^{-1}$ (próbka 3), natomiast dla materiału pochodzącego z syntezy 200 g popiołu lotnego była niższa, wynosiła 21,18 $m^2 \cdot g^{-1}$ (próbka 13). Może to wskazywać, że obecność w próbce 13 kankrynitu przyczynia się do zmniejszenia powierzchni właściwej materiału po syntezie.

Porównanie całkowitej objętości porów (V_{mes}) próbki po aktywacji roztworem NaOH, z zastosowaniem 100 g naważki popiołu lotnego (próbka 3), (Adamczyk i Makosz 2014) i próbki pochodzącej z syntezy z zastosowaniem 200 g naważki popiołu (probka 13) zauważa się, iż różnica w objętościach wynosi zaledwie 0,015 $cm^3 \cdot g^{-1}$ (tab. 1). Większą całkowitą objętość porów ma materiał pochodzący z próbki 3. Wydaje się zatem, że i w tym przypadku obecność kankrynitu wywołuje zmniejszenie objętości porów w produktach po syntezie.

Z kolei powierzchnia mikroporów (S_{mes}) i średnia średnica porów (Dp) są większe w materiale zeolitowym z próbki 13 w porównaniu do próbki 3. Może to świadczyć o tym, iż obecność w próbce 13 kankrynitu przyczynia się do zwiększenia powierzchni mikroporów i średniej średnicy porów w materiale po syntezie.

Rozkład objętości porów ustalony metodą BJH ujawnia, że materiał po aktywacji roztworem 1M NaOH zarówno w próbce pochodzącej z naważki 100 g, jak i 200 g popiołu lotnego jest jednorodny i dominuje w nim jeden rodzaj mezoporów o średniej średnicy ok. 4 nm.

Materiały zeolitowe obu próbek (3 i 13) to materiały mezoporowate (promień efektywny porów 2-50 nm; [Paderewski 1999]. Charakterystyka izoterm adsorpcji/desorpcji wskazuje (rys. 2), że są to izotermy typu I Langumuira, z występującą pętlą histerezy H4. Świadczy to o występowaniu porów w kształcie wąskich szczelin.



Rys. 2. Izotermy adsorpcji/desorpcji azotu dla materiałów zeolitowych otrzymanych po syntezie 1M roztworem NaOH (próbka 13 - 200g popiołu lotnego, próbka 3 – 100g popiołu lotnego).
Oznaczenia: p_o – ciśnienie pary nasyconej, p – ciśnienie równowagowe.
Fig. 2. Adsorption/desorption isotherm of N_2 (sample 13 - 200g of fly ash, sample 3 - 100g of fly ash).
Symbols: after - pressure saturated steam, p - pressure equilibrium.

Tab. 1. Parametry tekstualne popiołu surowego i produktów syntezy. Objaśnienia S_{BET} – powierzchnia właściwa porów, Vmes – całkowita objętość porów, S_{mes} – powierzchnia mikroporów, Dp – średnia średnica porów, D z BJH – średnica dominująca porów.
Tab. 1. Textural parameters of fly ash and products of synthesis.

Materiał	S_{BET} $m^2 \cdot g^{-1}$	V_{mes} $cm^3 \cdot g^{-1}$	S_{mes} $m^2 \cdot g^{-1}$	D_p nm	D_{BJH} nm
Popiół surowy*	1,08	0,000	-	0,95	-
Materiał zeolitowy na bazie 100g popiołu lotnego (próbka 3)*	36,95	0,065	16,94	7,04	3,85
Materiał zeolitowy na bazie 200g popiołu lotnego (próbka 13)	21,18	0,050	19,13	9,35	4.06

*[Adamczyk i Makosz 2014]

Podsumowanie wyników badań

- W wyniku zeolityzacji popiołu lotnego w ilości 200 g w procesie hydrotermalnej syntezy z alkaliczną aktywacją 1M roztworem NaOH otrzymano materiał zeolitowy, w którym dominuje analcym. Wykazano również, że w otrzymanym materiale obecny jest w niewielkich ilościach także inny zeolit – kankrynit.
- Analiza jakościowa zeolitów w materiale uzyskanym w badaniach oraz analiza jakościowa materiału zeolitowego uzyskanego ze 100 g popiołu lotnego wskazuje jednoznacznie, iż większa masa popiołu (przy tych samych parametrach procesu syntezy) powoduje pojawienie się, obok analcymu, kankrynitu.
- Z porównania właściwości teksturalnych materiału zeolitowego otrzymanego na bazie 200 g popiołu lotnego z materiałem zeolitowym otrzymanym na bazie 100 g popiołu lotnego wynika że:
- większą powierzchnię właściwą i całkowitą objętość porów posiada materiał zeolitowy uzyskany ze 100 g popiołu lotnego, natomiast większą powierzchnię mikroporów i średnią średnicę porów posiada materiał zeolitowyuzyskany z 200 g popiołu lotnego.
- rozkład objętości porów metodą BJH w obu materiałach zeolitowych jest jednorodny i dominuje w nich jeden rodzaj mezoporów o średnicy ok. 4 nm.
- Przyczyną zmian parametrów teksturalnych porównywanych produktów po syntezie jest najprawdopodobniej pojawienie się kankrynitu, w materiale zeolitowym, powstałego w wyniku zastosowania do syntezy 200 g popiołu lotnego.

LITERATURA

1. ADAMCZYK, Z.; BIAŁECKA, B.; 2005. The hydrothermal synthesis of zeolites from Power plant, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 14, No 6, 713-719.
2. ADAMCZYK, Z.; BIAŁECKA, B.; 2003. Możliwości syntezy zeolitów z popiołu z EC Żerań. Zesz. Nauk. PŚl., Gór., z. 256, s. 15-21.
3. ADAMCZYK, Z.; BIAŁECKA, B.; HALSKI M.; 2005. Hydrotermalna synteza zeolitów z odpadów paleniskowych Elektrowni Łaziska. Pr. Nauk. GIG, Gór., nr 1, s. 49-56.
4. ADAMCZYK, Z.; BIAŁECKA, B.; PASEWICZ, A.; 2007. Hydrotermalna synteza analcymu z popiołów Elektrowni „Halemba", Prace naukowe GIG Górnictwo i Środowisko.
5. ADAMCZYK, Z.; MAKOSZ, E.; 2014. Zeolityzacja popiołu lotnego przy użyciu roztworu 1M NaOH. Rozdział w Monografii Geochemia i Geologia Środowiska Terenów Uprzemysłowionych.
6. ADAMCZYK, Z.; GRUCHOCIAK, E.; LOSKA, K.; NOWIŃSKA, K.; 2011. Sorpcja metali ciężkich na syntetycznym zeolicie typu NaP1. Gór. i Geol. t. 6 z. 3, s. 5-12.
7. ADAMCZYK, Z.; MAKOSZ, E.; NOWIŃSKA, K.; 2013. Trace elements in solutions from zeolite synthesis - Ist Conference "Environmental Engineering And Design", Zielona Góra (a).
8. ADAMCZYK, Z.; MAKOSZ, E.; NOWIŃSKA, K.; 2013. Sorpcja ołowiu na syntetycznym analcymie. Konferencja „Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju", Gliwice, (b).
9. BUKALAK, D.; MAJCHRZAK-KUCĘBA, I.; NOWAK W.; 2009. Wpływ zawartości Si i Al. W popiele lotnym na tworzenie się frakcji zeolitowych typu Na-P1.
10. DERKOWSKI, A.; 2002. Microwave oven in synthesis of Na-zeolites from fly ash. Preliminary results. *Mineralogia Polonica,* 33(1), 81-94.
11. FRANUS, W.; WDOWIN, M.; 2011. Wykorzystanie popiołów lotnych klasy F do produkcji materiału zeolitowego na skalę półtechniczną, Polityka Energetyczna, t. 14, zeszyt 2.
12. HAIDOUTI, C.: 1997. Inactivation of mercury in contaminated soils using natural zeolites, Science of the Total Environment 208, 105-109.
13. HASSAN, I.; GRUNDY, H. D.; 1984. The Canadian Mineralogist.
14. PADEREWSKI, M. L.; 1999. Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej, WNT, Warszawa.
15. PANAYOTOWA, M.I.; 2003. Kinetics and thermodynamic of copper ions removal from wastewater by use of zeolite, Waste Management 23, 135-143.
16. QUEROL, X.; PLANA, F.; ALASTUEY, A.; LOPEZ-SOLER, A.; 1997. Synthesis of Na-zeolites from coal fly ash, Fuel 8, 793-799.

17. QUEROL X., N.; MORENO, A.; ALASTUEY, R.; JUAN, J.M.; ANDRES, A.; LÓPEZ-SOLER, C.; AYORA, A.; MEDINACELI, VALERO V.; 2007. Synthesis of high ion exchange zeolites from coal fly ash.
18. SZTEKLER, D., MAJCHRZAK-KUCĘBA, I., NOWAK W.; 2009. Analiza własności chemicznych popiołów lotnych pod kątem syntezy zeolitu Na-A.
19. ŚCIUBIDŁO, A., MAJCHRZAK-KUCĘBA, I., NOWAK W.; 2009. Wpływ składu chemicznego popiołów lotnych na efektywność procesu syntezy zeolitów Na-X, 2009.
20. ŻYGADŁO, M.; SEWERYN, A., WOŹNIAK M.; 2010. Synteza zeolitów na bazie popiołó lotnych z wybranych instalacji odzysku ciepła, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska.

TEXTURAL PARAMETERS OF ANALCIME FORMED WITH 1M SOLUTION OF NAOH

S u m m a r y

The paper presents the textural parameters of the zeolite material, resulting from hydrothermal synthesis of fly ash. For the zeolitization fly ash was used, in an amount of 200g, containing quartz, mullite, opaque components, glaze and in the subordinate amount hematite and not burnt organic substance; the process for the synthesis was conducted using 1 M solution of NaOH. The product identified in the synthesis was analcime, as dominant zeolite, with admixture of other zeolite - kankrynite. Textural parameters of obtained zeolite material indicate that material is mesoporous. Comparison of the textural parameters of obtained zeolite material built up of analcime with admixture of kankrynite with another zeolite material obtained from a similar synthesis, where there was present only one zeolite – analcime, indicates that the presence of kankrynite affect these parameters, however it does not change the type of the adsorbent due to the size pores.

Key words: analcime, textural parameters, fly ash, synthesis, że obecność kankrynitu

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 158

Nr 38 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2015**

ZDZISŁAW ADAMCZYK, KATARZYNA NOWIŃSKA*

PIERWIASTKI TOWARZYSZĄCE W FAZACH SZLAMÓW POWSTAJĄCYCH W PROCESIE SZYBOWYM PIROMETALURGICZNEGO OTRZYMYWANIA CYNKU I OŁOWIU

Streszczenie

W pirometalurgicznym procesie otrzymywania cynku i ołowiu jednym z powstających odpadów są szlamy z pieca szybowego (PSP). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że głównymi fazami występującymi w szlamach PSP, są siarczek ołowiu (II), siarczek cynku, niestechiometryczne siarczki żelaza, tlenek ołowiu (II) oraz chalkopiryt i tlenek cynku. We wszystkich zidentyfikowanych fazach stwierdzono obecność pierwiastków towarzyszących: Si, Fe, Cd, As, Ca, Mn, Sn, In, Sb, Te w zróżnicowanych koncentracjach. Szlamy PSP, ze względu na obecność w ich fazach licznych pierwiastków towarzyszących, mogą stanowić, w przypadku ich deponowania, potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego.

Słowa kluczowe: odpady, szlamy, pirometalurgia, cynk, ołów, pierwiastki towarzyszące, fazy

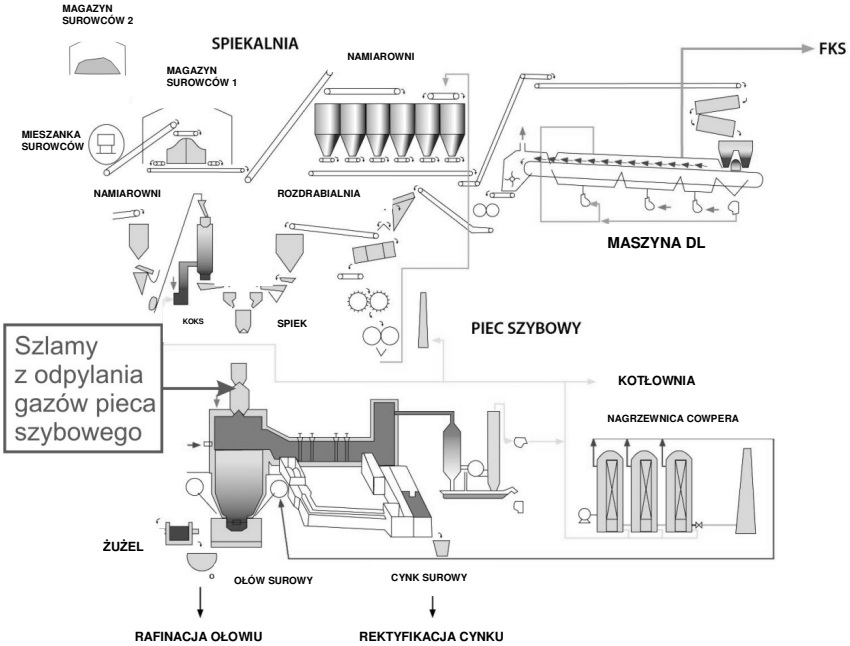
WSTĘP

Huta Cynku „Miasteczko Śląskie" S. A. jest jedynym w Europie producentem cynku i ołowiu, wytapianych w procesie pirometalurgicznym Imperial Smelting Process (ISP). Podstawowy ciąg technologiczny Huty stanowią: Wydział Spiekalni oraz Wydział Pieca Szybowego (rys. 1). Cykl technologiczny Wydziału Pieca Szybowego prowadzony jest w dwóch ciągach technologicznych:

– namiarowni wsadu – zadaniem urządzeń znajdujących się w namiarowni jest przygotowanie wsadu dla pieca szybowego tj. spieku cynkowo-ołowiowego, koksu i okresowo złomu cynkowego,

* Instytut Geologii Stosowanej, Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska

– pieca szybowego, gdzie przebiega proces redukcji i destylacji związków cynku i redukcji związków ołowiu w temperaturze 1000˚C [Technologia… 2010].



Rys. 1. Schemat technologiczny Huty Cynku „Miasteczko Śląskie" S.A. wraz z miejscem poboru próbek szlamów [Technologia… 2010]
Fig. 1. Technological scheme of Smelting Plant „Miasteczko Śląskie" with the place of sampling [Technologia… 2010]

Surowiec wsadowy do procesu ISP stanowi mieszanka koncentratu blendy cynkowej i koncentratu galeny. Do wsadu dodawane są również pyły, szlamy i zgary pochodzące z różnych odcinków technologicznych. W materiałach tych znajdują się zarówno cynk, jak i ołów w znacznych koncentracjach, co jest powodem ich zawracania do procesu.

W piecu szybowym, w wyniku zachodzących w nim reakcji, powstaje cynk w postaci pary i ołów w postaci ciekłej. Pary cynku odprowadzane z pieca wraz z gazami poredukcyjnymi kierowane są do kondensatora, gdzie następuje ich kondensacja w rozbryzgiwanym ciekłym ołowiu, cyrkulującym w obiegu zamkniętym.

W procesie technologicznym powstaje szereg odpadów: pyły, szlamy, zgary, żużle. Odpady te charakteryzują się różnorodnym składem chemicznym oraz mineralnym. W piecu szybowym rocznie powstaje średnio 14 155 Mg szlamów (szlamy PSP), będących produktem mokrego odpylania gazów poredukcyjnych powstających w procesie szybowym [Technologia… 2010; Adamczyk Z. i in. 2010].

Na podstawie wyników uzyskanych z wcześniejszych badań, można stwierdzić, że [Technologia… 2010] szlamy są silnie zawilgocone, mogą bowiem zawierać do 35% wag. wody (tab. 1). Dochodzi w nich do koncentracji znacznych ilości cynku i ołowiu. Udział tych dwóch metali wynosi ok. 30% wag. każdego z osobna. Z tego też względu szlamy te zawracane są do procesu. Obok tych trzech dominujących składników, których łączny udział wynosi ponad 90% wag., w szlamach występują w mniejszych ilościach Cd, Fe, S, CaO, SiO_2 i MgO.

Tab. 1. Zróżnicowanie składu chemicznego (w % wag.) szlamów z odpylania gazów pieca szybowego w procesie otrzymywania cynku i ołowiu w Hucie Cynku „Miasteczko Śląskie" S.A. [Technologia… 2010]
Tab. 1. Diversity of chemical composition (mass %) of sludges from furnace shaft gas dedusting in zinc and lead technological process of Smelting Plant "Miasteczko Śląskie" [Technologia… 2010]

Rodzaj odpadu	H_2O (wilgoć) (moisture)	Zn	Pb	Cd	Fe	S	CaO	SiO_2	MgO
Szlamy z odpylania pieca szybowego Sludges from furnace shaft gas dedusting	29,0-35,0	25,0-31,0	32,0-35,0	1,0-2,0	1,0-2,0	2,0-3,0	1,0-2,0	1,8-2,2	0,1-0,4
	As*	Sb*	Tl*	Cd*	Fe*	Cu*	-	-	-
	0,14	0,11	0,08	0,71	4,76	0,37	-	-	-

* [Pozzi, Nowińska 2006]

Jak wskazują inne badania [Pozzi M., Nowińska K. 2006] szlamy zawierają pierwiastki towarzyszące, takie jak: As, Sb, Tl i Cu (tab. 1). Koncentracje tych pierwiastków w szlamach wprawdzie są niewielkie, gdyż ich udział zmienia się w zakresie od 0,076% wag. Tl do 0,367% wag. Cu, to jednak szlamy te, zgodnie z technologią przyjętą w hucie, mogą przez pewien czas być zdeponowane na składowisku odpadów, zanim zostaną zawrócone do procesu. Może to powodować zmiany w środowisku gruntowo-wodnym z uwagi na mobilność tych pierwiastków w tym środowisku. Istotnym zatem czynnikiem tej mobilności jest forma występowania tych pierwiastków, w szczególności faz, w których pierwiastki te są obecne.

Identyfikacja form występowania pierwiastków towarzyszących w fazach szlamów PSP, stanowi podstawę określenia mobilności tych pierwiastków w środowisku gruntowo-wodnym, a tym samym prognozowania ich negatywnego wpływu na środowisko. Celem pracy jest określenie form występowania pierwiastków towarzyszących w fazach wchodzących w skład przedmiotowych szlamów.

METODYKA BADAŃ

Do badań pobrane zostały próbki szlamów z pieca szybowego w odstępach 1 miesięcznych (w sumie 10 serii badawczych) w ilości ok. 0,5 kg każda. Opróbowanie przeprowadzono w trakcie jednego roku, w okresie, gdy piec zasilany był spiekiem cynkowo-ołowiowym z bieżącej produkcji spiekalni.

Z wysuszonych, uśrednionych i odpowiednio przygotowanych próbek szlamów wykonano preparaty, które zostały wykorzystane do ustalenia składu chemicznego ziarn wchodzących w skład szalmów, przy użyciu mikroanalizatora rentgenowskiego JCXA 733 firmy Jeol, wyposażonego w spektrometr wavelenght-dispersive (WDS) ISIS 300 firmy Oxford Instruments. Dzięki tym badaniom uzyskano skład chemiczny ziarn, zarówno jakościowy jak i ilościowy, który posłużył do identyfikacji faz, wchodzących w ich skład.

Dla każdej z próbek wykonano serie mikroanaliz, które obejmowały kilkanaście do kilkudziesięciu pomiarów składu chemicznego charakterystycznych ziarn szlamów. W wyniku tak przeprowadzonych pomiarów ustalono zawartości dominujących składników chemicznych tych ziarn oraz zawartości pierwiastków towarzyszących. Dla danego mikroobszaru ziarna dokonywano ok. 10 pomiarów składu chemicznego, a wynik końcowy stanowi średnia arytmetyczna, z tych pomiarów (średnia arytmetyczna z ok. 10 wyników pomiarów dla każdego mikroobszaru). Wyboru obszaru przeznaczonego do pomiaru dokonywano na podstawie skaningowych obserwacji obrazów mikroskopowych uzyskiwanych w wyniku detekcji elektronów wtórnych, jak i elektronów wstecznie rozproszonych. Obrazy powstałe poprzez detekcję elektronów wtórnych służyły głównie obserwacjom morfologii ziarn, natomiast sygnał pochodzący od elektronów wstecznie rozproszonych, po odpowiednim przetworzeniu, pozwalał na uzyskanie obrazu skaningowego z kontrastem zależnym wyłącznie od różnic w składzie chemicznym (kompozycja chemiczna), ułatwiającym wybór punktów wytypowanych do pomiarów [Sokołowski i in. 1980; Szummer 1994].

DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

Badania składu chemicznego ziaren szlamu w mikroobszarze wykazały (tab. 2 i 3), że wśród składników fazowych można wyróżnić:

- siarczek ołowiu (II),
- siarczek cynku,
- niestechiometryczne siarczki żelaza (FeS_2-FeS),
- tlenek ołowiu (II),
- siarczan (VI) ołowiu (II).

W szlamach wykazano także obecność takich faz jak chalkopiryt i tlenek cynku [Pozzi, Nowińska 2006].

Zwracają uwagę ziarna siarczku cynku i niestechiometrycznych siarczków żelaza, które nie są jednorodne pod względem fazowym, gdyż zawierają wrostki:

- siarczek cynku – wrostki tlenku cynku, cynku metalicznego i ołowiu metalicznego oraz siarczku żelaza (FeS),
- niestechiometryczne siarczki żelaza – wrostki cynku metalicznego i ołowiu metalicznego,

natomiast pozostałe fazy tworzą ziarna nie zawierające wrostków innych faz. Jednakże w badaniach prowadzonych przez Pozziego i Nowińską (2006) wykazano, że:

- siarczek ołowiu (II) może zawierać wrostki siarczku cynku,
- tlenek ołowiu (II) i tlenek cynku nie zawierają wrostków innych faz.

Badane ziarna, niezależnie od składu fazowego, zawierają domieszki pierwiastków towarzyszących. Występują one w zróżnicowanych ilościach w poszczególnych fazach.

We wszystkich fazach obecne są domieszki Si, których ilość zmienia się w zakresie od 0,13 do 0,29% wag. Bardziej zróżnicowane zawartości niż dla Si obserwuje się w przypadku domieszek Fe w poszczególnych fazach (w siarczkach Zn, siarczkach Pb (II) oraz siarczanie (VI) Pb (II)), gdyż średni udział tego pierwiastka zmienia się w zakresie 0,07-0,81% wag., natomiast nie tworzy on domieszek w tlenku Pb.

Istotnym pierwiastkiem występującym w większości badanych ziaren jest kadm, którego średnia zawartość zmienia się w szerokim zakresie od 0,02 (ziarno C-14) do 0,27% wag. (ziarno A-2). Pierwiastek ten stanowi domieszkę w siarczku cynku oraz w niektórych ziarnach siarczku ołowiu (II) i niestechiometrycznego siarczku żelaza.

Tab. 2. Skład chemiczny i fazowy ziarn siarczku ołowiu i siarczku cynku badanego szlamu wraz z koncentracją pierwiastków towarzyszących w tych ziarnach (w % wag.). Objaśnienia: SPT – suma pierwiastków towarzyszących
Tab. 2. Chemical and phase composition of lead sulphide and zinc sulphide grains of sludge with concentration of accompanying elements (mass %): SPT-sum of accompanying elements

Pierwiastek Element	Symbol ziarna pomiarowego Symbol of grain							
	A-1	B-2	C-2	C-2	C-3	A-3	B-8	C-14
O	-	-	-	-	-	1,12	-	0,37
Si	0,19	0,28	0,16	0,21	0,24	0,29	0,19	0,14
S	14,19	13,14	13,47	13,67	13,88	29,41	30,17	29,67
Ca	-	0,05	-	-	-	0,08	0,07	-
Mn	0,01	0,12	-	-	-	0,18	1,57	-
Fe	0,33	0,07	0,08	0,33	0,44	0,81	5,94	0,34
Zn	0,17	0,04	0,35	0,63	0,46	64,83	60,05	68,14
As	0,09	-	0,03	0,26	0,21	-	-	-
Se	-	-	-	0,11	0,07	-	0,07	-
Cd	-	0,19	-	0,07	-	0,23	0,23	0,02
Sn	-	-	0,15	0,11	-	-	0,14	0,04
Sb	-	-	-	0,38	-	-	-	-
Pb	85,02	85,78	85,76	84,04	84,7	2,91	1,49	1,28
In	-	-	-	0,19	-	0,14	-	-
Te	-	0,33	-	-	-	-	0,08	-
Suma Sum	100	100	100	100	100	100	100	100
Udział fazowy w ziarnie szlamu Contribution of phase in grain of sludge								
PbS	99,2	98,9	99,2	97,7	98,6	-	-	-
ZnS	-	-	-	-	-	89,4	84,7	90,2
ZnO	-	-	-	-	-	5,7	-	1,9
Zn_{met}	-	-	-	-	-	0,3	2,1	6,1
Pb_{met}	-	-	-	-	-	2,9	1,5	1,3
FeS	-	-	-	-	-	-	9,4	-
SPT	0,79	1,08	0,77	2,29	1,42	1,73	2,35	0,54

Na uwagę zasługuje również arsen, charakteryzujący się koncentracjami często przekraczającymi 0,2 % wag. (ziarna C-2, C-3, B-5, C-5), występujący jednak tylko w 6 z 15 zidentyfikowanych ziaren. Są to ziarna siarczku ołowiu (II) oraz niestechiometrycznego siarczku żelaza (tab. 2 i 3).

Tab. 3. Skład chemiczny i fazowy ziarn siarczku żelaza, tlenku ołowiu i siarczanu ołowiu badanego szlamu wraz z koncentracją pierwiastków towarzyszących w tych ziarnach (w % wag.). Objaśnienia: SPT – suma pierwiastków towarzyszących
Tab. 3. Chemical and phase composition of iron sulphide, lead oxide and lead sulphate grains of sludge with concentration of accompanying elements (mass %): SPT-sum of accompanying elements

Pierwiastek Element	Symbol ziarna pomiarowego Symbol of grain						
	B-5	B-11	C-4	C-5	A-2	C-10	B-12
O	-	-	-	-	7,51	7,5	21,9
Si	0,15	0,14	0,16	0,17	0,13	0,23	0,23
S	51,13	50,47	51,33	50,81	-	-	11,14
Ca	0,01	-	0,07	-	0,4	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-	-
Fe	45,9	44,9	46,87	46,66	-	-	0,28
Zn	-	0,41	0,04	0,16	-	0,74	0,57
As	0,36	-	-	0,64	-	-	-
Se	-	0,01	0,06	0,1	0,27	0,09	0,05
Cd	0,15	0,09	-	-	-	-	-
Sn	-	0,51	-	-	-	-	0,39
Sb	-	0,27	-	-	-	-	0,51
Pb	2,3	2,93	1,47	1,46	91,69	91,44	64,22
In	-	0,06	-	-	-	-	0,39
Te	-	0,21	-	-	-	-	0,32
Suma Sum	100	100	100	100	100	100	100
Udział fazowy w ziarnie szlamu Contribution of phase in grain of sludge							
FeS_2-FeS	97,03	95,37	98,2	97,47	-	-	-
Zn_{met}	-	0,41	0,04	0,16	-	-	-
Pb_{met}	2,3	2,93	1,47	1,46	-	-	-
PbO	-	-	-	-	99,19	98,94	-
$PbSO_4$	-	-	-	-	-	-	97,26
SPT	0,67	1,29	0,29	0,91	0,81	1,06	2,74

Średnie udziały pozostałych pierwiastków (Ca, Mn, Se, Sn, In) w badanych ziarnach, obecne są sporadycznie i rzadko przekraczają 0,2 % wag., a ich zawartość zmienia się w szerokim zakresie (Ca – 0,01÷0,40% wag.; Mn – 0,01÷1,57% wag.; Se – 0,01÷0,27% wag.; Sn – 0,04÷0,51% wag.; In – 0,06÷0,39% wag.)

Wyjątek stanowią antymon i tellur, występujące sporadycznie (Sb w trzech ziarnach: siarczku ołowiu (II), niestechiometrycznym siarczku żelaza oraz siarczanie (VI) ołowiu (II); Te w czterech ziarnach: siarczku ołowiu, siarczku cyn-

ku, niestechiometrycznym siarczku żelaza oraz siarczanie ołowiu), jednakże charakteryzują się one podwyższonymi zawartościami, w porównaniu do większości analizowanych pierwiastków. Zawartości te wynoszą odpowiednio: 0,38% wag. Sb w ziarnie C-2, 0,27% wag. Sb w ziarnie B-11, 0,51% wag. Sb w ziarnie B-12 oraz 0,33% wag. Te w ziarnie B-2, 0,08% wag. Te w ziarnie B-8, 0,21% wag. w ziarnie B-11 i 0,32% wag. w ziarnie B-12 (tab. 2 i 3).

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że różne składniki mineralne badanych szlamów PSP posiadają domieszki różnych pierwiastków towarzyszących i w różnych, niezależnych od faz, koncentracjach. Wynika to najprawdopodobniej z faktu, iż szlamy te zawracane są do procesu, w którym fazy wchodzące w ich skład nie są stabilne (zróżnicowane warunki na poszczególnych etapach technologicznych), co może przyczynić się do zmian w ich składzie chemicznym. Równocześnie pierwiastki towarzyszące mogą migrować z faz szlamów do produktów (cynk, ołów) i odpadów.

Wydaje się zatem, że każdy ze składników fazowych tych szlamów może stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska gruntowo-wodnego w przypadku zdeponowania szlamów na składowisku.

WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków.

Głównymi fazami występującymi w szlamach pochodzących z pieca szybowego procesu ISP są: siarczek ołowiu (II), siarczek cynku, niestechiometryczne siarczki żelaza, tlenek ołowiu (II), siarczan (VI) ołowiu (II) oraz chalkopiryt i tlenek cynku. Siarczek cynku oraz niestechiometryczne siarczki żelaza są niejednorodne po względem fazowym i zawierają wrostki: tlenku cynku, cynku metalicznego i ołowiu metalicznego oraz siarczku żelaza (FeS).

Pierwiastki towarzyszące w poszczególnych fazach szlamów PSP występują w formie domieszek, a ich zawartości wykazują duże zróżnicowanie. Pierwiastkami, które występują we wszystkich zidentyfikowanych fazach są krzem i żelazo, a ich średnia zawartość zmienia się w zakresach: od 0,13 do 0,29% wag. Si oraz 0,07-0,81% wag. Fe. Pozostałe pierwiastki występują w formie domieszek w większości faz (głównie w siarczku ołowiu (II) i niestechiometrycznych siarczkach żelaza), w ilościach rzadko przekraczających 0,2% wag. Wyjątek stanowią antymon i tellur, występujące w nielicznych badanych ziarnach, jednakże charakteryzujące się podwyższonymi, w porównaniu do pozostałych pierwiastków towarzyszących, koncentracjami.

Zróżnicowanie zawartości poszczególnych pierwiastków towarzyszących w ziarnach poszczególnych faz obecnych w szlamach PSP, może świadczyć

o migracji tych pierwiastków ze szlamów do produktów procesu (cynk, ołów) lub odpadów w trakcie procesu pirometalurgicznego.

Szlamy z pieca szybowego, ze względu na obecność w ich fazach licznych pierwiastków towarzyszących, mogą stanowić, w przypadku ich deponowania, potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego.

LITERATURA

1. ADAMCZYK, Z.; MELANIUK-WOLNY, E.; NOWIŃSKA, K.; 2010. The mineralogical and chemical study of feedstock mixtures and by-products from pyrometallurgical process of zinc and lead production.Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
2. POZZI, M.; NOWIŃSKA, K.; 2006. Dystrybucja wybranych pierwiastków towarzyszących koncentratom Zn- Pb w technologii Imperial Smelting Process, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
3. SOKOŁOWSKI, J.; NOSIŁA, M.; PLUTA, B., 1980. Podstawy mikroanalizy rentgenowskiej, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
4. SZUMMER, A.; (red.), 1994. Podstawy ilościowej mikroanalizy rentgenowskiej, WNT, Warszawa.
5. TECHNOLOGIA otrzymywania cynku i ołowiu w Hucie Cynku „Miasteczko Śląskie, materiały własne HC „Miasteczko Śląskie", 2010 (niepublikowane).

ACCOMPANYING ELEMENTS IN PHASES OF SLUDGES FORMED DURING SHAFT FURNACE PYROMETALLURGICAL PROCESS OF ZINC AND LEAD PRODUCTION

S u m m a r y

Zinc Plant "Miasteczko Śląskie" produces zinc and lead by using pyrometallurgical method Imperial Smelting Process (ISP). Technological line of the plant consists of two main units: sinter plant and shaft furnace.Many wastes (sludges, drosses, slags) are producedduring ISP process. These wastes, deposited on the landfill, may be a source of environment pollution. Determination of the chemical composition and mineral constitution of the wastes, is the base of forecasting of the wastes impact on the ground-water environment. The subject of thestudies conductedby the authorswereslудges, produced during wet scrubbingof the waste gases of shaft furnace. On the basis of the studies, was found that the main phases of the sludges PSP are: lead sulphide, zinc sulphide, non-stoichiometriciron sulfides, lead oxide,chalcopyriteandzinc oxide.In all identified phases, the accompanying elements:Si, Fe, Cd, As, Ca, Mn, Sn,

In, Sb, Te,in different concentrations, were found. Sludges PSP, due to the presence in their phasesof numerous accompanying elements, may be a potential source of ground-water environment pollution.

Key words: wastes, sludges, pyrometallurgy, zinc, lead, accompanying elements, phases

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 158

Nr 38 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2015**

JAROSŁAW KAMYK*, ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA*

KSZTAŁTOWANIE BRYŁ KRAJOBRAZOWYCH JAKO KIERUNEK ODZYSKU ODPADÓW WYDOBYWCZYCH W GÓRNICTWIE WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie

Odpady wydobywcze powstają na etapie górniczych robót przygotowawczych, eksploatacyjnych oraz w procesach mechanicznej przeróbki węgla. Z punktu widzenia litologicznego są zwykle mieszaniną piaskowców, iłowców i mułowców. W znacznej części stanowią one pełnowartościowy produkt handlowy lub materiał do rekultywacji terenów niekorzystnie przekształcnych działalnością kopalni. Pozostałe odpady niewykorzystane gospodarczo podlegają odzyskowi poprzez kształtowanie brył krajobrazowych. Odbywa się to w oparciu o przepisy Prawa budowlanego i musi pozostać zgodne z zapisami obowiązujących dokumentów planistycznych.

Słowa kluczowe: górnictwo węgla kamiennego, odpady wydobywcze, odzysk, bryły krajobrazowe

WPROWADZENIE

Ustawa o odpadach wydobywczych [Dz.U.2008.138.865 z późn. zm.] definiuje odpady wydobywcze jako te które *pochodzą z poszukiwania, rozpoznawania, wydobywania, przeróbki i magazynowania kopalin ze złóż*. Zgodnie z art. 4.2 tejże ustawy *posiadacz odpadów wydobywczych jest zobowiązany w pierwszej kolejności do poddania ich odzyskowi, a jeżeli z przyczyn technologicznych jest on niemożliwy lub nie jest uzasadniony ekonomicznie, do ich unieszkodliwienia*, a w ostateczności do składowania. Opis działań mających na celu odzysk odpadów wydobywczych zgodny z przepisami o ochronie środowiska, zawarty jest w programie gospodarowania odpadami wydobywczymi.

Na przestrzeni lat zmieniło się podejście do wykorzystania tego rodzaju odpadów, które w ogólnej masie odpadów wytworzonych przez kopalnie stanowią ponad 85%. W ostatnim czasie podmioty wytwarzające takie odpady w górnic-

* Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią

twie węglowym podejmują szereg działań mających na celu ograniczenie ich składowania i zwiększenia poziomu ich odzysku, głównie dla celów gospodarczych. Takie postępowanie skutkuje redukcją kosztów gospodarowania odpadami, co wynika z eliminacji opłat za ich składowanie, kosztów transportu czy ograniczenia opłat środowiskowych. Odpady te są na ogół chemicznie obojętne dla środowiska, a więc same jako takie nie stanowią poważnego zagrożenia. Istotnym problemem pozostaje jednak ich ilość, miejsce i forma składowania oraz zagospodarowania. W Polsce bowiem tylko z tytułu prowadzenia eksploatacji węgla kamiennego rocznie powstaje około 30 mln Mg odpadów. Górnictwo węgla kamiennego ma wpływ na zmiany morfologii na łącznej powierzchni przekraczającej 300 km^2. Jednocześnie zrekultywowano i zagospodarowano jedynie 9,3 km^2 [Korban 2011].

Ponad 80% masy odpadów wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego jest wykorzystywane gospodarczo dla uniknięcia konieczności uiszczania opłat z tytułu ich składowania. Z tej ilości tylko 30% jest użytkowane przemysłowo (jako produkt handlowy), a pozostałe 70% stosuje się do niwelacji terenów, robót inżynierskich i kształtowania tzw. „budowli ziemnych" [Baic 2013] czy „brył krajobrazowych" (fot. 1).

Fot. 1. Bryła krajobrazowa w rejonie Wodzisławia Śląskiego. Źródło: J. Kamyk
Phot. 1. Landscape structure around Wodzislaw Slaski. Source: J. Kamyk

PODSTAWOWE KIERUNKI ODZYSKU ODPADÓW WYDOBYWCZYCH

W procesie przeróbki odpadów wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego powstają dwojakiego rodzaju produkty. Po odzyskaniu węgla (miały węglowe lub granulat mułowy i ich mieszanki) pozostaje skała płonna, litologicznie będąca mieszaniną piaskowców, iłowców i mułowców. Może ona zostać przerobiona na kruszywo będące pełnowartościowym produktem handlowym. Miały węglowe i granulaty stanowią produkt energetyczny, a odzyskiwane są z odpadowych mułów węglowych [Kugiel i Piekło 2012].

Analizując gospodarkę odpadami wydobywczymi wielu górnośląskich kopalń węgla kamiennego można wskazać podstawowe kierunki zagospodarowania skały płonnej. Zgodne są one z wydawanymi przez marszałka województwa pozwoleniami obejmującymi wytwarzanie i odzysk odpadów lub też z decyzjami na przetwarzanie/odzysk odpadów, których wydanie jest kompetencją odpowiedniego marszałka, starosty lub prezydenta miasta.

Kopalnie, które w granicach swojego terenu górniczego posiadają obszary niekorzystnie przekształcone (głównie deformacje powierzchni), wykorzystują odpady do niwelacji niecek poeksploatacyjnych i prac związanych z rekultywacją techniczną obszarów, których zmiany są wynikiem działalności górniczej kopalni. W tym celu wykorzystywane są najczęściej odpady o kodach 01 04 12 oraz 01 01 02. Wypełnienie terenu prowadzi się do rzędnych przyległych terenów nieprzekształconych. Deponowanie odpadów w takich miejscach prowadzone jest na podstawie stosownych decyzji zezwalających na odzysk odpadów, a kierunek rekultywacji określony jest w decyzjach rekultywacyjnych.

Kopalnie w swoich Zakładach Przeróbki Mechanicznej Węgla niejednokrotnie posiadają również linię do produkcji kruszywa łamanego z własnych odpadów wydobywczych o kodzie 01 04 12. Wytworzone kruszywo przekazywane jest jako materiał do prac inżynieryjno-technicznych związanych z robotami ziemnymi przy budowie dróg i budowie rdzeni budowli hydrotechnicznych. Okazjonalnie sprzedawane jest odbiorcom indywidualnym. Prace te prowadzone są zgodnie z zezwoleniem na odzysk odpadów wydawanym przez odpowiedniego starostę oraz zgodnie z decyzjami wydanymi na podstawie ustawy o zagospodarowaniu przestrzennym lub prawa budowlanego.

Odzysk odpadów kopalnie prowadzą również w podziemnych wyrobiskach górniczych, przy wykorzystaniu instalacji do wytwarzania mieszaniny podsadzkowej i mieszaniny wodno-popiołowej stosowanej w profilaktyce pożarowej na dole kopalni. Zazwyczaj odbywa się to z wykorzystaniem również odpadów obcych.

Kopalnie często (na podstawie zawartych umów) przekazują odpady wydobywcze w surowym stanie zewnętrznym podmiotom gospodarczym, które posiadają stosowne decyzje w zakresie gospodarki odpadami (decyzje zezwalające na odzysk). Odzysk odpadów odbywa się poprzez produkcję kruszyw mineral-

nych różnych frakcji w urządzeniach krusząco-sortujących, które stają się produktem handlowym o wielokierunkowych możliwościach zastosowania. Zgodnie z zawartymi umowami wspomniane podmioty zewnętrzne mogą wykonywać również rekultywację techniczną obszarów zdegradowanych przy zastosowaniu odpadów wydobywczych, na mocy odpowiednich decyzji rekultywacyjnych.

Część odpadów, które kopalnia nie zdoła zagospodarować w powyższych kierunkach musi zostać w innej formie zdeponowana w środowisku. Odbywa się to wówczas w procesie odzysku poza instalacjami i urządzeniami celem realizacji projektu polegającego na kształtowaniu brył krajobrazowych. Ilość odpadów, które poddane zostają takiemu odzyskowi pozostaje różna w zależności od kopalni. W przypadku gdy kopalnia posiada tereny zdegradowane o znacznej powierzchni, wówczas priorytetowe pozostaje wykorzystanie ich w kierunku rekultywacji. Wiele kopalń koncentruje się na uzyskaniu z odpadów wydobywczych produktu handlowego – we własnym zakresie bądź za pośrednictwem firm zewnętrznych. W powyższych przypadkach odzysk poprzez wbudowywanie w bryły krajobrazowe ma drugorzędne znaczenie. Wśród kopalń górnośląskich są jednak i takie, które niemal całość odpadów wydobywczych przeznaczają na kształtowanie obiektów budowlanych. W takich przypadkach ograniczenie i ryzyko stanowi przewidywana pojemność dyspozycyjna takiego obiektu. Dla zabezpieczenia rezerw kopalnia w dalszym ciągu musi podejmować działania, których celem jest zapewnienie miejsca dla zagospodarowania odpadów wydobywczych w dłuższej perspektywie czasowej.

KSZTAŁTOWANIE BRYŁ KRAJOBRAZOWYCH

Odzysk odpadów wydobywczych poprzez kształtowanie brył krajobrazowych może odbywać się tylko wówczas gdy planowane działanie jest określone w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego albo w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania odpowiedniej gminy.

Przedsięwzięcie o takim charakterze powinno być zgodne z decyzją o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu lub z decyzją o pozwoleniu na budowę, która zatwierdza projekt budowlany i udziela pozwolenia na budowę. Wspomniane pozwolenie wydaje się z zachowaniem warunków zgodnych z treścią ustawy Prawo budowlane [tekst jedn.: Dz.U.1994.89.414 z późn. zm.]. W przypadku gdy dla wnioskowanej inwestycji nie ma miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, to zgodnie z ustawą o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym i gospodarce nieruchomościami jest to inwestycja celu publicznego i wymaga wydania decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego.

W przypadku gdy kształtowanie obiektu typu bryły krajobrazowej zakwalifikowane zostanie jako przedsięwzięcie mogące znacząco oddziaływać na środowisko, inwestor (kopalnia lub firma zewnętrzna) wraz z wnioskiem o pozwolenie na budowę składa raport o oddziaływaniu na środowisko projektowanego obiektu. Na jego podstawie wydana zostaje decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach realizacji takiego rodzaju przedsięwzięcia.

Zgodnie z załącznikiem do ustawy Prawo budowlane bryły krajobrazowe zaliczane są do obiektów budowlanych VIII kategorii. Prace fizycznie na obiekcie prowadzone są przez samą kopalnię lub też częściej przez firmę obcą. Odpowiedni organ samorządowy udziela zezwolenia na przetwarzanie odpadów w związku z realizacją zadania polegającego na wykonaniu robót budowlanych zmierzających do uformowania bryły obiektu. W takiej decyzji określony zostaje rodzaj i masa odpadów przewidziana do przetworzenia w ciągu roku. Przetwarzanie odpadów odbywa się w oparciu o proces odzysku R5 – recykling lub odzysk materiałów nieorganicznych, zgodnie z załącznikiem nr 1 do Ustawy o odpadach [teskt jedn.: Dz.U.2013.0.21 z późn. zm.]. Jako materiał najczęściej stosowana jest skała płonna nie poddana żadnym procesom przeróbki. Zmiany w tej kwestii mogą jednak wynikać ze zmian w dokumentach planistycznych, które to nakazywać mogą wbudowywanie jedynie kruszyw budowlanych wytworzonych na bazie odpadów wydobywczych. Często przewidziane jest również wbudowywanie odpadów innych niż wydobywcze (np. odpady gruzu z rozbiórek obiektów budowlanych, popioły, żużle).

Kształtowanie brył następuje na dwojakiego rodzaju terenach. Mogą to być tereny zdegradowane działalnością górniczą kopalni lub też takie, które nie wykazują niekorzystnych zmian. W przypadku deponowania odpadów na terenach przekształconych kopalnia nie posiada decyzji rekultywacyjnych, ale bezterminowe pozwolenia budowlane na podstawie których następuje kształtowanie brył krajobrazowych. We wszystkich przypadkach budowle po ich zagospodarowaniu mają spełniać funkcje rekreacyjno-sportowe.

STOŻEK „SZARLOTA”

Interesującym na skalę europejską obiektem jest stożek „Szarlota” wraz ze zwałowiskiem przy jednej z górnośląskich kopalń węgla kamiennego. Jest on dominantą krajobrazową o znaczeniu ponadlokalnym, widoczną z miejsc położonych w odległości wielu kilometrów(fot. 2-4) [Opracowanie ekofizjograficzne, 2013]. Stożek będący najwyższą stożkową hałdą w Europie (wysokość ok. +403 m n.p.m.), stanowi najstarszą część tego zwałowiska i nie jest objęty żadnymi pracami. W obrębie całego obiektu prowadzone są jednak nadal działania polegające na wbudowywaniu kruszyw z odpadów wydobywczych (fot. 4).

Obiekt ten wpisany został do gminnej ewidencji zabytków miasta Rydułtowy [SUiKZP 2013] co umożliwia jego ochronę odpowiednimi zapisami w planie zagospodarowania przestrzennego. Uchwała Rady Miasta Rydułtowy wyznacza dla stożka „Szarlota" strefę ochrony konserwatorskiej, w której obowiązuje zakaz dokonywania zmian wysokości stożka oraz istniejącego nachylenia zboczy [MPZP 2012]. Gwarantuje to ochronę i zachowanie najważniejszych cech obiektu decydujących o jego unikatowości. Ten sam miejscowy plan ustala przeznaczenie pozostałej części zwałowiska (nie objętej ochroną konserwatorską) na budowlę ziemną krajobrazową z zielenią urządzoną oraz określa zasady jej kształtowania [MPZP 2012].

Fot. 2. Widok na obiekt od strony zachodniej. Źródło: J. Kamyk
Phot. 2. View of the structure form the west. Source: J. Kamyk

Dla obecnie kształtowanej w tym miejscu bryły krajobrazowej kopalnia posiada decyzję starosty zatwierdzającą projekt budowlany i udzielającą pozwolenia na budowę dla inwestycji polegającej na budowie i kształtowaniu bryły krajobrazowej wraz z zagospodarowaniem terenu. Roboty budowlane polegają na warstwowym wbudowywaniu kruszyw powstałych na bazie odpadów wydobywczych. Zagospodarowanie terenu w kierunku zatrawienia i zadrzewienia następuje sukcesywnie. Obejmuje ono nawiezienie warstwy ziemi, a po upływie około 3 lat obsadzenie drzewami i krzewami. Budowa i kształtowanie bryły

krajobrazowej zgodnie z posiadanymi decyzjami realizowane będzie do 2022 roku.

Fot. 3. Widok na obiekt od strony wschodniej. Źródło: J. Kamyk
Phot. 3. View of the structure form the east. Source: J. Kamyk

Fot. 4. Widok na obiekt od strony wschodniej. Źródło: mat. kopalni
Phot. 4. View of the structure form the east. Source: main materials

W celu określenia ostatecznego sposobu zagospodarowania terenu obejmującego rejon historycznego stożka „Szarlota“, osadników mułowych jak i istniejącej bryły krajobrazowej i terenów przyległych z równoczesnym określeniem możliwości zagospodarowania odpadów wydobywczych, opracowana została „Koncepcja ukształtowania i zagospodarowania terenu stożka „Szarlota”.

Zaproponowano w niej stworzenie nowej budowli krajobrazowej o proporcjach zbliżonych do historycznego stożka, jednak o większych wymiarach. Projektowana budowla osiąga wysokość szczytu równą około 460 m n.p.m.

PODSUMOWANIE

Ilość powstających odpadów wydobywczych jest ściśle związana z: wielkością produkcji węgla, aktualnie eksploatowaną częścią złoża, prowadzonym systemem eksploatacji oraz stosowanymi technologiami wzbogacania w zakładzie przeróbczym. Jedynym skutecznym sposobem ograniczenia ilości powstających odpadów jest więc wybieranie pokładów mniej zanieczyszczonych i dostosowanie urządzeń dołowych do wybieranego złoża. Wprowadzanie zasad gospodarowania odpadami wydobywczymi i szukanie oszczędności poprzez gospodarcze ich wykorzystanie (osiągnięcie zysków i/lub unikanie strat) przynieść może niewątpliwie wymierne korzyści. Niemniej jednak pewna część odpadów nie zostaje zagospodarowana przemysłowo, ale służy jako materiał do budowy i kształtowania brył krajobrazowych. Decyzje określające warunki przetwarzania odpadów wydobywczych poprzez wbudowywanie ich w bryły obiektów krajobrazowych wynikają z istniejących przepisów prawa dotyczących gospodarki odpadami oraz zgodne są z – wydawanymi przed odpowiedni organ samorządowy – pozwoleniami na budowę. Deponowanie odpadów w środowisku w takiej formie nie wymaga od kopalń ponoszenia opłat z tytułu składowania odpadów wydobywczych.

Powstające obiekty budowlane mimo prowadzonych robót rekultywacyjnych wraz z zagospodarowaniem biologicznym wpływają na zmiany krajobrazu. W ramach projektów budowlanych kopalnie przykładają olbrzymią wagę by zmiany w ukształtowaniu terenu i krajobrazu były jak najmniej niekorzystne, a sposób zagospodarowania nowych obiektów zyskał przychylność lokalnych władz i społeczności.

LITERATURA

1. BAIC I.; 2013. Technologie zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego – wyniki projektu FORESIGHT OGWK. Rocznik Ochrona Środowiska. T. 15, 1899-1915.

2. Dz.U.1994.89.414. Ustawa prawo budowlane (teks jednolity).
3. Dz.U.2008.138.865. Ustawa o odpadach wydobywczych.
4. Dz.U.2013.0.21. Ustawa o odpadach (tekst jednolity).
5. KORBAN Z.; 2011. Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwałowiska nr 5A/W-1 KWK X. Górnictwo i Geologia, T. 6, 109-120.
6. KUGIEL M., PIEKŁO R.; 2012. Kierunki zagospodarowania odpadów wydobywczych w HALDEX S.A. Górnictwo i Geologia, T. 7, 132-145.
7. MPZP; 2012. Uchwała Nr 29.205.2012 Rady Miasta Rydułtowy z dnia 22 listopada 2012 w sprawie zmiany miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego miasta Rydułtowy obejmującego obszar oznaczony symbolem MP/12-Z/1.
8. Opracowanie ekofizjograficzne; 2013. Rydułtowy.
9. SUiKZP; 2013. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Rydułtowy. Rydułtowy.

FORMATION OF LANDSCAPE STRUCTURE AS A RECOVERY DIRECTION OF HARD COAL EXTRACTIVE WASTE

S u m m a r y

The extractive waste are produced during underground mining preparatory works and in Mechanical Coal Preparation Plant. Lithologically are a mixture of sandstones, claystones and siltstones. Repeatedly they are a full-blown commercial product and/or main material for reclamation of land which are degraded due to coal mining. Remaining economically unused waste shall be recovered through forming of landscape structure. This is done under the building regulations and must remain consistent with the provisions of the existing planning documents.

Key words: coal mining industry, extractive waste, recovery, landscape structure

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 158

Nr 38 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2015**

KRYSTIAN MALEK*, KAROLINA SKOCZKOWSKA*, ROMAN ULBRICH*

PROCES SEGREGACJI W APARATACH BĘBNOWYCH

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

W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem było określenie wpływu stopnia wypełnienia materiałem polidyspersyjnym oraz prędkości obrotowej aparatu bębnowego na proces segregacji. Badania wykazały wyraźną segregację cząstek polidyspersyjnych przy niskich prędkościach obrotowych. Zastosowanie metody PIV pozwoliło wyznaczyć strefę stagnacji, cyrkulacji oraz mieszania. Badania wykazały, że wraz ze wzrostem stopnia wypełnienia bębna prędkości kataraktowania spadają.

Słowa kluczowe: segregacja, aparat bębnowy, metoda PIV, złoże polidyspersyjne

WSTĘP

Aparaty bębnowe ze względu na swoją prostą konstrukcję oraz stosunkowo niewielkie koszty wykonania i eksploatacji są często wykorzystywane do segregacji materiałów. Przesiewacze bębnowe wykorzystywane są na wielu etapach procesu przetwarzania odpadów, począwszy od wydzielenia ze strumienia odpadów frakcji mineralnej po segregację granulatów tworzyw sztucznych. Ich zaletą jest brak obciążeń dynamicznych oraz możliwość otrzymania kilku klas materiału stosując sita posobne w bębnie [Battaglia, Banaszewski 1972].

Nowoczesne przesiewacze bębnowe powinny być urządzeniami szybkobieżnymi, gdzie prędkość robocza mieści się w przedziale 0,8÷0,9 prędkości krytycznej (wzór 1):

$$n_{kr} = \frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{g}{R}} = \frac{42{,}3}{\sqrt{D}} \tag{1}$$

gdzie:
n_{kr} – prędkość krytyczna, obr·min^{-1},
g – przyspieszenie ziemskie, m·s^{-2},

* Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska

R – promień bębna, m,
D – średnica bębna, m.

Prędkość krytyczna odpowiada prędkości przy której działające na cząstkę siły – odśrodkowa i grawitacji równoważą się, a po jej przekroczeniu odbywa się ruch ziarna po obwodzie bębna [Wodziński 2007].

Podczas pracy aparatów bębnowych można wyznaczyć zachodzące w złożu charakterystyczne stany: kaskadowanie, kataraktowanie, prędkość krytyczna oraz wirowanie omówione w pozycji [Skoczkowska i in. 2014].

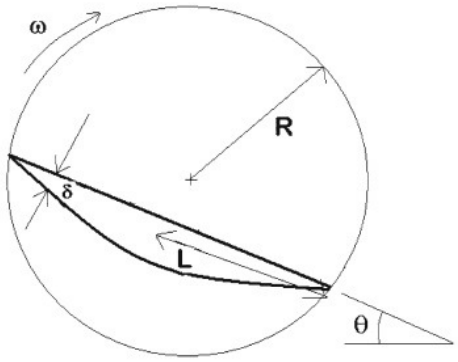
Optymalną prędkością z punktu widzenia większości prowadzonych procesów jest prędkość odpowiadająca kataraktowaniu złoża.

W literaturze znajduje się wiele badań dotyczących segregacji w aparatach bębnowych, jednakże przeważająca większość z nich są badaniami symulacyjnymi [Pereira i in. 2011; Pereira i Cleary 2012; Chand i in. 2012; Xu i in. 2010].

Wypełnienie bębna składające się z cząstek o różnej średnicy i/lub gęstości przy niskich prędkościach obrotowych ulega segregacji. Cząstki małe i/lub o większej gęstości tworzą tzw. rdzeń w środku złoża. Z kolei cząstki większe i/lub lżejsze segregują ku zewnętrznej ściance bębna [Pereira i in. 2011; Pereira i Cleary 2012; Chand i in. 2012].

Wraz ze wzrostem stopnia wypełnienia bębna segregacja cząstek rośnie, jest to spowodowane zwiększeniem się powierzchni warstwy aktywnej w której cząstki mogą być zatapiane (rys. 1.). Przy niskim stopniu wypełnienia wysokość warstwy aktywnej jest ograniczona dnem bębna, przez co segregacja cząstek maleje [Pereira i in. 2011].

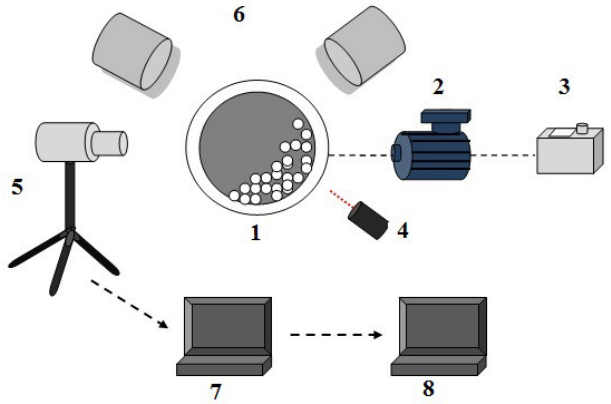
Badania miały na celu określenie wpływu stopnia wypełnienia materiałem polidyspersyjnym oraz prędkości obrotowej aparatu bębnowego na proces segregacji.



Rys. 1. Warstwa aktywna wypełnienia [Pereira i in. 2011]
Fig. 1. The active layer of filling [Pereira et al 2011]

METODOLOGIA BADAŃ

Stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 2. Jego podstawowym elementem jest obrotowy bęben o średnicy 700 mm i szerokości 30 mm. Bęben wykonano z przeźroczystego pleksiglasu w celu umożliwienia rejestracji procesów zachodzących wewnątrz. Prędkość obrotowa aparatu wywołana jest za pomocą silnika elektrycznego i płynnie regulowana falownikiem. Rzeczywista prędkość mierzona jest przy użyciu tachometru optycznego. Procesy zachodzące w bębnie rejestrowane są przy użyciu szybkiej monochromatycznej kamery CMOS oraz aparatu fotograficznego z szybką migawką 1/4000 s. W celu zwiększenia jakości rejestrowaych obrazów bęben doświetlono reflektorami. Zapisane obrazy przetwarzano na stanowisku komputerowym przy użyciu programów: PhotoScape (kadrowanie obrazów), Struktura (binaryzacja obrazów – filtrowanie cząstek na podstawie odcieni szarości) oraz DPIV (z ang. Digital Particle Image Velocimetry – wyznaczanie lokalnych pól prędkości i trajektorii ruchu cząstek).



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego: 1- obrotowy bęben, 2- silnik elektryczny, 3 – falownik, 4 – tachometr, 5 – szybka kamera, 6 – reflektory, 7 - stanowisko komputerowe, 8 – oprogramowanie: Struktura, DPIV, PhotoScape
Fig. 2. The scheme of test stand: 1 – rotating drum, 2 – electric motor, 3 - inverter, 4 – tachometer, 5 – fast-speed camera, 6 - reflectors, 7 – computer workstation, 8 – software: Struktura, DPIV, PhotoScape

Badania przeprowadzono w zakresie prędkości od 0 do 100 obr·min^{-1}, rejestrując serię zdjęć co 2 obr·min^{-1}. Wypełnienie bębna stanowiły cząstki kuliste tworzywa sztucznego o średnicy 6 mm oraz 1100÷1200 μm, różniące się między sobą kolorem. Parametry użytych materiałów przedstawiono w tabeli 1. W trakcie realizacji badań przeprowadzono sześć serii pomiarowych różniących

się między sobą stopniem wypełnienia bębna oraz udziałami objętościowymi cząstek małych i dużych:
1) 15 % (objętości bębna) cząstek A + 5 % (objętości bębna) cząstek B
2) 15 % cząstek A + 10 % cząstek B
3) 15 % cząstek A + 15 % cząstek B
4) 20 % cząstek A + 5 % cząstek B
5) 20 % cząstek A + 10 % cząstek B
6) 20 % cząstek A + 15 % cząstek B

Tab. 1. Zestawienie użytych materiałów
Tab. 1. Statement of the materials used

Lp.	Rodzaj materiału Type of material	Średnica cząstek Particles diameter	Gęstość nasypowa Bulk density	Kąt zsypu Angle of repose
A	Tworzywo sztuczne Artificial material	6 mm	1000 $kg \cdot m^{-3}$	29°
B	Tworzywo sztuczne Artificial material	1100 ÷ 1200 μm	580 $kg \cdot m^{-3}$	27°

Na podstawie zarejestrowanych obrazów z szybkiej kamery dokonano wizualnej oceny stanów zachowania się złoża, oraz wyznaczono trajektorię ruchu wypełnienia osobno dla cząstek o różnych średnicach. Zastosowana metodyka badawcza pozwala pogłębić wiedzę dotyczącą zachowania się cząstek złoża polidyspersyjnego w aparacie bębnowym, a tym samym przyczynić się do optymalizacji warunków prowadzonych w nim procesów.

WYNIKI I ANALIZA BADAŃ

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tabelach 2 i 3. Zauważono spadek prędkości początku i końca kataraktowania wraz ze wzrostem stopnia wypełnienia materiałem drobnym. Prędkości początku kaskadowania, krytyczna oraz wirowania utrzymywały się na stałym poziomie, co było spowodowane wypełnianiem przestrzeni pomiędzy cząstkami o większej średnicy przez cząstki drobne.

Zwiększenie wypełnienia podstawowego z 15 do 20% spowodowało spadek prędkości charakterystycznych, podobnie jak w przypadku zwiększania zawartości cząstek o mniejszej średnicy.

Prędkość początku kataraktowania odpowiednio dla wypełnienia 15 i 20% cząstkami podstawowymi zmniejszyła się o 14,28% oraz 6,67%, dla końca kataraktowania zmiany te wyniosły odpowiednio 8,7% oraz 4,76%.

Tab. 2. Wpływ stopnia wypełnienia bębna na charakterystyczne prędkości obrotowe (przy 15% wypełnieniu czastkami większymi)
Tab. 2. The influance of fill-in-degree of the drum on the characteristic rotational velocity (for 15% filling of larger particle)

Stany charakterystyczne Characteristic states	Stopień wypełnienia bębna Filling ratio of drum		
	15 % A + 5 % B	15 % A + 10 % B	15 % A + 15 % B
Początek kaskadowania Start cascading	8 obr·min^{-1}	8 obr·min^{-1}	10 obr·min^{-1}
Początek kataraktowania Start cataracting	35 obr·min^{-1}	32 obr·min^{-1}	30 obr·min^{-1}
Koniec kataraktowania Finally cataracting	46 obr·min^{-1}	44 obr·min^{-1}	42 obr·min^{-1}
Prędkość krytyczna Critical	52 obr·min^{-1}	50 obr·min^{-1}	50 obr·min^{-1}
Wirowanie Centrifuging	80 obr·min^{-1}	80 obr·min^{-1}	80 obr·min^{-1}

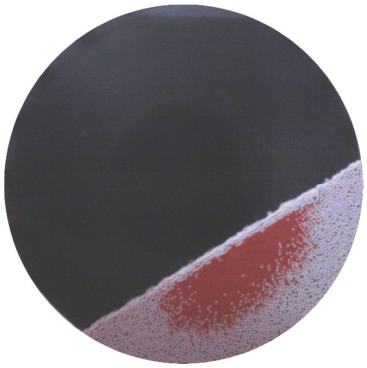
Tab. 3. Wpływ stopnia wypełnienia bębna na charakterystyczne prędkości obrotowe (przy 20% wypełnieniu czastkami większymi)
Tab. 3. The influance of fill-in-degree of the drum on the characteristic rotational velocity (for 20% filling of larger particle)

Stany charakterystyczne Characteristic states	Stopień wypełnienia bębna Filling ratio of drum		
	20 % A + 5 % B	20 % A + 10 % B	20 % A + 15 % B
Początek kaskadowania Start cascading	8 obr·min^{-1}	8 obr·min^{-1}	8 obr·min^{-1}
Początek kataraktowania Start cataracting	30 obr·min^{-1}	28 obr·min^{-1}	28 obr·min^{-1}
Koniec kataraktowania Finally cataracting	42 obr·min^{-1}	42 obr·min^{-1}	40 obr·min^{-1}
Prędkość krytyczna Critical	48 obr·min^{-1}	48 obr·min^{-1}	46 obr·min^{-1}
Wirowanie Centrifuging	80 obr·min^{-1}	80 obr·min^{-1}	82 obr·min^{-1}

Odpowiednio dobrane wypełnienie składające się z cząstek lżejszych o mniejszej średnicy oraz cząstek gęstszych o większej średnicy osłabia proces segregacji jednak w badaniach nie stwierdzono zakłóceń w segregacji wypełnienia [Xu i in. 2010].

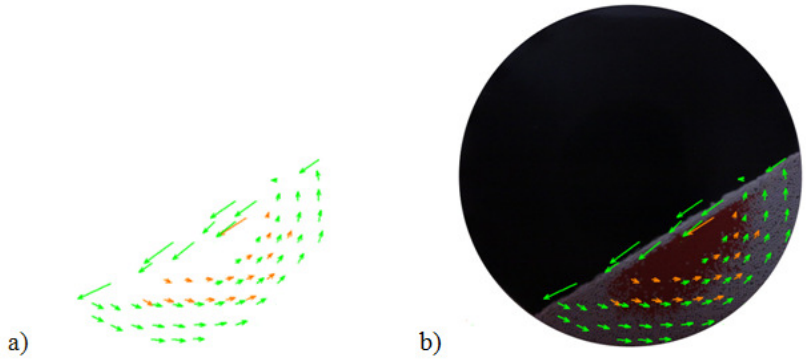
Przy niskich prędkościach obrotowych tj. na początku kaskadowania złoża, następuje wyraźna segregacja. Cząstki o mniejszej średnicy przemieszczają się

w kierunku środka wypełnienia zaś cząstki duże na zewnątrz (rys. 3). Przy wysokich prędkościach obrotowych bębna tj. pod koniec kataraktowania następuje odwrócenie kierunku segregacji, cząstki małe przmieszczają się w kierunku ścianki zaś cząstki duże w kierunku środka.



Rys. 3. Segregacja cząstek, przy prędkości równej 2 obr·min^{-1}
Fig. 3. Segregation of particles for velocity of 2 rpm

W celu analizy zachowania się wypełnienia, oddzielnie dla grupy małych i dużych cząstek, wykorzystano program Struktura. W programie tym na podstawie odcieni szarości cząstek wydzielono cząstki o różnych średnicach. Następnie oddzielnie dla tych grup wyznaczono w programie DPIV trajektorię ruchu cząstek, oraz naniesiono je na zdjęcia rzeczywiste (rys. 4).



Rys. 4. Ruch cząstek w złożu: a) trajektorie ruchu cząstek,
b) trajektoria ruchu cząstek na tle aparatu
Fig. 4. The particles movement in the bed: a) the trajectory of the particles,
b) the trajectory of particles with image from the camera

Sekwencyjna analiza obrazu pozwoliła na wyznaczenie obszaru nieruchomego rdzenia składającego się z cząstek o mniejszej średnicy oraz obszaru cyrkulacji cząstek dużych po zewnętrznej stronie złoża. Przy niskich prędkościach obrotowych bębna jedynie niewielka warstwa na granicy cząstek o różnych średnicach ulegała wzajemnemu mieszaniu.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analizę badań eksperymentalnych dokonano wykorzystując sekwencyjną analizę obrazu, która w przeciwieństwie do analiz statycznych obrazów daje pełną informację na temat zachowania się złoża w ruchu w aparatach bębnowych.

- Zwiększenie stopnia wypełnienia materiałem polidyspersyjnym przy niskich oraz wysokich prędkościach nie wpływa na charakterystyczne stany zachowania się złoża. Jedynie przy stanie kataraktowania złoża po jego rozluźnieniu powoduje obniżenie prędkości wraz ze wzrostem stopnia wypełnienia. Największą różnicę 14,28% odnotowano dla prędkości początku kataraktowania przy wypełnieniu 15% materiałem podstawowym.
- Oddzielna analiza obrazu zachowania się cząstek o różnych średnicach pozwoliła na wyznaczenie strefy: „martwej" składającej się z cząstek małych, cyrkulacji cząstek dużych po zewnętrznej stronie złoża oraz niewielkiej strefy mieszania.
- Przy niskich prędkościach obrotowych zaobserwowano wyraźną segregację cząstek złoża polidyspersyjnego. Nie zaobserwowano segregacji cząstek podczas kataraktowania.

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Literatura

1. BATTAGLIA A., BANASZEWSKI T.; 1972. Maszyny do przeróbki węgla, rud i surowców mineralnych, część I Maszyny do przesiewania i rozdrabniania. PWN, Warszawa – Kraków.

2. WODZIŃSKI P.; 2007. Przesiewanie kruszyw w przesiewaczach bębnowych. Surowce i maszyny budowlane, nr 1, 54-57.
3. SKOCZKOWSKA K., MALEK K., ULBRICH R.; 2014. Badanie modelowe ruchu wypełnienia podczas pracy młynów kulowych. Materiały ceramiczne tom. 66, nr 3, 336-340.
4. PEREIRA G.G., SINNOTT M.D., CLEARY P.W., LIFFMAN K., METCALFE G., SUTALO I.D.; 2011. Insights from simulations into mechanisms for density segregation of granular mixtures in rotating cylinders. Granular Matter 13, 53-74.
5. PEREIRA G.G., CLEARY P.W., 10-12 December 2012. Multi – component granular segregation in rotary classifier. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia.
6. CHAND R., KHASKHELI M.A., QADIR A., GE B. SHI Q.; 2012. Discrete particle simulation of radial segregation in horizontally rotating drum: Effects of drum – length and non – rotating end – plates. Physica A 391, 4590-4596.
7. XU Y., XU C., ZHOU Z., DU J., HU D.; 2010. 2D DEM simulation of particle mixing in rotating drum. Particuology 8, 141-149.

SEGREGATION IN THE ROTATING DRUM

S u m m a r y

The aim of this study was to determine the effect of fill-indegree of polydisperse material and drum velocity on the segregation process. Studies have shown a clear segregation of polydispersed particles at low velocitys. The PIV is able to determine: the stagnation, circulation and mixing zone. With fill-in-degree increase cataracting velocity decreases.

Key words: Segregation, rotating drum, PIV method, polydisperse bed

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 158

Nr 38 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2015**

JUSTYNA CHUDECKA*, TOMASZ TOMASZEWICZ*

PRZYDATNOŚĆ ERODOWANYCH GLEB POROLNYCH JAKO SIEDLISKA LEŚNEGO W OPARCIU O INDEKS TROFIZMU GLEB LEŚNYCH (ITGL)

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

W pracy określono, w oparciu o Indeks Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL), przydatność jako siedliska leśnego erodowanych gleb porolnych. W oparciu o klasyfikację bonitacyjną gleby te, niezależnie od lokalizacji w rzeźbie terenu, kwalifikują się do borów mieszanych. Według ITGL, gleby na wierzchowinie i zboczu to siedliska lasów mieszanych i lasów, a gleby u podnóża to siedliska lasowe.

Słowa kluczowe: zalesianie, grunty porolne, gleby erodowane i namywane, uziarnienie, właściwości chemiczne, Indeks Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL)

WSTĘP

W Polsce pod koniec lat 90. XX wieku, na skutek zmniejszenia opłacalności produkcji rolnej, rozpoczęło się intensywne odłogowanie gruntów rolnych [Marks i in. 2000], które na początku XXI wieku objęło ponad 2 mln ha gruntów rolnych [Orłowski i Nowak 2004]. Wśród odłogowanych gleb dominowały piaszczyste o słabej przydatności rolniczej (kompleks 6 i 7) oraz gleby zdegradowane przez erozję wodną [Siuta i Żukowski 2002, Rybicki 2005]. Zalesianie porolnych nieużytków jest alternatywą wobec pozostawienia ich odłogiem, a zarazem najskuteczniejszym sposobem biologicznej rekultywacji powierzchni ziemi, skutkującym poprawą warunków przyrodniczych, ochroną środowiska i zwiększeniem lesistości Polski [Węgorek 2008, Siuta 2009].

Przy pracach zalesieniowych na gruntach bezleśnych pierwszorzędną sprawą jest określenie typu siedliskowego lasu, który determinuje dobór gatunków lasotwórczych i ich procentowy udział w nasadzeniach. W praktyce typ siedliskowy lasu określany jest na podstawie rolniczej bonitacji gruntów, która jednak stanowi zbyt ogólną podstawę do planowania zalesień. Zdaniem Brożka

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

i in. [2008, 2011], określanie siedliska leśnego w oparciu o typologię gleb jest w znacznym stopniu subiektywne, zależne od umiejętności klasyfikatora i może prowadzić do niewłaściwego doboru roślinności do miejscowych warunków siedliskowych. Wiśniewski i Wojtasik [2012] jako przykład tego podają nadleśnictwo Szubin, gdzie aż 97,2% powierzchni lasów na gruntach porolnych wykazało niezgodność biocenozy z biotopem.

Zaistniała sytuacja wymusiła stworzenie wskaźnika, który pozwoliłby w sposób jednoznaczny na określenie przydatności siedliskowej gleby w oparciu o wyniki standardowych badań gleboznawczych. W warunkach Polski funkcję tę pełnić może Indeks Trofizmu Gleb Leśnych – ITGL [Brożek 2001, Brożek i in. 2001], uwzględniający zarówno trwałe właściwości gleby, jak uziarnienie, ale i cechy podlegające względnie szybkim zmianom, jak np. pH [Brożek i in. 2007]. ITGL zastosowano w badaniach siedlisk na glebach leśnych [Trawczyńska i Tołoczko 2007, Kondras i in. 2012], oraz przy ocenie potencjalnej przydatności leśnej obszarów porolnych [Meller i in. 2013, Chudecka i Tomaszewicz 2014].

Celem pracy jest określenie, w oparciu o ITGL [Brożek 2001], przydatności jako siedliska leśnego gleb porolnych usytuowanych w terenie urzeźbionym, objętym procesami erozji wodnej.

METODYKA BADAŃ

Obiektem badań były gleby położone w miejscowości Ginawa (gm. Węgorzyno, woj. zachodniopomorskie). Badania przeprowadzono w roku 1988, gdy gleby te były użytkowane przez Państwowe Gospodarstwo Rolne w Ginawie [Tomaszewicz 1995] oraz w roku 1999, po 8 latach odłogowania, kiedy byłe pole porastała roślinność zielna. W obu terminach badań na stoku o wystawie południowej wykonano łącznie 13 odkrywek glebowych, w tym po pięć w strefie wierzchowiny i zbocza oraz trzy w strefie podnóża (tab. 1). Wyniki uzyskane z obu okresów badań potraktowano jako powtórzenia.

Badania terenowe obejmowały opis morfologii gleb oraz pobór próbek glebowych z wyodrębnionych poziomów genetycznych. Metodami powszechnie przyjętymi w gleboznawstwie oznaczono w nich: uziarnienie według podziału przedstawionego w czwartym wydaniu Systematyki gleb Polski [PTG 1989], pH w H_2O, sumę kationów wymiennych oraz procentową zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego. Oprócz próbek z odkrywek glebowych pobrano również próbki zbiorcze z poziomu orno-próchnicznego (0-20 cm), które pozwoliły na ocenę właściwości powierzchniowej części profilu gleb reprezentowanych przez odkrywki.

W oparciu o wyniki analiz dla 13 profili glebowych obliczono wartość Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL) według kryteriów zaproponowanych

przez Brożka [2001], w tym dla 12 z nich wyliczono dodatkowo ITGL zmodyfikowany o wartości wskaźników określone dla prób zbiorczych z warstwy 0-20 cm z powierzchni w otoczeniu odkrywek. Otrzymane ITGL posłużyły do określenia potencjalnego typu siedliskowego lasu, jaki można wprowadzić na badany obszar.

Istotność różnic w wartościach Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL) oraz średnich ważonych wskaźników liczbowych tworzących ITGL, wyliczonych dla badanych gleb, stwierdzono za pomocą testu t-Studenta, posługując się funkcjami statystycznymi programu Microsoft Excel® 2002.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Według mapy glebowo-rolniczej badane gleby należą do kompleksu 6 przydatności rolniczej – żytniego słabego, typu Bw – gleby brunatne wyługowane i kwaśne oraz V klasy bonitacyjnej gruntów ornych. Według wytycznych przedstawionych w „Przewodniku po działaniu. Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne" [Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi 2011] oraz Zasadach hodowli lasu [2012], gleby V klasy gruntów ornych odpowiadają potencjalnemu typowi siedliskowemu lasu określanemu jako bór mieszany świeży (Bmśw).

Gleby zmywanej części stoku (wierzchowiny i zbocza), o uziarnieniu piasków gliniastych podścielonych płytko i średnio głęboko piaskami słabogliniastymi i luźnymi, bez śladów występowania wody gruntowej [Tomaszewicz 1995, Tomaszewicz i Lewandowski 2002], miały układ poziomów genetycznych: Abv-Bv1-Bv2-C. Według Systematyki gleb Polski [PTG 2011] odpowiada to glebom rdzawym właściwym, a według Klasyfikacji gleb leśnych [Biały i in. 2000] – glebom rdzawym właściwym porolnym. Gleby położone u podnóża stoku, o uziarnieniu glin na piaskach, bez śladów występowania wody gruntowej [Tomaszewicz 1995, Tomaszewicz i Lewandowski 2002], odznaczały się znacznym zróżnicowaniem zawartości części spławialnych w poziomie próchnicznym (20-40%, tab. 1). Układ poziomów genetycznych tych gleb, A-AC-2C, pozwolił określić je jako gleby czarnoziemne deluwialne [PTG 2011], a według Klasyfikacji gleb leśnych [Biały i in. 2000] – jako gleby deluwialne właściwe.

Brożek i Zwydak [2003] dla gleb siedlisk lasów mieszanych (LM) mezotroficznych przyjęli wartości ITGL w przedziale 16,1-26,0, a dla gleb siedlisk lasowych (L) eutroficznych – wartości ITGL w zakresie 26,1-36,0. Wartości Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL) dla gleb rdzawych z Ginawy położonych na wierzchowinie wynosiły 22,9-28,1, a na zboczu 23,8-28,2 (tab. 1), co pozwoliło uznać, że gleby te odpowiadały siedliskom lasów mieszanych (profile nr 1W, 3-5W, 1Z, 3-5Z) i lasów (profile 2W i 2Z) (tab. 1). Jest to zgod-

ne z wynikami Lasoty i in. [2005, 2011, 2011a, 2011b] oraz Zwydaka i in. [2011], którzy udokumentowali występowanie gleb rdzawych wśród siedlisk odpowiadającym borom (B), borom mieszanym (BM), lasom mieszanym (LM) i lasom (L). Wartości ITGL wyliczone dla gleb rdzawych właściwych wynosiły 13,7-24,2, a dla gleb rdzawych właściwych porolnych 17,3-28,2 [Brożek i Zwydak 2003, Trawczyńska i Tołoczko 2007, Kondras i in. 2012, Chudecka i Tomaszewicz 2014].

Wartości ITGL dla gleb podnóża wahały się w zakresie 27,1-32,7 (tab. 1), co oznacza, iż były to gleby eutroficzne, potencjalnie stanowiące siedlisko lasowe (L). W porównaniu z glebami deluwialnymi w lasach (ITGL 31,4-39,9) [Brożek i Zwydak 2003], wartości ITGL w Ginawie nie były wysokie. Również Meller i in. [2013] otrzymali wyższe wartości ITGL (33,9-40,2) dla gleb czarnoziemnych deluwialnych występujących w obszarze porolnym Przelewic (woj. zachodniopomorskie).

Oceniając stan badanych gleb możemy stwierdzić, że zastosowanie Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych pozwoliło podzielić rozpatrywany obszar na dwie strefy istotnie różniące się żyznością (tab. 2, 3). Strefa erodowana (wierzchowina i zbocze) odpowiadała siedliskom leśnym (przeważnie LM, rzadziej L), a grunty deluwialne w strefie podnóża odpowiadały siedliskom lasu (L). Analiza statystyczna sześciu wskaźników składających się na ITGL (tab. 1) pozwoliła stwierdzić że, jedynie wartość wskaźnika stopnia rozkładu materii organicznej ($I_{C/N}$) była istotnie wyższa w glebach namywanych w stosunku do zmywanych (tab. 3).

Według wartości ITGL wszystkie badane gleby okazały się leśnymi siedliskami znacznie żyźniejszymi niż określane w oparciu o bonitację rolniczą, według której zarówno wierzchowina, zbocze, jak i podnóże, zaliczone do V klasy gruntów ornych, stanowiłyby siedlisko borów mieszanych (BM). Powodów tak znaczącej różnicy w ocenie potencjalnej żyzności siedlisk należy szukać w długotrwałym użytkowaniu rolniczym, skutkującym wysokimi wartościami, zmiennych w czasie wskaźników: $I_{C/N}$, I_{pH}, I_{kat}, składających się na ITGL. Kondras i in. [2012] podkreślili, że zalesione gleby porolne charakteryzują się podwyższonym pH i wyższym stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami w porównaniu z glebami leśnymi, a ślady użytkowania rolnego utrzymują się co najmniej przez 1-2 pokolenia drzewostanu. Pozwala to na wyróżnianie porolnych odmian gleb tworzących siedliska, określane jako zniekształcone porolne [Instrukcja urządzania lasu 2012]. Na zróżnicowanie przydatności gleb porolnych jako siedlisk leśnych ocenianych w oparciu o bonitację rolniczą i wyniki badań gleboznawczych zwrócili uwagę Wanic i Błońska [2011]. Grunty orne V i VI klasy bonitacyjnej, które według Instrukcji urządzania lasu [2012] powinny stanowić siedlisko borów (B) i borów mieszanych (BM), po uwzględnieniu wyników badań gleboznawczych zakwalifikowane zostały jako siedliska lasów mieszanych (LM) i lasów (L). Również Gałązka [2011], Meller

i in. [2013] oraz Chudecka i Tomaszewicz [2014] zaobserwowali, że wyniki badań gleboznawczych pozwalają wyróżnić typy siedliskowe o większej żyzności niż proponowane na podstawie klasyfikacji bonitacyjnej w „Zasadach hodowli lasu" [2012].

Tab. 1. Wskaźniki liczbowe oraz wartości indeksu trofizmu gleb leśnych (ITGL) dla gleb uprawnych i odłogowanych z Ginawy obliczone według kryteriów Brożka [2001]
Table 1. Numerical indexes and values of Forest Soil Trophism Index (FSTI) for arable and fallowed soils from Ginawa calculated acc. criteria of Brożek [2001]

Nr	Miąższość poziomu [cm] Horizon thickness [cm]	Zawartość frakcji o średnicy ziaren w mm [%] Content of fraction with diameter in mm [%]			Wskaźniki Indexes			C/N	$I_{C/N}$	pH in H_2O	I_{pH}	S BC [cmol·dm^{-3}]	I_{kat}	I_{sum}	ITGL FSTI
		>1,0	0,1-0,02	<0,02	I_{Skel}	I_{Silt}	I_{Clay}								
WIERZCHOWINA - SUMMIT															
1W	0-35	14,5	14	10	0	7	6	4,8	10	5,2	6	0,2	2	1085	23,3
GU	35-70	13,1	5	5	0	4	4			5,5	6	0,4	3	595	
	70-100	16,4	7	7	0	5	5			6,4	8	1,1	6	720	
	100-150	11,4	4	5	0	4	4			6,5	8	1,1	6	1100	
2W	0-40	14,5	21	14	0	8	7	6,8	10	5,7	7	0,4	7	1560	28,1
GU	40-70	12,6	17	14	0	8	7			6,7	8	1,0	6	870	
	70-90	20,5	2	9	0	2	2			6,6	8	1,8	5	340	
	90-150	16,9	8	6	0	6	5			6,5	8	1,4	5	1440	
3W	0-26	24,6	22	9	0	8	6	12,8	8	5,2	6	1,9	6	884	22,9
GU	26-60	19,6	6	5	0	5	4			5,3	6	1,5	6	714	
	60-90	18,8	5	6	0	4	5			5,6	7	0,7	5	630	
	90-130	16,9	2	6	0	2	5			5,4	6	1,1	6	760	
	130-150	23,3	8	3	0	6	3			5,4	6	2,2	7	440	
4W	0-32	17,3	14	11	0	7	7	10,7	9	5,2	6	2,0	6	1120	25,7
GU	32-65	19,1	11	16	0	7	8			5,2	6	0,8	4	825	
	65-83	15,4	22	8	0	8	6			5,5	6	1,0	5	450	
	83-120	20,1	13	10	0	7	6			5,5	6	1,0	5	888	
	120-150	12,4	12	3	0	7	3			5,4	6	0,6	3	570	
5W	0-32	17,4	29,1	16	0	8	7	11,7	9	5,8	7	1,8	6	1184	23,0
GO	32-67	31,9	31,0	3	1	8	2			6,1	7	1,0	5	735	
	67-110	30,2	10,5	1	1	5	0			6,2	7	1,5	6	731	
	110-150	32,9	8,0	3	1	5	2			6,1	7	3,9	7	800	
ZBOCZE - SLOPE															
1Z	0-25	13,5	13	11	0	7	7	2,9	10	6,2	7	0,4	3	850	23,8
GU	25-40	12,3	8	6	0	6	5			5,8	7	1,0	5	345	
	40-90	20,2	3	5	0	3	4			6,8	8	1,8	6	1050	
	90-150	14,5	4	5	0	4	4			6,9	8	1,4	6	1320	
2Z	0-35	9	21	10	0	8	6	5,4	10	5,3	6	0,4	3	1155	28,2
GU	35-55	8,6	27	15	0	9	7	5,1	10	6,3	8	0,6	4	760	
	55-130	15,4	14	10	0	7	6			6,3	8	0,6	4	1875	
	130-150	13,5	6	5	0	5	4			6,4	8	1,0	5	440	

3Z	0-25	14,5	24	14	0	8	7	9,2	10	5,5	7	4,5	7	950	25,6
GU	25-55	17,3	17	14	0	8	7			5,5	5	0,7	5	780	
	55-90	17,8	11	13	0	7	7			5,3	1	0,1	1	735	
	90-150	21,5	12	3	0	7	3			5,4	7	2,7	7	1380	
4Z	0-25	12,5	12	14	0	7	7	13,2	8	5,6	7	1,5	6	875	25,8
GU	25-40	16,5	8	12	0	6	7			5,3	6	1,1	6	375	
	40-90	12,2	12	8	0	7	6			5,6	7	1,8	6	1300	
	90-150	15,9	8	3	0	6	3			6,0	7	1,1	6	1320	
5Z	0-35	16,8	31,4	15	0	8	6	11,7	9	5,9	7	1,1	6	1260	25,7
GO	35-73	26,0	15,1	3	0	6	2			6,0	7	1,3	6	798	
	73-100	26,2	10,8	3	0	6	2			6,2	7	2,3	7	594	
	100-150	25,9	11,3	4	0	6	3			6,3	8	2,2	7	1200	
PODNOŻE - DELLUVIAL ZONE															
1P	0-50	10,6	29	20	0	9	8	7,5	10	6,0	7	2,3	7	2050	32,7
GU	50-100	10,4	26	17	0	9	8	2,4	10	6,1	7	0,8	5	1950	
	100-130	17,4	4	4	0	4	4			6,2	7	0,5	4	570	
	130-150	20,8	1,9	3	0	1	3			6,1	7	1,4	6	340	
2P	0-57	5,4	24	40	0	8	9	6,2	10	5,4	6	3,3	7	2280	27,7
GU	57-80	15,9	15	11	0	7	7	1,3	10	6,0	7	0,7	5	828	
	80-150	11,1	2	2	0	1	1			6,3	8	0,8	5	1050	
3P	0-30	10,7	23,9	29	0	7	8	8,4	10	5,6	7	2,6	7	1170	27,1
GO	30-50	9,5	26,9	20	0	8	7	9,4	10	5,8	7	3,0	7	780	
	50-75	15,6	19,8	8	0	7	5			6,0	7	0,7	5	600	
	75-105	13,0	9,9	3	0	5	2			6,1	7	0,7	5	570	
	105-150	26,8	9,6	4	0	5	3			6,1	7	1,8	6	945	

Objaśnienia/Explanation: GU – gleba uprawna/arable soil, GO – gleba odłogowana/fallowed soil, S/BC – suma zasad wymiennych/base capacity, I_{Skel}, I_{Silt}, I_{Clay}, $I_{C/N}$, I_{pH}, I_{kat} – wskaźniki liczbowe obliczone według kryteriów Brożka [2001], dotyczące odpowiednio: frakcji szkieletu (I_{Skel}), frakcji pyłu (I_{Silt}) i frakcji części spławialnych (I_{Clay}), stopnia rozkładu materii organicznej ($I_{C/N}$), odczynu (I_{pH}) i sumy zasad wymiennych (I_{kat})/numerical indexes calculated acc. criteria of Brożek [2001] concerning respectively: fraction of skeleton (I_{Skel}), fraction of silt (I_{Silt}), fraction of clay (I_{Clay}), degree of organic matter decomposition ($I_{C/N}$), pH reaction (I_{pH}) and base capacity (I_{kat}), I_{sum} - suma ważona wskaźników liczbowych/weighted sum of numerical indexes

Tab. 2. Wartości Indeksu Troficznego Gleb Leśnych (ITGL) dla gleb z różnych elementów rzeźby terenu oraz istotność różnic między nimi
Table 2. Values of Forest Soil Trophism Index (FSTI) for soils of different elements of relief and significance of differences between them

Element rzeźby Relief element	Wartość ITGL (zakres)/średnia Values of FSTI (range)/average	Wierzchowina Summit	Zbocze Slope	Podnóże Delluvial zone
Wierzchowina	(22,9-28,1)/24,9	-	r.n.	r.i.
Zbocze	(23,8-28,2)/26,0	r.n.	-	r.i.
Podnóże	(26,9-32,7)/27,3	r.i.	r.i.	-

Objaśnienia do tab. 2 i 3:/Explanation for tab. 2, 3: r.n. - różnica nieistotna przy α=0,05/ difference not significant at α=0,05; r.i. – różnica istotna/significant difference

Tab. 3. Wartości stopnia rozkładu materii organicznej (IC:N) dla gleb z różnych elementów rzeźby terenu oraz istotność różnic między nimi
Table 3. Values of degree of organic matter decomposition (IC:N) for soils of different elements of relief and significance of differences between them

Element rzeźby Relief element	Wartość $I_{C:N}$ Values of $I_{C:N}$ (zakres)/średnia (range)/average	Wierzchowina Summit	Zbocze Slope	Podnóże Delluvial zone
Wierzchowina	(1,39-2,67)/2,07	-	r.n.	r.i.
Zbocze	(1,33-3,67)/2,09	r.n.	-	r.i.
Podnóże	(3,33-6,67)/4,80	r.i.	r.i.	-

WNIOSKI

- Według przyjętych zasad hodowli lasu gleby w Ginawie z V klasy bonitacyjnej gruntów ornych, niezależnie od lokalizacji w rzeźbie terenu, kwalifikują się do typu siedliskowego lasu określanego jako bór mieszany (BM).
- W oparciu o wartości Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL) gleby na wierzchowinie i zboczu to siedliska lasów mieszanych i lasów, a gleby u podnóża to siedliska lasowe.
- Wartości ITGL gleb na wierzchowinie i zboczu były istotnie niższe niż u podnóża stoku na skutek istotnie mniejszego wskaźnika stopnia rozkładu materii organicznej ($I_{C/N}$).
- Zalesienie przeprowadzone w oparciu o ITGL pozwala dokładniej ocenić potencjalną przydatność gleb, wprowadzić nasadzenia lepiej dopasowane do gleb, o znaczniejszej różnorodności gatunkowej i wyższej przydatności użytkowej.

LITERATURA

1. BIAŁY, K.; BROŻEK, S.; CHOJNICKI, J.; CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA, D.; JANUSZEK, K.; KOWALKOWSKI, A.; KRZYŻANOWSKI, A.; OKOŁOWICZ, M.; SIENKIEWICZ, A.; SKIBA, S.; WÓJCIK, J.; ZIELONY, R.; 2000. Klasyfikacja gleb leśnych Polski. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa; ss. 123.
2. BROŻEK, S.; 2001. Indeks trofizmu gleb leśnych. Acta Agraria et Silvestria 39, 17-33.

3. BROŻEK, S.; LASOTA, J.; ZWYDAK, M.; 2001. Próba zastosowania indeksu trofizmu gleb leśnych do diagnozy siedlisk nizinnych i wyżynnych. Acta Agraria et Silvestria 39, 35-46.
4. BROŻEK, S.; LASOTA, J.; ZWYDAK, M.; WANIC, T.; GRUBA, P.; BŁOŃSKA, E.; 2011. Zastosowanie siedliskowego indeksu glebowego (SIG) w diagnozie typów siedlisk leśnych. Rocz. Glebozn. 62/4, 133-149.
5. BROŻEK, S.; ZWYDAK, M.; 2003. Atlas gleb leśnych Polski. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa; ss. 467.
6. BROŻEK, S.; ZWYDAK, M.; LASOTA, J.; 2008. Liczbowy indeks troficznych odmian podtypów gleb bielicowych i rdzawych. Rocz. Glebozn. 60[1], 7-17.
7. BROŻEK, S.; ZWYDAK, M.; WANIC, T.; GRUBA, P.; LASOTA, J.; 2007. Kierunki doskonalenia metod rozpoznawania siedlisk leśnych. Sylwan 151[2], 26-34.
8. CHUDECKA, J.; TOMASZEWICZ, T.; 2014. Ocena porolnych gleb rdzawych jako siedliska leśnego na podstawie Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL) i Siedliskowego Indeksu Glebowego (SIG). Uniwersytet Zielonogórski, Zesz. Nauk. nr 156, Inżynieria Środowiska nr 36, 213-222.
9. GAŁĄZKA, S.; 2011. Potencjał produkcyjny gleb porolnych przekazanych do zalesienia w nadleśnictwie Międzyrzecz. Zarządzanie ochroną przyrody w lasach. Tom V. Wyższa Szkoła Zarządzania Środowiskiem w Tucholi. Tuchola 2011, 50-56. ISSN 2081-1438.
10. INSTRUKCJA URZĄDZANIA LASU.; 2012. Część 2. Instrukcja wyróżniania i kartowania w Lasach Państwowych typów siedliskowych lasu oraz zbiorowisk roślinnych. Załącznik do Zarządzenia nr 55 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 21 listopada 2011 r. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, ISBN 978-83-61633-66-2 [całość], 978-83-61633-70-9 [tom II], Warszawa, ss.160.
11. KONDRAS, M.; CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA, D.; SIENICKA, P.; OTRĘBA, A.; TORZEWSKI, K.; OKTABA, L.; 2012. Zapas węgla organicznego w glebach leśnych zespołu kontynentalnego boru mieszanego świeżego w Kampinoskim Parku Narodowym. Rocz. Glebozn. 63[4], 26-33.
12. LASOTA, J.; BROŻEK, S.; ZWYDAK, M.; WANIC, T.; 2011. Różnorodność gleb acydofilnych lasów liściastych, świetlistej dąbrowy subkontynentalnej oraz ubogich postaci grądów. Rocz. Glebozn. 62[4], 73-92.
13. LASOTA, J.; BROŻEK, S.; ZWYDAK, M.; WANIC, T.; 2011a: Różnorodność gleb żyznych buczyn i grądów. Rocz. Glebozn. 62[4], 93-108.
14. LASOTA, J.; KARP, M.; BISKUP, S.; 2005. Siedliska kwaśnej dąbrowy trzcinnikowej [Calamagrostio arundinaceae-quercetum petraeae] w Środkowej Wielkopolsce. Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 4[1], 23-39.

15. LASOTA, J.; ZWYDAK, M.; WANIC, T.; BROŻEK, S.; 2011b. Różnorodność gleb zespołów borów mieszanych. Rocz. Glebozn. 62[4], 54-72.
16. MARKS, M.; NOWICKI, J.; SZWEJKOWSKI, Z.; 2000. Odłogi i ugory w Polsce. Cz. I. Przyczyny odłogowania i zjawiska towarzyszące. Fragm. Agron. 1, 5-19.
17. MELLER, E.; NIEDŹWIECKI, E.; MALINOWSKI, R.; KUBUS, M.; PODLASIŃSKI, M.; 2013. Przydatność gleb przeznaczonych pod powiększenie kolekcji Ogrodu Dendrologicznego w Przelewicach. Część II. Właściwości sorpcyjne i zawartość składników chemicznych. Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech. 305 [27], 51-66.
18. MINISTERSTWO ROLNICTWA I ROZWOJU WSI.; 2011. Przewodnik po działaniu. Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne. Warszawa. Wydanie III ss.36. ISBN: 978-83-62164-36-3.
19. ORŁOWSKI, G.; NOWAK, L.; 2004. Problematyka odłogowania gruntów w świetle wyników badań prowadzonych w krajach Europy Zachodniej i Stanach Zjednoczonych. Acta Sci. Pol., Agricultura 3(2), 27-36.
20. PTG.; 1989. Systematyka gleb Polski. Wydanie IV. Rocz. Glebozn. 40[3/4]; ss. 150.
21. PTG.; 2011. Systematyka gleb Polski. Wydanie 5. Rocz. Glebozn. 62[3]; ss.193.
22. RYBICKI, R.; 2005. Struktura użytkowania gruntów w terenach erodowanych na przykładzie wybranej mikrozlewni środkowej części zlewni Opatówki. Acta Agrophys. 116, 409-415.
23. SIUTA, J.; 2009. Degradacja i rekultywacja powierzchni ziemi w Polsce. Zeszyty Naukowe Południowo-Wschodniego Oddziału Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej z siedzibą w Rzeszowie i Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, Oddział w Rzeszowie, 11, 235-241.
24. SIUTA, J.; ŻUKOWSKI, B.; 2002. Ekologiczne podstawy racjonalizacji użytkowania ziemi w Polsce. Inżynieria Ekologiczna 6, 18-30.
25. TOMASZEWICZ, T.; 1995. Charakterystyka i wskaźniki degradacji gleb uprawnych intensywnie użytkowanych w obszarach morenowych Pomorza Zachodniego. Praca doktorska wykonana w Zakładzie Erozji i Rekultywacji Gleb Akademii Rolniczej w Szczecinie pod kierunkiem dr hab. inż. Adama Koćmita prof. AR. Szczecin, maszynopis; ss. 192.
26. TOMASZEWICZ, T.; LEWANDOWSKI, L.; 2002. Stan żyzności gleb piaszczystych w Ginawie po ośmioletnim okresie ich odłogowania. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis. Agricultura, tom 90.
27. TRAWCZYŃSKA, A.; TOŁOCZKO, W.; 2007. Żyzność siedlisk leśnych w gminie Ujazd. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych 31, 46-51.
28. WANIC, T.; BŁOŃSKA, E.; 2011. Zastosowanie metody SIG w ocenie przydatności terenów porolnych do hodowli lasu. Rocz. Glebozn. 62[4], 173-181.

29. WĘGOREK, T.; 2008. Biologiczne metody zmniejszania zagrożenia gleb erozją wodną (fitomelioracje). Studia i Raporty IUNG-PIB 10, 123-148.
30. WIŚNIEWSKI, P.; WOJTASIK, M.; 2012. Glebochronna funkcja lasów a zalesienia porolne na przykładzie Nadleśnictwa Szubin. Polish Journal of Agronomy 11, 81-88.
31. ZASADY HODOWLI LASU.; 2012. Załącznik do Zarządzenia nr 53 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 21 listopada 2011 roku, obowiązujący w jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych od dnia 1 stycznia 2012 r. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, ISBN 978-83-61633-65-5, Warszawa; ss.72.
32. ZWYDAK, M.; LASOTA, J.; BROŻEK, S.; WANIC, T.; 2011. Różnorodność gleb zespołów borów sosnowych. Rocz. Glebozn. 62[4], 39-53.

SUITABILITY OF ERODED FALLOWS AS FOREST HABITAT ON BASE OF FOREST SOIL TROPHISM INDEX (FSTI)

S u m m a r y

Authors in this work determined, on base of Forest Soil Trophism Index (FSTI), the suitability of eroded fallows as forest habitat. On base of soil quality classification these soils independently from localization in relief are habitat of mixed coniferous. According FSTI the soils from summit and slope belong to habitat of mixed forests and forests but soils of delluvial zone belong to habitat of forests.

Key words: forestation, fallows, eroded and delluvial soils, soil texture, chemical properties, Forest Soil Trophism Index (FSTI)

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 158

Nr 38 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2015**

MONIKA DOMANOWSKA*, JAKUB KOSTECKI**

OGRODY DESZCZOWE W MIASTACH JAKO JEDNO Z NARZĘDZI WDRAŻANIA USŁUG EKOSYSTEMÓW

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

Ogrody deszczowe określić można mianem jednego z narzędzi zwiększania wykorzystania zasobów przyrodniczych miast. Doświadczenia zagraniczne wskazują, że przestrzeń publiczna w miastach może i powinna być uposażana w ogrody deszczowe. Ogrody te mają na celu wstępne oczyszczanie wody opadowej oraz wody spływającej z nawierzchni utwardzonych w mieście (dróg, placów, dachów) oraz zwiększanie powierzchni biologicznej w miastach. Ponad to oprócz funkcji oczyszczających mogą też służyć do aranżacji atrakcyjnej przestrzeni publicznej. Jednym z założeń pojęcia usług ekosystemów jest to, iż usługi te powodują również korzyści finansowe (pośrednie i bezpośrednie). W artykule opisano zyski jakie czerpane są ze stosowania ogrodów deszczowych w mieście, tu np. zyski związane ze zmniejszaniem zużycia wody w celu podlewania terenów zieleni miejskiej. Opisano również rodzaje ogrodów deszczowych oraz sposób ich budowy.

Słowa kluczowe: ogrody deszczowe, usługi ekosystemów, usługi ekosystemów w miastach, zasoby przyrodnicze miasta

WPROWADZENIE

Pojęcie usług ekosystemów jak i ich teoria pochodzi z lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Autorem teorii jest Amerykański badacz, ekonomista Robert Constanza. Badania nad usługami ekosystemów rozwijają się od lat 90 XX wieku i świadomość potrzeby poszerzania tych usług w miastach jest już obowiązującą tendencją (Costanza 1997; Groot 2002). Rozwój miasta uwzględniającego rozwój szaty roślinnej i poszanowanie przyrody jest jednym z wymogów Unii Europejskiej. Obecnie jedną z najpopularniejszych definicji usług ekosystemów jest definicja opracowana przez United Nations: „*Usługi ekosys-*

* SGGW w Warszawie, Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu
** Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

temów stwarzają zyski, jakie ludzie czerpią z funkcjonowania ekosystemów. Tu zawarte są zarówno zyski zaopatrujące, regulacyjne, kontrolujące i kulturowe. Usługi ekosystemów utrzymują jakość życia na Ziemi. " (Millennium Ecosystem Assessment (MA), United Nations Environment Programme, 2005). Pojęcie usług ekosystemów doczekało się w literaturze przedmiotu wielu innych definicji, jednakże wszystkie z nich kładą nacisk na to iż środowisko przyrodnicze daje nam zyski, które możemy przeliczyć na pieniądze.

Fot. 1 Roślinność zasilana wodą deszczową, Amsterdam [Domanowska 2012]
Phot. 1. Plants supplied by rain water in Amsterdam [Domanowska 2012]

Ogrody deszczowe są przykładem aranżacji przestrzeni, która wspomaga funkcjonowanie przyrodnicze miasta (fot. 1). Dotychczasowe doświadczenia kształtowania przestrzeni publicznych, terenów zieleni jak również ogrodów w Polsce traktują marginalnie możliwości wykorzystania zasobów przyrodniczych miasta na cele oczyszczania wody opadowej. „*Określając korzyści dostarczane przez środowisko, planiści, edukatorzy oraz menedżerowie mogą osiągnąć większy postęp w zakresie tworzenia zrównoważonego miasta*" [TEEB 2011]. W niniejszym wykazania, że wdrażanie projektów uwzględniających podnoszenie zysków i walorów przyrodniczych daje większe zyski dla użytkowników miast. Badania te zaliczyć można do badań podstawowych nad rozwojem współczesnych tendencji kształtowania przestrzeni miejskiej. Gdzie

proces kształtowania przestreni, uwzględniający wzrostu zasobów przyrodniczych jest gwarantem podnoszenia jakości przyrodniczej miasta, która bezpośrednio oddziałuje na jakość życia.

Ogród deszczowy jest terminem powszechnie używanym do określenia nasadzenia roślin w gruncie bądź pojemniku, które usuwają zanieczyszczenia z przepływającej wody deszczowej zbieranej z powierzchni dróg, placów i dachów [Śmietańska 2012]. Przykład takiego ogrodu przedstawiono na fot.2. Ogrody deszczowe powodują również zmniejszania odprowadzania wody z powierzchni nieprzepuszczalnych do kanalizacji, zwiększając w ten sposób retencję wód, czyli zatrzymywanie wody w krajobrazie.

Fot. 2 Ogród deszczowy w Dusseldorfie [Domanowska 2012]
Phot. 2. Rain garden in Dusseldorf [Domanowska 2012]

Typologia podstawowych usług ekosystemów zgodnie z TEEB [2011] przedstawia się nastepująco:

a) Usługi zaopatrujące w żywność, surowce oraz wodę;
b) Usługi regulacyjne, wpływające na jakość powietrza i klimat, sekwestrację węgla (co wpływa na regulację klimatu w skali globalnej), umniejszające negatywny wpływ zjawisk ekstremalnych, oczyszczanie ścieków, po-

wstrzymywanie erozji gleb, wpływ na żyzność gleb, zapylanie (wpływ fauny na zapylanie oraz flory, która jest producentem żywności);

c) Usługi podstawowe lub siedliskowe takie jak: ekosystemy są siedliskiem dla gatunków roślin i zwierząt, ekosystemu gwarantują zachowanie różnorodności gatunkowej;

d) Usługi kulturowe wpływające na jakość życia człowieka takie jak możliwość: rekreacji na świeżym powietrzu, turystyka, wartości estetyczne oraz wyróżniane są również wartości takie jak doświadczenia duchowe (przypisywanie znaczeń kulturowych elementom przyrodniczym).

Ogrody deszczowe są albo niewielkimi instalacjami (aranżacjami przestrzeni) przy terenach zabudowanych. Jednakże oczyszczanie wody deszczowej przez zbiorniki obsadzone roślinami o zdolnościach zatrzymywania zanieczyszczeń wody mogą być również elementami wielko przestrzennymi. Zyski czerpane z ogrodów deszczowych znajdziemy w każdej z grup podstawowych usług ekosystemów. ogrody deszczowe zwiększają udział wody w krajobrazie, zatrzymując niewielkie jej ilości na powierzchni gruntu, spowolniające jej wchłanianie. Ogrody deszczowe są siedliskiem życia nie tylko odpowiednio dobranej flory ale również mogą być siedliskiem dla owadów. Ogrody deszczowe wpływają pośrednio na czystość gleb i wód podziemnych. Z zakresu usług kulturowych ogrody deszczowe pełnią funkcje estetyczne oraz edukacyjne. Wizualnie ogród deszczowy przypomina zwykły ogród. Jednakże zarówno użyte rośliny jak i podłoże pod ogrodem mają zdolność do oczyszczania wody np. z zawartych w wodzie deszczowej metali ciężkich oraz związków białkowo-tłuszczowych. Użyte do ogrodów deszczowych rośliny to tak zwane rośliny hydrofitowe, których korzenie bądź kłaczą zatrzymują zanieczyszczenia z pobranej przez siebie wody. Podłoże pod ogrodem deszczowym zatrzymuje zanieczyszczenia zawarte w wodzie poprzez odpowiednio dobrane warstwy piasku i żwiru.

BUDOWA OGRODÓW DESZCZOWYCH

Opisane w artykule ogrody deszczowe przeznaczone są do lokalizacji w pojemnikach i w gruncie. Opisane ogrody deszczowe mają na celu oczyszczenie wody deszczowej zbieranej przez rynny oraz odprowadzanej z powierzchni utwardzonych. Przekroje przez schematy ogrodów deszczowych przedstawiono na rys. 1 i 2.

Ogród deszczowy w pojemniku najlepiej umieścić bezpośrednio przy źródle odprowadzającym deszczówkę z dachów, czyli przy wylocie rynny. Może się zdarzyć, że wylot rynny będzie umieszczony za nisko i konieczne będzie skrócenie rynny na poziomie pojemnika z roślinami. Takie zlokalizowanie ogrodu

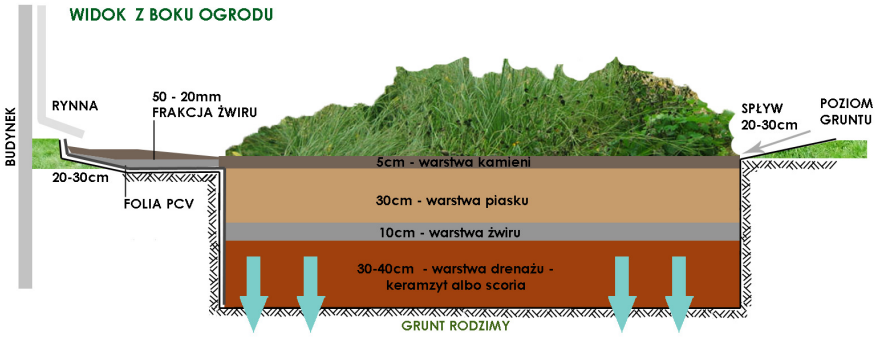
zminimalizuje konieczność kupowania rur doprowadzających do niego wodę. Skrzynia z roślinami powinna być lekko oddalona od ściany budynku. Zalecana odległość to minimum 30cm. W trakcie doboru miejsca na ogród deszczowy warto zwrócić uwagę by jego usytuowanie nie przeszkadzało w dostępie do urządzeń technicznych przy budynku (np. kratek wylotowych czy skrzynek z instalacją elektryczną). Ważne by nie postawić pojemnika z roślinami na włazie od systemu kanalizacji. By określić wielkość ogrodu jaki jest nam niezbędny należy dokonać pomiaru powierzchni dachu budynku z jakiej odprowadzana jest woda do rynny, z której woda zasila pojemnik z roślinami. Założyć można, że wielkość ogrodu powinna wynosić około 2% powierzchni dachu, z którego odprowadzana jest woda.

Rys. 1 Przekrój przez ogród deszczowy w gruncie, z uszczelnieniem dna i rurą podłączaną do kanalizacji [Domanowska dla Fundacji Sendzmira]
Ryc. 1. Section through the rain garden in the ground, sealed bottom, pipe pluged into sewer sysem [Domanowska for Sendzimir Foundation]

Wypełnienie ogrodu deszczowego również pełni funkcje oczyszczającą wodę. W podłożu ogrodu deszczowego następuje etap mechanicznego oczyszczania wody. Woda stopniowo przesączana jest przez podłoże o zróżnicowanych frakcjach. Na samej górze ogrodu znajdują się kamienie, które umniejszają zagrożenie podmywania ogrodu oraz spowolniają spływ wody. Kolejną warstwą

jest warstwa mieszanki piasku i ziemi. Gwarantująca możliwość ukorzenienia się roślin. Następnymi warstwami są warstwa piasku, a pod nią warstwa żwiru. Na samym dnie ogrodu usytuować można warstwę drenującą, którą stanowić może np. keramzyt.

Rośliny jakie zastosujemy w ogrodzie powinny mieć zdolność do oczyszczania wody, znosić okresy suszy i zalewania. Są to tak zwane rośliny hydrofitowe. Zaleca się wykorzystanie roślin wieloletnich (bylin), tak by nie było konieczności corocznych nasadzeń, co powoduje poruszanie warstw drenujących.



Rys. 2 Przekrój przez ogród deszczowy w gruncie, bez uszczelnienia dna – woda infiltruje do gruntu [Domanowska dla Fundacji Sendzmira]
Ryc. 1. Section through the rain garden in the ground, non-sealed bottom, water infiltrates into the soil [Domanowska for Sendzimir Foundation]

Przykładowymi roślinami odpowiednimi do ogrodów deszczowych w polskich warunkach klimatycznych są:

- turzyce (*Carex*), np. popularna, rodzima turzyca owłosiona (*Carex hirta*);
- sit (*Juncus*) np. powszechnie występujący sit rozpierzchły (*Juncud effusus* lub *Juncus sffusus* 'Spiralis" o skręconych liściach);
- irysy czyli kosaćce (*Iris*), popularne w Polsce rośliny bulwiaste o ozdobnych liściach i kwiatach;
- lobelia szkarłatna, inaczej zwana stroiczką czerwoną (*Lobelia cardinalis*), nieliczna z roślin kwitnących na ciemno czerwony kolor;
- miecznica wąskolistna (*Sisyrinchium angustifolium*), z rodziny kosaćców, kwitnie na fioletowo;
- rodzime paprocie wieloletnie: długosz królewski (*Osmunda regalia*), wietlica samicza (*Athyrium filix-femina*).

Nie cały ogród musi być obsadzony hydrofitami ale zaleca się by przynajmniej 50% roślin sadzonych w ogrodzie deszczowym miało właściwości pochłaniania zanieczyszczeń. Ważne by rośliny dobrane do ogrodu lubiły panujące

w nim warunki: okresy suche i mokre, spore zacienienie ogrodu (ogród umieszczony jest przy budynku rzucającym cień). Zaleca się by rośliny w ogrodzie deszczowym sadzone były dość gęsto (około 6 roślin na metr kwadratowy ogrodu).

Tab. 1. Przykłady roślin stosowanych w ogrodach deszczowych
Tab. 1. Examples of plants suitable for rain gardens

Nazwa łacińska	Nazwa polska	Wystawa (tolerancja zacienienia)	Cechy charakterystyczne
Carex hirta	turzyca owłosiona	słoneczna, do półcienia	Ozdobna z liści, pokrój trawiasty
Carex alba	turzyca biała	słoneczna, do półcienia	Ozdobna z liści, pokrój trawiasty
Carex bohemica Schreb	turzyca ciborowata	słoneczna, do półcienia	Ozdobna z liści, pokrój trawiasty
Juncus effusus	sit rozpierzchły	słoneczna, do półcienia	Ozdobna z liści, pokrój trawiasty
Juncus sffusus 'Spiralis"	sit rozpierzchły „Spiralis"	słoneczna, do półcienia	Ozdobna z liści, pokrój trawiasty
Iris germanica	kosaciec bródkowy	słoneczna, do półcienia	Ozdobne kwiaty, różne barwy kwiatów
Iris pseudacorus	kosaciec żółty	słoneczna, do półcienia	Ozdobne kwiaty, kwiaty intensywnie żółte
Iris sibirica	kosaciec syberyjski	słoneczna, do półcienia	Ozdobne kwiaty, kwiaty fioletowe
Lobelia cardinalis	lobelia szkarłatna / stroiczka czerwona	słoneczna, do półcienia	Ozdobne kwiaty, kwiaty intensywnie czerwone
Sisyrinchium angustifolium	miecznica wąskolistna	słoneczna, do półcienia	Ozdobna z kwiatów i z liści, pokrój trawiasty, kwiaty fioletowe
Osmunda regalia	długosz królewski	Stanowiska zacienione	Ozdobna z liści, paproć
Athyrium filix femina	wietlica samicza	Stanowiska zacienione	Ozdobna z liści, paproć
Eryngium campestre L	mikołajek polny	słoneczna	Ozdobna z kwiatów i z liści, kwiaty fioletowo niebieskie
Viola palustris	fiołek błotny	półcienista	Niewielka roślina, kwiaty fioletowe

DYSKUSJA

Przydomowe ogrody deszczowe są obiektami o niskiej wydajności [Dietz i Clausen 2006]. Ich wpływ na środowisko można określić jako stosunkowo niewielki. Pojedynczy przydomowy ogród deszczowy podczyszcza wodę desz-

czową spływającą z obszaru jednego dachu lub jego fragmentu. Jednakże stosowanie rozwiązań gospodarowania wodą opadową w mieście na szerszą skalę (np. całych osiedli czy dzielnic czy też w skali całych miast) może mieć znaczący wpływ na zmniejszenie odprowadzania zanieczyszczeń do wód gruntowych oraz kanalizacji [Abi Aad i in. 2009]. Można założyć, że w Polsce tego typu rozwiązania są na początku drogi zmierzającej do ich upowszechnienia. Aby zwiększyć udział rozwiązań ekologicznych do gospodarowania wody opadowej, niezbędne są też dodatkowe przepisy prawne. W przypadku ogrodów deszczowych kontrowersyjnym jest dostosowanie się do wymogów prawnych gospodarowania wodami opadowymi w Polsce [Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229, Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627]. Wg obecnego prawa wymogiem jest odprowadzanie ścieków deszczowych do kanalizacji. Oznacza to potrzebę przyłączenia odpływu z ogrodu deszczowego do kanalizacji miejskiej.

Budowa ogrodów deszczowych to temat propagowany przez organizacje pozarządowe. Na świecie organizacjami propagującymi budowę przydomowych ogrodów deszczowych są: Melbourne Waters (Australia) oraz Rain Gardens Network (Stany Zjednoczone Ameryki). W Polsce temat propagowania niniejszych instalacji jest Fundacja Sendzimira. Każda z tych organizacji propaguje budowę ogrodów deszczowych poprzez akcje informacji ekologicznych polegających na udostępnianiu informatorów, pokazując jak samodzielnie wykonać ogród deszczowy.

WNIOSKI

Ogrody deszczowe to stosunkowo mało wykorzystany sposób aranżacji przestrzeni w polskich ogrodach i przestrzeni publicznej. Wzmożenie edukacji ekologicznej w szkołach oraz stopniowy wzrost świadomości ekologicznej w Polsce powoduje wzrost zapotrzebowania na tego typu rozwiązania. Budowa przydomowego ogrodu deszczowego jest prosta i nie generuje wysokich kosztów, a zyski zarówno estetyczne, edukacyjne jak i przyrodnicze są odczuwalne.

LITERATURA

1. COSTANZA R., 1997: The value of the world's ecosystem services and natural capital; Nature; 387, 253-260
2. GROOT R. S., 2002: A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services; Ecological Economics 41; Special issue: The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives; 393-408, DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7

3. UNITED NATIONS, 2005: Millennium Ecosystem Assessment (MA), United Nations Environment Programme
4. TEEB, FUNDACJA SENDZIMIRA; 2011: Poradnik TEEB dla miast: usługi ekosystemów w gospodarce miejskiej, wydanie polskie: Fundacja Sendzimira, Kraków
5. ŚMIETAŃSKA M., 2012: Program „10 000 ogrodów deszczowych?" Zrównoważony Rozwój — Zastosowania nr 3; Fundacja Sendzimira, s. 121
6. DIETZ M.E. CLAUSEN J.C., 2006: Saturation to Improve Pollutant Retention in a Rain Garden, Environ. Sci. Technol., 2006, 40 (4), 1335–1340, DOI: 10.1021/es051644f
7. ABI AAD M.P., SUIDAN M.T., SHUSTER W.D. 2009: Modeling Techniques of Best Management Practices: Rain Barrels and Rain Gardens Using EPA SWMM-5, J. Hydrol. Eng. 15, SPECIAL ISSUE: Low Impact Development, Sustainability Science, and Hydrological Cycle, 434–443. DOI 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000136
8. DZ.U. 2001 NR 115 POZ. 1229 – t.uj. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne.
9. DZ.U. 2001 NR 62 POZ. 627 – t.uj. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska.

RAIN GARDENS IN CITIES AS ONE OF THE TOOLS OF ECOSYSTEM SERVICES IMPLEMENTATION

Summary

Rain gardens can be described as one of the tools for increasing the use of natural resources in the cities. Foreign experience (here for example. Experience of the Australian Association of Melbourne Waters, which is engaged in promoting knowledge of building and maintaining rain gardens) indicate that public space in cities can and should be the emoluments of rain gardens. These gardens are designed to pre-treatment of rainwater and runoff from paved surfaces in the city (roads, squares , roofs) and increase biological surfaces in cities. Beyond that in addition to the cleansing function can also be used to arrange more attractive public space. One of the assumptions of the concept of ecosystem services is that these services also result in financial benefits (direct and indirect). The article describes the profits that are derived from the use of rain gardens in the city. Profits associated with reducing water consumption for irrigation of urban green areas. Paper describes also the types of rain gardens and method of their construction.

Key words: rain gardens , ecosystem services , ecosystem services in the city, natural resources of the city

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 158

Nr 38 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2015**

EWA MAKOSZ*

ZASTOSOWANIE SYNTETYCZNEGO ANALCYMU DO USUWANIA METALI CIĘŻKICH Z ROZTWORÓW WODNYCH

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

W pracy omówiono wyniki badań dotyczące możliwości sorpcji metali ciężkich – Pb i Ni na syntetycznym analcymie, uzyskanym na bazie popiołów lotnych. Analcym uzyskany w wyniku syntezy metodą hydrotermiczną z aktywacją alkaliczną. Sorpcję prowadzono w roztworze o stężeniu 4,70 mgPb/dm^3 i 4,60 mgNi/dm^3, w objętości 50 ml; środowisku dynamicznym (mieszanie analcymu w roztworze), czasie: 0,5 h, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, i 24 h; temperaturze pokojowej; przy ciśnieniu atmosferycznym. Stężenia metalu w roztworze oznaczono metodą emisyjnej spektrometrii atomowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP- AES). Sorpcja zarówno ołowiu, jak i niklu na syntetycznym analcymie, była bardzo wysoka i niezależnie od czasu, w którym prowadzono badania. Usuwanie ołowiu z roztworu wynosiło powyżej 98%, zaś niklu powyżej 97%. Syntetyczny analcym może być stosowany do obniżenia stężeń takich metali ciężkich jak ołów i nikiel. Efektywność procesu sorpcji niklu i ołowiu na analcymie jest wyższa w porównaniu z sorpcją tych związków na syntetycznym zeolicie typu NaP1.

Słowa kluczowe: analcym, NaP1, metale ciężkie, sorpcja, roztwory wodne

WSTĘP

Działalność człowieka prowadzi do powstawania znacznych ilości odpadów, które są jednym z największych zagrożeń środowiska naturalnego, w tym wód naturalnych. Są to przede wszystkim ścieki przemysłowe, rolnicze oraz powstające w gospodarstwach domowych. Wśród zanieczyszczeń przedostających się do środowiska wodnego, szczególnie niebezpieczną grupą substancji są metale ciężkie, takie jak: ołów, cynk, nikiel, mangan, kadm, rtęć i inne. Stanowią one

* Politechnika Śląska, Gliwice

duże zagrożenie dla zdrowia oraz życia organizmów, ze względu na dużą toksyczność i zdolność do bioakumulacji [Seńczuk 1999].

Ołów należy do pierwiastków grupy 14, czyli węglowców, a jego gęstość wynosi 11,3 g/cm^3. Ołów w skorupie ziemskiej występuje głównie w postaci minerałów, takich jak np. galena (PbS), cerusyt ($PbCO_3$), krokoit ($PbCrO_4$) i anglezyt ($PbSO_4$).

W czystych wodach podziemnych ołów występuje powszechnie, najczęściej w stężeniach rzędu 1-10µg/l. Może on migrować w wodach podziemnych w formie jonów prostych i złożonych, koloidów oraz w formie zaadsorbowanej na cząsteczkach zawiesin w wodach mętnych [Witczak i in. 2013].

Do głównych źródeł skażenia środowiska ołowiem należą: pyły w gazach spalinowych (spalanie paliw kopalnych), farby ołowiowe, lakiery stosowane w naczyniach kuchennych, składniki materiałów lutowniczych, rury wodociągowe (dawniej), pestycydy, śrut ołowiany, wydobycie rud ołowiu i ich wytop [Alloway i Ayres 1999; Klevay 1987; Kabata-Pendias i Pendias 1999].

Nikiel należy do pierwiastków grupy 10, czyli do *niklowców*. Ulega on sorpcji na minerałach ilastych, wodorotlenkach żelaza i manganu oraz substancjach organicznych. Wysokie stężenia niklu w wodach podziemnych mogą być związane z zanieczyszczeniami antropogenicznymi. Bogate w nikiel są ścieki kopalniane, ścieki przemysłu metalurgicznego, ceramicznego i szklarskiego. Wysoką zawartością niklu charakteryzują się również ścieki komunalne i osady ściekowe, co stwarza niebezpieczeństwo przy ich wykorzystaniu rolniczym. Nikiel może przenikać do wód podziemnych ze ścieków. Aktualnie ścieki oczyszczone wprowadzane w Polsce do środowiska wodnego nie mogą zawierać więcej niż 100 lub 500µgNi/L, zależnie od rodzaju ścieków [RMŚ 2014].

Najczęściej spotykane stężenia niklu w wodach podziemnych, nie będących w kontakcie ze skałami zasadowymi i złożami metali kolorowych, mieszczą się w przedziale 1-5µg/L. Stężenia niklu w roztworach glebowych są zazwyczaj rzędu kilku do kilkudziesięciu µg/L [Kabata-Pendias i Pendias 1999].

Według Perelmana, nikiel, podobnie jak szereg innych metali, dobrze migruje w środowisku wód kwaśnych i słabo kwaśnych. Wyraźnie słabsze są jego zdolności migracyjne w wodach obojętnych i zasadowych zwłaszcza środowiska redukcyjnego [Perelman 1982].

Nadmiar niklu w organiźmie człowieka uszkadza błony śluzowe oraz szpik kostny i wywołuje choroby nowotworowe [Kabata-Pendias i Pendias 1999; Seńczuk 2005]. Niedobór niklu jest również szkodliwy, gdyż obniża poziom hemoglobiny, upośledza funkcje wątroby oraz wywołuje zmiany skórne.

Sorpcja metali ciężkich na zeolitach syntetycznych może być zbliżona do sorpcji na zeolitach naturalnych.

Celem pracy jest określenie możliwości sorpcji metali ciężkich, takich jak Pb i Ni, na syntetycznym zeolicie, uzyskanym w wyniku hydrotermicznej syntezie z alkaliczną aktywacją.

METODYKA

Próbka syntetycznego analcymu pochodziła z syntezy hydrotermalnej przeprowadzonej na popiele lotnym, pochodzącym z elektrowni, gdzie wykorzystywane są kotły pyłowe opalane węglem kamiennym. Syntezę przeprowadzono stosując naważkę 100g popiołu lotnego, roztworem aktywującym o stężeniu 1M NaOH.

Do badań sorpcji ołowiu i niklu każdorazowo pobrano uzyskaną podczas hydrotermicznej syntezy próbkę analcymu w ilości 1 g/50ml roztworu metalu. Roztwory metali sporządzono: dla Pb – z azotanu (V) ołowiu $Pb(NO_3)_2$, a dla Ni – z sześciowodnego chlorku niklu $NiCl_2 \cdot 6H_2O$. Stężenia metali w roztworach ustalono tak, aby były kilkukrotnie większe od dopuszczalnych zawartości w wodach powierzchniowych oraz wprowadzanych do wód i do ziemi [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r.].

Sorpcję prowadzono w roztworach o stężeniu adsorbatu 4,70 mgPb/dm^3 i 4,60 mgNi/dm^3 w objętości 50 ml, w środowisku dynamicznym (mieszanie analcymu w czasie). Czas mieszania wynosił: 0,5 h, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, i 24 h, w temperaturze pokojowej oraz przy ciśnieniu atmosferycznym.

Stężenie metalu w roztworze przed sorpcją i po sorpcji oznaczono metodą emisyjnej spektrometrii atomowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-AES). Procentowy stopień usuwania metalu z roztworu obliczono na podstawie wzoru:

$$Rs = \frac{C_o - C_e}{C_o} x100\%$$

gdzie: C_o – początkowe stężenie metalu w roztworze (w mg/dm^3), C_e – końcowe stężenie metalu w roztworze po sorpcji (w mg/dm^3).

WYNIKI BADAŃ

Początkowe stężenie ołowiu w roztworze (4,70 mg/dm^3) było około dziesięciokrotnie większe od dopuszczalnego stężenia tego metalu w ściekach wprowadzanych do wód lub do ziemi. Na podstawie wyników badań procesu sorpcji metalu na syntetycznym analcymie prowadzonej w czasie od 0,5 do 24 h (tab. 1), stwierdzono, że najmniejsze stężenie metalu w roztworze uzyskano w wyniku sorpcji prowadzonej w czasie 0,5 h i wyniosło ono poniżej 0,01 ppm (rys. 1), co daje skuteczność usuwania tego metalu z roztworu.

Stężenie Pb po 1 h procesu sorpcji wzrosło w roztworze, podobnie po czasie 2 i 4 h. Po 8 h sorpcji stwierdzono powtórne obniżenie stężenia z 98,8% efektywnością usuwania metalu z roztworu. Można sądzić, że zmiany stężeń metalu w miarę upływu czasu sorpcji spowodowane były ustalaniem się równowagi

tego procesu. Proces sorpcji zachodzi bardzo dynamicznie, stąd istnieją trudności w prognozowaniu zjawiska sorpcja/desorpcja zachodzącego między mobilnością metalu z roztworu do zeolitu i z zeolitu do roztworu.

Początkowe stężenie niklu w roztworze (4,60 mg/dm^3), podobnie jak ołowiu było około dziesięciokrotnie większe od dopuszczalnego stężenia tego metalu w ściekach wprowadzanych do wód lub do ziemi.

Wyniki badań procesu sorpcji metalu na analcymie prowadzonej w czasie od 0,5 do 24 h (tab. 1) wykazują, że najmniejsze stężenie metalu w roztworze uzyskano po sorpcji prowadzonej w czasie 24 h. Wyniosło ono poniżej 0,01 ppm (rys. 1), co daje efektywność usuwania metalu z roztworu powyżej 99,8%.

Stężenie Ni po 2 h procesu sorpcji wzrosło, a po 8 h powtórnie obniżyło się osiągając 97,8% efektywność usuwania metalu z roztworu. Można sądzić, podobnie jak w przypadku ołowiu, że zmiany stężeń w miarę upływu czasu sorpcji spowodowane były ustalaniem się równowagi tego procesu.

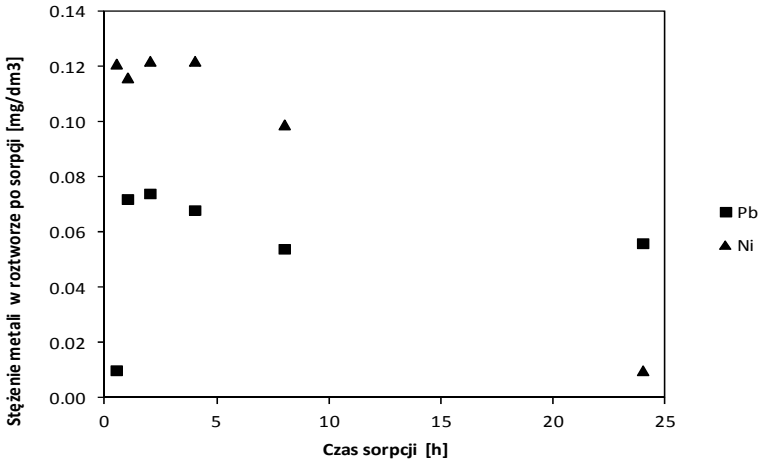
Sorpcja ołowiu i niklu na syntetycznym analcymie, po różnym czasie sorpcji, była bardzo wysoka i niezależnie od czasu, w którym prowadzono badania, usunięcie ołowiu z roztworu wynosiło > 98%, natomiast niklu > 97%.

Tab. 1. Stężeniai efektywność usuwania Pb i Ni z roztworu w czasie procesu sorpcji na syntetycznym analcymie
Tab. 1. Concentration of Pb and Ni in solution after sorption (during time)on synthetic analcime and percentage reduction of metal concentration in solution

Czas sorpcji [h]	Stężenie Pb w roztworze po sorpcji [mg/dm^3]	Efektywność usuwania Pb z roztworu [%]	Stężenie Ni w roztworze po sorpcji [mg/dm^3]	Efektywność usuwania Ni z roztworu [%]
0,5	<0,01	99,8	0,121	97,4
1,0	0,072	98,5	0,116	97,5
2,0	0,074	98,4	0,122	97,3
4,0	0,068	98,5	0,122	97,3
8,0	0,054	98,8	0,099	97,8
24,0	0,056	98,8	< 0,01	99,8

Porównanie uzyskanych wyniki sorpcji ołowiu na syntetycznym analcymie z wynikami badań uzyskanymi dla syntetycznego zeolitu typu NaP1 [Adamczyk i in. 2011], (tab. 2) wykazuje że:

- najwyższe procentowe redukcję obniżenie stężenia Pb w roztworze rzędu 99,8% uzyskano już po 0,5 godzinnej sorpcji na syntetycznym analcymie,
- największą procentową efektywność (99,2%) obniżenia stężenia ołowiu w procesie sorpcji na syntetycznym NaP1 uzyskano po czasie 4 godzin.



Rys. 1. Usuwanie Pb i Ni w czasie sorpcji na syntetycznym analcymie
Fig. 1. The sorption Pb and Ni on synthetic analcime during time

Tab. 2. Procentowe obniżenie stężenia Pb i Ni z roztworu w wyniku sorpcji (w czasie) na syntetycznym zeolicie NaP1 oraz syntetyczny analcymie
Tab. 2. The percentage reduction of Pb and Ni concentration in the solution after sorption (during time) on the synthetic zeolite and the synthetic NaP1 and the synthetic analcime

Czas sorpcji [h]	Syntetyczny NaP1 (Adamczyk i in. 2011)		Syntetyczny analcym	
	Pb[%]	Ni [%]	Pb [%]	Ni [%]
0,5	99,0	90,1	99,8	97,4
1,0	98,8	92,9	98,4	97,5
2,0	98,7	90,5	98,4	97,3
4,0	99,2	95,2	98,5	97,3
8,0	99,1	95,1	98,8	97,8
24,0	97,9	71,4	98,8	99,8

Sorpcja ołowiu na syntetycznym zeolicie typu NaP1, podobnie jak w przypadku syntetycznego analcymu, była bardzo wysoka i wynosiła powyżej 97%. Skuteczność usuwania ołowiu z roztworów w procesie sorpcji na syntetycznych zeolitach jest więc porównywalna.

Porównanie wyników badań sorpcji niklu na syntetycznym analcymie z wynikami sorpcji tego metalu na syntetycznym zeolicie typu NaP1 [Adamczyk i in. 2011] pozwala na stwierdzenie stwierdzić, że (tab. 2):

- najwyższe 99,8% obniżenie stężenia niklu w roztworze na analcymie uzyskano po 24 godzinach,
- największe 95,2% obniżenie stężenia metalu w roztworze uzyskano po zastosowaniu syntetycznego NaP1 w czasie 4 godzin.

Sorpcja niklu na syntetycznym analcymie była bardzo wysoka i wynosiła powyżej 97% niezależnie od czasu sorpcji. Sorpcja niklu na syntetycznym zeolicie typu NaP1 była bardziej zróżnicowana w czasie:

- sorpcja prowadzona w czasie 0,5-8 h powodowała usuwanie tego metalu z roztworu w zakresie od 90 do 95%,
- wydłużenie czasu sorpcji do 24 h spowodowało usuwanie niklu na poziomie 71%.

Różnice te mogły być spowodowane desorpcją niklu z zeolitu do roztworu. Do usuwania niklu z roztworów w procesie sorpcji bardziej stabilnym zeolitem jest syntetyczny analcym a nie syntetyczny zeolit typu NaP1.

PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie uzyskanych wyników badań sformułowano następujące wnioski.

- Zastosowanie syntetycznego analcymu do usuwania ołowiu i niklu z roztworów wskazuje na wysoką skuteczność procesu sorpcji. Stężenie tych metali ciężkich obniżyło się o ponad 98% w przypadku Pb i o ponad 97% dla Ni.
- Najwyższe 99,8% obniżenie stężenia ołowiu uzyskano już po 0,5 h prowadzenia sorpcji na syntetycznym analcymie. Podobną wysoką skuteczność sorpcji ołowiu wykazywano dla syntetycznego zeolitu typu NaP1.
- Najwyższe 99,8% obniżenie stężenia niklu w roztworze na syntetycznym analcymie uzyskano po 24 h sorpcji. Niezależnie od czasu sorpcji, skuteczność usuwania niklu była bardzo wysoka. Sorpcja niklu na syntetycznym zeolicie typu NaP1 była bardziej zróżnicowana w porównaniu do sorpcji przeprowadzonej na syntetycznym analcymie.
- Wyniki badań wskazują, że sorpcja niklu z roztworów, prowadzona na syntetycznym analcymie, jest bardziej skuteczna w porównaniu do syntetycznego zeolitu typu NaP1.
- Syntetyczny analcym może być skutecznym sorbentem do usuwania ołowiu i niklu z roztworów.

LITERATURA

1. ADAMCZYK, Z.; GRUCHOCIAK, E., LOSKA; NOWIŃSKA, K.; 2011. Sorpcja metali ciężkich na syntetycznym zeolicie typu NaP1, Górnictwo i Geologia, Tom 6, z.3.
2. ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C.; 1999. Chemiczne podstawy zanieczyszczania środowiska, Wyd. PWN, Warszawa.
3. KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS H.; 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych, Wyd. PWN, Warszawa.
4. KLEVAY, L.M.; 1987. Metals as nutritional factors, w: Brown S.S., Kodama Y. (red.), Toxicology of metals. Clinical and experimental research, Wyd. Ellis Horwood Ltd, Chichester.
5. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz.U. 2014 poz. 1800.
6. SEŃCZUK, W.; 1999. Toksykologia, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
7. WITCZAK, S.; KANIA, J.; KMIECIK, E.; 2013. Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod i oznaczania, Copyright by Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.

APPLICATIONS **OF** SYNTHETIC ANALCIME FOR REDUCTION OF HEAVY METALS IN WATER SOLUTIONS

S u m m a r y

The paper presents the possibility of sorption of heavy metals – Pb and Ni on synthetic analcime, obtained on the basis of fly ash. The analcime was synthesized by hydrothermal method with alkaline activation. The sorption was carried out in solution with concentration 4,70 mgPb/dm^3 and 4,60 mgNi/dm^3, volume of a solution of 50 ml in dynamic environment (mixing suspension of the product of hydrothermal synthesis in solution), time: 0.5 h, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, and 24 h; room temperature; at atmospheric pressure. The concentration of metal in the solution was determined using atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-AES). Sorption for both Pb and Ni synthetic analcime at different sorption time was very high, and regardless of the time of the study, the reduction of Pb from the solution was higher than 98%, and the reduction of Ni above 97%.

Key words: analcime, NaP1, heavy metals, sorption, water solutions

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 158

Nr 38 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2015**

JĘDRZEJ DASZKIEWICZ, PIOTR GOLIŃSKI*

OCENA AKTYWNOŚCI ŻEROWEJ *Cervus elaphus* NA ZREWITALIZOWANYCH ŁĄKACH ŚRÓDLEŚNYCH NA PODSTAWIE ANALIZY INTENSYWNOŚCI ZGRYZANIA RUNI

Streszczenie

Celem niniejszej pracy jest ocena aktywności żerowej jelenia europejskiego na łąkach śródleśnych poddanych renowacji z wykorzystaniem różnych metod. Badania przeprowadzone na obiektach doświadczalnych wykazały, że zdecydowana większość aktywności żerowej zwierząt miała miejsce na powierzchniach odnowionych przy pomocy metody pełnej uprawy połączonej z wysiewem specjalistycznych mieszanek nasiennych. Stosunkowo niewielki efekt dało zastosowanie metody podsiewu. Żerowanie na obiektach kontrolnych miało charakter incydentalny, co pozwala wnioskować, że ruń tych powierzchni łąk nie spełniała wymagań pokarmowych jelenia europejskiego.

Słowa kluczowe: jeleń europejski, łąki śródleśne, renowacja runi, aktywność żerowa, intensywność zgryzania runi

WPROWADZENIE

Jeleń europejski, tak jak wszystkie dziko żyjące zwierzęta kopytne, jest gatunkiem zwornikowym – czyli takim, który stanowiąc niewielki procent biomasy w ekosystemie wywiera na jego elementy i funkcje nieproporcjonalnie duży wpływ [Mills i in. 1993]. Sprawia to, że dynamicznie rozwijająca się populacja jelenia europejskiego wywołuje coraz większą presję na środowisko, związaną z zaspokajaniem zapotrzebowania na pokarm zielony, który w większości pobierany jest na gruntach uprawianych przez człowieka. Poznanie preferencji pokarmowych tego gatunku jest niezbędne dla prawidłowego szacowania potrzebnych zasobów środowiskowych w celu zrównoważonego zarządzania jego

* Katedra Łąkarstwa i Krajobrazu Przyrodniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

populacją oraz uniknięcia strat w gospodarce leśnej, rolniczej i łowieckiej [Czernik 2013].

Jeleń uznawany jest za zwierzę związane z fitocenozami leśnymi, jednak duża część jego aktywności żerowej przypada na tereny otwarte. Przyjmuje się, że pokarm trawiasty stanowi zazwyczaj około 1/3 diety tego gatunku [Gebert i Verheyden-Tixier 2001]. Jednocześnie jeleń, wśród wszystkich dużych gatunków łownych, wykazuje najsilniejszą ujemną korelację pomiędzy stanem populacji a jednolitością środowiska [Czyżkowski i in. 2011].

Obszarami, które potencjalnie mogą pozwolić na sterowanie bazą żerową jeleni są łąki śródleśne. Wiele z nich stanowi jednak obiekty o niskiej wartości, zarówno gospodarczej, jak i przyrodniczej. Dzieje się tak, ze względu na specyficzne uwarunkowania mikroklimatyczne, fenologiczne, edaficzne i hydrobiologiczne powiązane z bezpośrednim sąsiedztwem lasu, z których wynika inwazja gatunków leśnych oraz zubożenie florystyczne, co z kolei przejawia się obniżonym potencjałem plonotwórczym i niską wartością użytkową runi [Trzaskoś i in. 1997]. Z drugiej strony, są to siedliska o pozytywnej roli w środowisku i krajobrazie, przez co nie powinno się przeznaczać ich pod zalesienie i nie zaprzestawać ich użytkowania [Kozłowski i in. 1997]. Bliskość ostoi jeleni powoduje, że poczucie bezpieczeństwa na takich terenach jest wyższe, a bilans wydatku i dostarczenia energii podczas pobierania pokarmu jest korzystniejszy, niż w przypadku innych siedlisk. Może to sprawić, że odpowiednio prowadzone łąki śródleśne będą miały wyższy współczynnik wyboru aniżeli uprawy rolnicze i leśne, co może wydatnie wpłynąć na ograniczenie szkód powodowanych przez te zwierzęta.

Uproduktywnienie łąk śródleśnych może być zrealizowane poprzez ich renowację obejmującą różne zabiegi pratotechniczne, połączone z wysiewem odpowiednio skomponowanych mieszanek łąkowych dostosowanych do preferencji pokarmowych jelenia europejskiego.

Poza aspektem gospodarczym, rewitalizacja łąk śródleśnych w kierunku stworzenia na nich żerowisk dla jelenia europejskiego, może również pozytywnie wpłynąć na środowisko. Obecność terenów otwartych, a w szczególności łąk, pozytywnie wpływa zarówno na ilość zwierząt, jak i ich cechy osobnicze [Trdan i Vidrih 2008, Tomić i in. 2010, Mysterud i in. 2002]. Włączenie siana do bazy pokarmowej dziko żyjącej populacji jelenia europejskiego [Rajsky i in. 2008] wyraźnie wpłynęło na wzrost przeżywalności w sezonie zimowym, szybszą regenerację po rykowisku oraz ogólny wzrost jakości osobniczej.

Zwiększenie aktywności żerowej pozwala na zachowanie większej różnorodności gatunkowej, ponieważ presja zgryzania ogranicza możliwości dominacji pojedynczych gatunków [Schutz i in. 2003]. Stwierdza się, że na siedliskach wysokoprodukcyjnych żerowanie dzikich zwierząt roślinożernych jest czynnikiem kształtującym skład gatunkowy na równi z pożarami i wypalaniem [Weisberg i Bungmann 2003]. Przeniesienie presji żerowej jelenia europejskiego na

łąki śródleśne może skutkować również podniesieniem bioróżnorodności w sąsiadujących ekosystemach leśnych. Badania przeprowadzone na terenie Hiszpanii wykazały, że przy dostępności roślinności trawiastej praktycznie całkowicie ograniczona była penetracja i spałowanie lasu dębowego, natomiast w okresach, w których ruń nie była dostępna stwierdzono, że zwierzęta potrafią zgryzać do 40% masy podszytu [Bugalho i Milne 2003, Gonzhalez Hemhdez i Silva-Pando 1996].

Niniejsza praca ma na celu ocenę efektów renowacji łąk śródleśnych jako miejsc żerowych dla jelenia europejskiego (*Cervus elaphus*) na podstawie analizy intensywności zgryzania.

PRZEDSTAWIENIE OBIEKTU BADAŃ

W 2013 roku podjęto badania nad etologią dziko żyjącej populacji jelenia europejskiego na zrewitalizowanych łąkach śródleśnych. Na terenach Gospodarstwa Łowieckiego OHZ zarządzanego przez Nadleśnictwo Polanów (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Szczecinku) wytypowano dwie łąki śródleśne na których założono doświadczenia obejmujące różne metody zagospodarowania tj. pełną uprawę połączoną z wysiewem różnych mieszanek nasiennych dostosowanych do wymagań żywieniowych jelenia (dwóch pochodzenia rynkowego i jednej autorskiej) oraz metodę podsiewu gatunkiem preferowanym przez jelenie. Punktem odniesienia w przypadku każdego doświadczenia była powierzchnia kontrolna, na której nie przeprowadzono żadnych zabiegów renowacyjnych.

Obiekt „Topolowa Droga" poddano renowacji jesienią 2013 roku. Łąka ma powierzchnię około 2,5 ha i w całości została zaadaptowana na potrzeby doświadczenia – wydzielono na niej 8 powierzchni doświadczalnych po około 0,3 ha (cztery kombinacje: kontrola, podsiew, M2, M3 w dwóch powtórzeniach każda) . Drugi obiekt – „Wnęka" – został poddany renowacji wiosną 2014 roku. Jego całkowita powierzchnia wynosi 5,5 hektara, z czego 1,5 ha przeznaczono pod doświadczenie, na których wydzielono pięć kombinacji doświadczalnych (kontrola, podsiew, M1, M2, M3).

Tab. 1. Skład gatunkowy zastosowanych mieszanek nasiennych
Tab. 1. Species composition of used seed mixtures

Nazwa mieszanki nasiennej *Name of seed mixture*	Oznaczenie kombinacji doświadczalnej *Designation of experimental treatment*	Skład gatunkowy *Species composition*
Blühende Wildäsung	M1	*Fagopyrum, Secale cereale var. multicaule, Lolium perenne, Phleum pratense, Festuca pratensis, Sinapis alba, Phacelia sp., Ornithopus sp., Raphanus sativus, Trifolium incarnatum, Trifolium alexandrinum, Trifolium resupinatum, Trifolium repens, Trifolium pratense, Brassica napus*
Weidgreen Hochwildweide	M2	*Festuca arundinacea, Festuca pratensis, Lolium perenne, Dactylis glomerata, Poa pratensis, Phleum pratense, Arrhenatherum elatius, Trifolium pratense, Trifolium repens, Medicago sativa, Trifolium hybridum, Lotus corniculatus*
Mieszanka Autorska *Author's mixture*	M3	*Festuca arundinacea, Festuca pratensis, Lolium perenne, Dactylis glomerata, Poa pratensis, Phleum pratense, Arrhenatherum elatius, Trifolium pratense, Trifolium repens, Medicago sativa, Trifolium hybridum, Lotus corniculatus, Carum carvi, Cichorium intybus, Sanguisorba officinalis. Foeniculum vulgare, Petroselinum crispum, Plantago lanceolata, Achillea millefolium, Pimpinella saxifraga, Daucus carota, Galium verum*
Podsiew *Oversowing*	P	*Lolium perenne, Trifolium repens*

METODYKA

Jedną z metod zastosowanych w celu oceny powodzenia renowacji łąk śródleśnych jako żerowisk dla jelenia europejskiego jest analiza intensywności zgryzania na poletkach reprezentujących poszczególne kombinacje doświadczalne. Przez każdy obiekt przeprowadzono transekt i w 9 wyznaczonych punktach dokonywano oszacowania intensywności zgryzania runi na kwadratowych poletkach o powierzchni 4 m^2.

W 2014 roku na obiekcie „Topolowa Droga" przeprowadzono analizy trzykrotnie, a na obiekcie „Wnęka", ze względu na termin założenia doświadczenia (wiosna 2014) tylko w jednym terminie. Ruń na obu obiektach była w początkowych fazach rozwojowych (większość roślin w stadium juwenilnym), dlatego

też dokonywano analizy zgryzania poszczególnych grup roślinnych – traw, roślin motylkowatych, ziół i innych roślin dwuliściennych w skali binarnej (0 – brak zgryzów, 1 – odnotowane zgryzy), a otrzymane wyniki skorelowano o procentowy udział danej grupy w runi, które otrzymano na podstawie analizy botanicznej. Do oceny aktywności żerowej wykorzystano poniższe wzory:

$$Z_n = [(A_x * Pu_x * Pp_x) + (A_y * Pu_y * Pp_y) + (A_z * Pu_z * Pp_z)] * 100\%$$

$$F_x = \frac{Z_{n1} + Z_{n2+} \dots + Z_{n3}}{n}$$

$$Az_x = \frac{F_x}{\sum F_x} * 100\%$$

gdzie:
Z_n – procentowa ilość zgryzów na poletkach doświadczalnych
$A_{x,y,z}$ – występowanie zgryzów poszczególnych grup roślin (trawy, rośliny motylkowate, zioła i inne rośliny dwuliścienne)
$Pu_{x,y,z}$ – procentowy udział grupy roślin w runi poletka doświadczalnego
$Pp_{x,y,z}$ – procentowy udział biomasy poletka w ogólnym plonie obiektu
F_x – oceniona aktywność żerowa na kombinacjach doświadczalnych poszczególnych obiektów i ogółem w procentach
Az_x – względna aktywność żerowa na kombinacjach doświadczalnych dla poszczególnych obiektów i ogółem w procentach

W 2015 roku na obu obiektach analizę przeprowadzono w trzech terminach w warunkach pełnego stanu dojrzałości roślin łąkowych. W ocenie stopnia zgryzania runi zastosowano pięciostopniową skalę.

W celu ustalenia ilości zgryzów dla poszczególnych kombinacji doświadczalnych, do wartości oszacowanej w każdym punkcie pomiarowym przyporządkowano wskaźnik, który wykorzystywany był do obliczenia średniej procentowej ilości zgryzów. Otrzymane wyniki przeliczano dalej według przyjętych wzorów na ocenioną aktywność żerową (F_x) oraz względną aktywność żerową (Az_x).

Przeprowadzenie badań na terenie Gospodarstwa Łowieckiego OHZ Nadleśnictwa Polanów zapewniło specyficzne warunki w odniesieniu do presji żerowej dużych zwierząt roślinożernych. Znajomość stanu zwierzyny oraz prowadzone równolegle obserwacje zoologiczne i etologiczne pozwalają stwierdzić, że zdecydowana większość zgryzów była wynikiem żerowania jelenia europejskiego, przez co nie występuje potrzeba uwzględniania pozostałych gatunków zwierzyny płowej, takich jak sarna europejska (*Capreolus capreolus*) lub daniel (*Dama dama*).

Tab. 2. Kryteria skali użytej do oceny stopnia intensywności zgryzania runi
Tab. 2. Criteria of scale used to sward grazing intensity assessment

Wartość *Value*	Procent zgryzanej powierzchni *Percentage of grazed surface* [%]	Wskaźnik przyjęty do obliczeń *Indicator used for calculations* [%]	Opis *Description*
0	0	0	Brak zanotowanych zgryzów *Lack of recorded bites*
1	0-25	12,5	Sporadyczna aktywność żerowa, pojedyncze ślady zgryzania *Occasional foraging activity, single bites*
2	25-50	37,5	Średnia aktywność żerowa, widoczne selektywne pobieranie pokarmu *Medium foraging activity, selective food intake*
3	50-75	62,5	Wysoka aktywność żerowa, zjedzona ponad połowa dostępnych roślin *High foraging activity, more than half of available plants eaten*
4	75-100	87,5	Bardzo wysoka aktywność żerowa, wyjadanie nieselektywne, aż do zjedzenia całej dostępnej biomasy *Very high foraging activity, non-selective food intake, all available biomass eaten*

WYNIKI

Wyliczając średnią ogólną, największą aktywność żerową jelenia europejskiego w 2014 roku stwierdzono na powierzchniach obsianych mieszanką M1 (Blühende Wildäsung) – 36,8%, następnie mieszanką autorską M3 – 23,9% oraz mieszanką M2 (Weidgreen Hochwildweide) – 22,4% (tab. 3). Powierzchnie poddane renowacji metodą podsiewu skupiły 12,1% zgryzów. Na poletkach kontrolnych, na których nie dokonywano żadnych zabiegów regeneracyjnych, odnotowano jedynie 4,8% aktywności żerowej jelenia europejskiego.

W 2015 roku obserwowano zmniejszenie różnic aktywności żerowej jelenia europejskiego pomiędzy powierzchniami objętymi renowacją za pomocą metody pełnej uprawy. Zgryzy odnotowywano najczęściej na poletkach obsianych mieszanką M1 – około 38,7%, następnie mieszanką M2 – 26,0% oraz mieszanką autorską M3 – 25,7% (tab. 4). Na powierzchniach poddanych renowacji me-

todą podsiewu stwierdzono 5,5% zgryzów, natomiast na powierzchniach kontrolnych – 4,2%.

Tab. 3. Aktywność żerowa jelenia europejskiego na łąkach śródleśnych w 2014 roku w zależności od metody renowacji [%]
Tab. 3. Foraging activity of red deer on mid-forest meadows in 2014 in dependency on renovation method [%]

Metoda renowacji *Method of renovation*	Aktywność żerowa *Foraging activity*					
	Topolowa Droga		Wnęka		Ogółem – *Total*	
	Oceniona *Empirical*	Względna *Relative*	Oceniona *Empirical*	Względna *Relative*	Oceniona *Empirical*	Względna *Relative*
Kontrola *Control*	4,4%	9,4%	0,00%	0,00%	3,8%	4,8%
Podsiew O*versowing*	10,1%	21,4%	7,2%	7,2%	9,7%	12,1%
M1	-	-	29,4%	29,4%	29,4%	36,8%
M2	15,9%	33,5%	30,6%	30,6%	17,9%	22,4%
M3	16,9%	35,7%	32,9%	32,9%	19,1%	23,9%

Tab. 4. Aktywność żerowa jelenia europejskiego na łąkach śródleśnych w 2015 roku w zależności od metody renowacji [%]
Tab. 4. Foraging activity of red deer on mid-forest meadows in 2015 in dependency on renovation method [%]

Metoda renowacji	Aktywność żerowa *Foraging activity*					
	Topolowa Droga		Wnęka		Ogółem *Total*	
	Oceniona *Empirical*	Względna *Relative*	Oceniona *Empirical*	Względna *Relative*	Oceniona *Empirical*	Względna *Relative*
Kontrola *Control*	6,1%	7,9%	5,6%	3,6%	5,9%	4,2%
Podsiew O*versowing*	7,3%	9,4%	8,4%	5,4%	7,6%	5,5%
M1	-	-	54,2%	34,4%	54,2%	38,7%
M2	30,6%	39,6%	48,1%	30,5%	36,4%	26,0%
M3	33,4%	43,2%	41,1%	26,1%	36,0%	25,7%

Podsumowując wyniki z dwóch lat badań, odnośnie preferencji pokarmowych jelenia europejskiego na odnawianych łąkach śródleśnych, stwierdzono największą aktywność żerową na powierzchniach obsianych mieszanką M1 –

37,7%, mieszanką autorską M3 – 24,8% i mieszanką M2 – 24,2%. Dużo mniejszym zainteresowaniem cieszyły się poletka poddane renowacji metodą podsiewu – 8,8% oraz powierzchnie kontrolne – 4,5% aktywności żerowej.

WNIOSKI

- Ruń starych, nie poddanych renowacji łąk śródleśnych na powierzchniach kontrolnych nie spełniała wymagań pokarmowych jelenia europejskiego.
- Ze względu na małą aktywność żerową na powierzchniach poddanych renowacji metodą podsiewu, można stwierdzić, że nie jest to wystarczająco dobra metoda do uproduktywnienia łąk śródleśnych jako żerowisk dla jelenia europejskiego.
- Na powierzchniach łąk śródleśnych poddanych renowacji za pomocą metody pełnej uprawy połączonej z wysiewem odpowiednich mieszanek nasiennych odnotowano zdecydowaną większość aktywności żerowej jelenia (w 2014 roku – 83%, a w 2015 roku – 90%). Najchętniej wyjadana była mieszanka M1, następnie mieszanka autorska M3 oraz mieszanka M2.
- Analiza intensywności zgryzania runi jest tylko jedną z metod badawczych, które zostaną zastosowane przy ocenie aktywności żerowej jelenia europejskiego na łąk śródleśnych poddanych renowacji. W celu potwierdzenia wniosków konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań z zakresu łąkarstwa i etologii zwierząt w kolejnych latach ich wykorzystania jako bazy pokarmowej jelenia europejskiego.

LITERATURA

1. BUGALHO M. N.; MILNE J.; 2003. The composition of the diet of red deer (*Cervus elaphus*) in a Mediterranean environment: a case of summer nutritional Constraint. Forest Ecology and Management 181, 23-29.
2. CZERNIK M.; 2013. Tradycyjne i nowoczesne metody badania preferencji pokarmowy kopytnych: od afrykańskiej sawanny po północno-wschodnią Polskę. Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska, praca zbiorowa pod red. T.M. Traczewskiej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Tom 3, 93-100.
3. CZYŻOWSKI P.; KARPIŃSKI M.; RACHFAŁOWSKI R.; 2011. Influence of forest fragmentation on the game species population. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia XXIX (1), 1-9.
4. GEBERT C.; VERHEYDEN-TIXIER H.; 2001. Variations of diet compositions of Red Deer (*Cervus elaphus*) in Europe. Mammal Rev. 31, 3, 189-201.

5. GONZHLEZ HEMHDEZ M.P.; SILVA-PANDO J.; 1996. Grazing effects of ungulates in a Galician oak forest (northwest Spain). Forest Ecology and Management 88, 65-70.
6. KOZŁOWSKI S.; STUCZYŃSKA E.; MATUSZCZAK-DZIOK A.; 1997. Paszowe wykorzystanie łąk śródleśnych na przykładzie wybranych obiektów łąkowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 453, 301-308.
7. MILLS L.S.; SOULE M.E.; DOAK D.F.; 1993.The keystone-species concept in ecology and conservation, BioScience 43, 4, 219-224.
8. MYSTERUD A.; LANGVATN R.; YOCCOZ N. G.; STENSETH N.CHR.; 2002. Large-scale habitat variability, delayed density effects and red deer populations in Norway. Journal of Animal Ecology 71, 569-580.
9. RAJSKY M.; VODNANSKY M.; HELL P.; SLAMECKA J.; KROPIL R.; RAJSKY D.; 2008. Influence supplementary feeding on bark browsing by red deer (*Cervus elaphus*) under experimental conditions. European Journal of Wildlife Research 54, 701-708.
10. SCHUTZ M.; RISCH A.; LEUZINGER E.; KRUSI B.; ACHERMANN G.; 2003. Impact of herbivory by red deer (*Cervus elaphus* L.) on patterns and processes in subalpine grasslands in the Swiss National Park. Forest Ecology and Management 181, 177-188.
11. TOMIĆ Z.; BIJEDIĆ Z.; VILOTIĆ D.; GACIĆ D.P; 2010. Phytocenological research into the meadow associations on forest hunting grounds of Serbia Archives of Biological Sciences 62 (2), 363-372.
12. TRDAN S.; VIDRIH M.; 2008. Quantifying the damage of red deer (*Cervus elaphus*) grazing on grassland production in southeastern Slovenia. European Journal of Wildlife Research 54, 138-141.
13. TRZASKOŚ M.; CZYŻ H.; KITCZAK T.; GOS A.; 1997. Skład florystyczny i wartość pastewna runi łąk śródleśnych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 453, 153-165.
14. WEISBERG P; BUNGMANN H.; 2003. Forest dynamics and ungulate herbivory: from leaf to landscape. Forest Ecology and Management 181, 1-12.

EVALUATION OF *Cervus elaphus* FORAGING ACTIVITY ON REVITALISED MID-FOREST MEADOWS BASED ON ANALYSIS OF SWARD BROWSING INTENSITY

S u m m a r y

Aim of this study is evaluation of red deer foraging activity on renovated mid-forest meadows using different methods. Research, carried out on experimental sites, showed, that most of grazing activity of animals falls on areas renovated by full tillage method combined with sowing of specialised seed mixtures. Relative low effect occurs by using of oversowing method. Foraging activity on control areas was very low, this allow to conclude that sward of this mid-forest meadows didn't fulfil nutritional needs of red deer.

Keywords: red deer, mid-forest meadows, sward renovation, foraging activity, sward browsing intensity

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
WYDZIAŁ BUDOWNCTWA, ARCHITEKTURY
I INŻYNIERII 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-roczne).
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.wbais.uz.zgora.pl/oferta_dydaktyczna

Dziekanat WBAiIŚ (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.wbais.uz.zgora.pl
Strona internetowa Instytutu Inżynierii Środowiska:
http://www.iis.uz.zgora.pl

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA

ZAPRASZA
DO WSPÓŁPRACY

Oferujemy wykonanie:

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

Strona internetowa Instytutu Inżynierii Środowiska:
http://www.iis.uz.zgora.pl

Kontakt:
ul. Prof. Z. Szafrana 15 / 65-516 Zielona Góra
Tel.: 68-328-26-37 / Fax: 68-324-72-90
E-mail: sekretariat@iis.uz.zgora.pl