

OCENA MOŻLIWOŚCI PRZYRODNICZEGO ZAGOSPODAROWANIA  
ODPADÓW POWĘGLOWYCH WYKORZYSTYWANYCH  
DO NIWELACJI POWIERZCHNI\*

*Sławomir Klatka, Magdalena Malec, Edyta Kruk, Marek Ryczek*

Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków  
e-mail: rmklatka@cyf-kr.edu.pl

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań terenowych i laboratoryjnych wybranych właściwości odpadów powęglowych stosowanych do niwelacji powierzchni w aspekcie ich przyrodniczego zagospodarowania. Uzyskane wyniki wskazują, że odczyn badanych materiałów powęglowych jest aktualnie lekko zasadowy i korzystny dla rozwoju większości roślin stosowanych w rekultywacji biologicznej. Pewnym ograniczeniem dla rozwoju roślin może być podwyższone zasolenie. Zawartość metali ciężkich porównana z obowiązującymi w Polsce aktami prawnymi wskazuje, że badany materiał może być wykorzystywany w rekultywacji. Na podstawie wyznaczonych współczynników bioakumulacji (BAF) stwierdzono, że gatunki roślin porastających badane składowisko charakteryzują się niskim stopniem akumulacji metali ciężkich. Uzyskane wyniki nie wskazują na fitotoksyczność badanych odpadów powęglowych i pozwalają na stwierdzenie, że materiał zdeponowany na składowisku może być wykorzystywany jako podłoże dla roślin przy zagospodarowaniu przyrodniczym.

**Słowa kluczowe:** odpady pogórnice, zawartość metali ciężkich, rekultywacja biologiczna

## WSTĘP

Koncentracja przemysłu wydobywczego na obszarze Górnego Śląska oraz fakt, że węgiel kamienny stanowi podstawowe paliwo energetyczne w Polsce sprawia, że ilość odpadów wytwarzanych przez sektor wydobywczy będzie nadal głównym i dominującym strumieniem odpadów przemysłowych w tym regionie (Klatka i in. 2016). Według Wojewódzkiej Inspekcji Ochrony Środowiska w Katowicach (2016) największą ilość odpadów przemysłowych w województwie śląskim, podobnie jak w latach poprzednich, wytworzyły zakłady prowadzące działalność w zakresie

---

\* Źródło finansowania publikacji: Działalność statutowa DS 3331/KMiKŚ/2016

górnictwa węgla kamiennego. Całkowita ilość odpadów zgromadzonych na składowiskach wyniosła 477117,0 tys. Mg. Wśród nich dominują odpady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu kopalni – kod 010102 oraz odpady z flotacyjnego wzbogacania węgla – kod 010481 (Baic i Witkowska-Kita 2011, Bojarska i Bzowski 2012, Klatka i in. 2016). Zgodnie z polskim prawodawstwem na wytwórcy odpadów spoczywa obowiązek prawidłowego gospodarowania nimi. Stąd też materiały powęglowe są coraz częściej wykorzystywane w budownictwie i w rekultywacji terenów zdegradowanych. Znaczna ich część jest wykorzystywana również do budowy i remontu dróg lokalnych, czy też w budownictwie hydrotechnicznym i rekultywacji terenów zdegradowanych (Korban 2011). Ponieważ odpady powęglowe często charakteryzują się niekorzystnymi właściwościami wpływającymi na prawidłowy wzrost i rozwój roślin (Vega i in. 2006), na etapie przyrodniczego zagospodarowania należy przeprowadzić analizę ich właściwości fizykochemicznych oraz stężenie substancji szkodliwych, zwłaszcza metali ciężkich.

Celem pracy była analiza wybranych właściwości odpadów pogórnicznych wykorzystywanych do niwelacji powierzchni w aspekcie ich rekultywacji i przyrodniczego zagospodarowania.

#### METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono na składowisku odpadów pogórnicznych w miejscowości Szczygłowice na południe od ulicy Lignozy. Składowisko powstało w miejscu geomechanicznych deformacji terenowych będących skutkiem osiadania powierzchni. Na jego powierzchni wykonano zabiegi rekultywacji technicznej polegającej na niwelacji z właściwym przemieszczeniu zdeponowanych odpadów. Ponieważ tereny te stanowiły uprzednio obszary rolnicze, z tego powodu podlegają Ustawie o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. 1995 nr 16 poz. 78 z późniejszymi zmianami). Ustawa ta wyznacza zasadniczą podstawę prawną przyszłych prac rekultywacyjnych, które powinny przebiegać w kierunku przyrodniczego zagospodarowania. Od strony zachodniej granice badanego obszaru stanowi ulica Wieczorka, od wschodu linia równoległa do ul. Zwycięstwa, a od południa nasyp kolejowy. Przez środek badanego terenu przepływa rzeka Bierawka obwałowana wałami przeciwpowodziowymi. W ramach badań terenowych pobrano 8 próbek materiału we wrześniu 2015 roku, z głębokości 0-50 cm, co 10 cm. Lokalizację badanego obszaru oraz punktów pomiarowych zamieszczono na rysunku 1.

W laboratorium próbki pobrane w terenie zmieszano i utworzono próbki reprezentujące dany punkt pomiarowy (Namiernik i in. 1995). W warunkach terenowych oznaczono infiltrację metodą podwójnych pierścieni FAO (1971), natomiast w laboratorium pH w H<sub>2</sub>O i w 1 mol KCl – metodą potencjometryczną oraz przewodność elektryczną właściwą metodą konduktometryczną, w roztworach w stosunku 1:2,5.



**Rys. 1.** Lokalizacja punktów pomiarowych na składowisku odpadów powęglowych  
**Fig. 1.** Location of measuring points on coal mine waste landfill

Biorąc po uwagę zagrożenia dla środowiska przyrodniczego, które związane są z podwyższoną zawartością metali ciężkich w badanym materiale, oznaczono zawartości: chromu, cynku, kadmu, miedzi, niklu i ołowiu. Do wyznaczenia zawartości poszczególnych pierwiastków przyjęto metodę trawienia mieszaniną stężonego kwasu azotowego i nadchlorowego na gorąco (Mocek i in. 2000). Oznaczenia zawartości badanych pierwiastków wykonano metodą ICP-AES za pomocą spektrometru emisyjnego ICP-AES JY-238 Ultrace. Uzyskane wyniki porównano z dopuszczalnymi stężeniami metali ciężkich wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359) oraz z Ramowymi Wytycznymi dla Rolnictwa, opracowanymi przez IUNG-PIB w Puławach (Kabata-Pendias i in. 1993), które klasyfikują gleby z punktu widzenia rolniczej przydatności w zależności od stopnia zawartości metali ciężkich. Równocześnie wykonano badania zawartości wybranych metali ciężkich w materiale roślinnym występującym na składowisku. Jedną z roślin zielnych był trzcinnik piaskowy (*Calamagrostis epigejos*), gatunek który bardzo często występuje na terenach pogórnich (Zajac i Zarzycki 2012). Na obszarze składowiska występuje on masowo, lecz nie osiąga dużego pokrycia. Kolejnymi roślinami wytypowanymi do badań były: przytulia czepna (*Galium aparine*) i niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora*). Próbkę pobrano również z sosny czarnej (*Pinus nigra*) i brzozy brodawkowatej (*Betula pendula*), porastającej wierzchowinę badanego składowiska, blisko koryta rzeki. W celu oceny stopnia i mobilności metali ciężkich w badanych roślinach wyliczono współczynniki bioakumulacji – BAF. Wartość współczynnika bioakumulacji odzwierciedla zdolność roślin do pobierania metali ciężkich zawartych

w podłożu oraz informuje o szybkości przemieszczania się ich z roztworu glebowego do części nadziemnych rośliny. Parametr BAF obliczono jako stosunek zawartości metalu w roślinie do ich poziomu w podłożu (Gorlach 1995, Ginocchio i Baker 2004).

#### WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Badane odpady są typowe dla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i złożone głównie z iłowców, w mniejszej ilości występują w nich mulłowce i piaskowce karbońskie (Boroń i in. 2010). Wyznaczone wartości  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  zawierały się w przedziale 7,56 do 8,61, wynosząc średnio 8,16, natomiast wartości  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  od 7,26 do 7,98 – średnio 7,65. Odczyn badanych odpadów był lekko zasadowy. Wyniki analiz zamieszczono w tabeli 1. Na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego odpady powęglowe początkowo charakteryzują się zwykle odczynem zasadowym, dotyczy to szczególnie warstw wierzchnich. Na skutek postępującego procesu wietrzenia pirytu oraz słabego zbuforowania powstających produktów wietrzenia odpady z czasem ulegają zakwaszeniu (Patrzalek i Nowińska 2013). Większość roślin do optymalnego wzrostu i rozwoju wymaga odczynu obojętnego lub lekko kwaśnego. Zmienność odczynu w czasie wymusza konieczność monitorowania zmian tej właściwości w trakcie rekultywacji biologicznej (Strzyszc 2004). Wyznaczone wartości przewodności elektrycznej właściwej, która jest miarą zasolenia (Bresler i in. 1982), zawierały się w przedziale  $0,95 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  do  $2,01 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  wynosząc średnio  $1,35 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  (tab. 1). Podwyższone zasolenie jest jednym z czynników ograniczających prawidłowy wzrost i rozwój roślin (Munns i Tester 2008). Nawet niewielkie zasolenie może wpływać na stan zdrowotny roślin, gdyż wraz ze wzrostem stężenia soli w glebie, jej szkodliwość wzrasta, powodując zmniejszenie dostępności wody dla roślin. Wzrost stężenia soli przejawia się rosnącym ciśnieniem osmotycznym, które utrzymuje wodę w roztworze glebowym. Potencjał roztworu glebowego staje się bardzo niski, co znacząco utrudnia pobieranie wody przez rośliny (Carillo i in. 2011). Wyznaczone wartości przewodności elektrycznej właściwej wynosiły średnio  $1,35 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  i według klasyfikacji Jecksona (FAO 2006) odpowiadały glebom lekko zasolonym. Na takich terenach wyraźnie odczuwalny jest spadek plonów (Boroń i in. 2016). Podwyższone zasolenie stanowi skutek dużej zawartości soli rozpuszczalnych w wodzie i może być w przyszłości ograniczeniem dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin na badanym terenie. Według Greszty i Murawskiego (1972) tereny rekultywacyjne odpadów pogórnicych, szczególnie świeżo usypane, charakteryzują się podwyższonym zasoleniem, które z czasem ulega zmianie. W procesie tym dużą rolę odgrywa czynna faza stała (frakcja ilasta) oraz w przypadku terenów nienawadnianych opady atmosferyczne (Boroń i in. 2010).

**Tabela 1.** Odczyn, przewodność elektryczna właściwa oraz współczynnik infiltracji  
**Table 1.** Reaction, specific electrical conductivity and filtration coefficient

Nr punktu Point number	pH w H <sub>2</sub> O Reaction in H <sub>2</sub> O	pH 1 n KCl Reaction in 1 n KCl	Przewodność elektryczna Electrical conductivity (mS·cm <sup>-1</sup> )	Współczynnik infiltracji ustalonej Filtration coefficient (cm·h <sup>-1</sup> )
1	7,56	7,26	0,95	12,5
2	8,26	7,72	1,45	11,6
3	8,56	7,87	1,45	8,98
4	8,26	7,98	2,01	12,45
5	7,98	7,56	1,22	13,5
6	7,88	7,41	1,03	10,5
7	8,15	7,89	1,54	9,84
8	8,61	7,48	1,18	11,25

Wyznaczone wartości współczynników infiltracji wynosiły 8,98 cm·h<sup>-1</sup> do 13,5 cm·h<sup>-1</sup>, wynosząc średnio 11,00 cm·h<sup>-1</sup>. Według Land and Water Development Division (FAO 1971, Mocek 2015) badane materiały można zakwalifikować do średnio dużej klasy infiltracji ustalonej. Wyznaczone wartości mieściły się w zakresie typowym dla skał powęglowych (Gwoździewicz i Bukowska 2012).

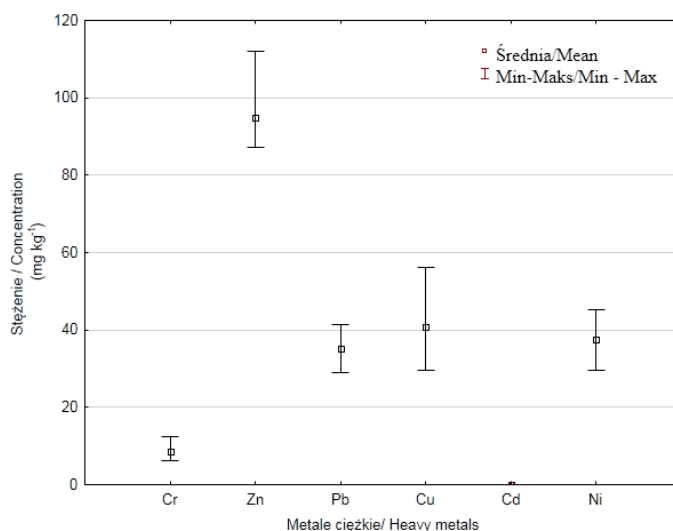
**Tabela 2.** Zawartość metali ciężkich w badanym materiale  
**Table 2.** Heavy metals content in the investigated material

Nr punktu Point number	Metale ciężkie / Heavy metals					
	Cr	Zn	Pb	Cu	Cd	Ni
	mg·kg <sup>-1</sup>					
1	6,25	101,23	38,98	29,58	0,11	32,58
2	12,45	87,26	35,87	35,48	0,04	35,15
3	8,47	91,25	33,25	39,87	0,14	44,17
4	7,98	87,56	28,98	31,56	0,15	45,18
5	8,45	112,13	32,54	56,25	0,09	33,45
6	9,85	98,67	41,25	42,25	0,09	39,18
7	8,56	87,56	38,58	48,95	0,11	41,28
8	7,48	94,51	31,56	41,56	0,12	29,48

Uzyskane wyniki analizy zawartości metali ciężkich w badanym materiale zamieszczono w tabeli 2 oraz na rysunku 2. Zawartość chromu wynosiła średnio 8,69 mg·kg<sup>-1</sup> (6,25-12,45 mg·kg<sup>-1</sup>), zawartość cynku – średnio 95,02 mg·kg<sup>-1</sup> (87,26-112,13 mg·kg<sup>-1</sup>), ołowiu – średnio 35,13 mg·kg<sup>-1</sup> (28,98-41,25 mg·kg<sup>-1</sup>), miedzi – średnio 40,69 mg·kg<sup>-1</sup> (29,58-56,25 mg·kg<sup>-1</sup>), kadmu – średnio 0,07 mg·kg<sup>-1</sup> (0,02-0,014 mg·kg<sup>-1</sup>) i niklu – średnio 37,56 mg·kg<sup>-1</sup> (29,48-45,18 mg·kg<sup>-1</sup>).

Zbliżone wyniki badań dla odpadów pogórnich w Polsce uzyskali Spsychalski (2007) oraz Kłojzy-Kaczmarczyk i in. (2016). Xin i in. (2017) prowadząc badania w chińskiej prowincji Hunan, podają również wartości zbliżone do uzyskanych w trakcie badań. Wyznaczony poziom zawartości metali ciężkich badanych odpadów przekraczał w przypadku cynku, ołowiu miedzi, kadmu i niklu średnie zawartości dla gleb Polski (Kabata-Pendias i Pendias 1999, Terelak i in. 2001). Natomiast

zawartość chromu była niższa od średniej dla gleb Polski podawanych przez wymienionych wcześniej autorów. Według Atlasu Geochemicznego Górnego Śląska (Lis i Pasieczna 1995) zawartości pierwiastków śladowych w badanych próbkach są zbliżone do zawartości w okolicznych glebach. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. 02.165.1359. 2002) uzyskane wyniki nie wskazują na przekroczenie norm grupy „C” stanowiącej tereny przemysłowe, użytki kopalne oraz tereny komunikacyjne. Spełnienie tych norm wskazuje na możliwości wykorzystania badanych materiałów jako podłoża do roślin na etapie ich przyrodniczego zagospodarowania. Z kolei porównanie z Ramowymi Wytycznymi dla Rolnictwa wg. IUNG-PIB (Kabata-Pendias i in 1993) ze względu na zawartość cynku i miedzi pozwalają zaliczyć badane materiały do grupy „I” – zawartość podwyższona. Ze względu na zawartość ołowiu, niklu i kadmu do grupy „0” – zawartość naturalna. Według tej klasyfikacji na omawianych utworach mogą być uprawiane wszystkie rośliny uprawy polowej z ograniczeniem warzyw przeznaczonych na przetwory i do bezpośredniej konsumpcji dla dzieci.



**Rys. 2.** Średnia, minimalna oraz maksymalna zawartość metali ciężkich w badanym materiale  
**Fig. 2.** Mean, minimum and maximum content of heavy metals in the investigated waste material

Średnia zawartości metali ciężkich w badanych roślinach (tab. 3) wyniosła: 41,28 mg·kg<sup>-1</sup> Zn, 1,35 mg·kg<sup>-1</sup> Cr, 5,34 mg·kg<sup>-1</sup> Cu, 3,53 mg·kg<sup>-1</sup> Ni, 4,10 g·kg<sup>-1</sup> Pb oraz 0,04 mg·kg<sup>-1</sup> Cd. W polskim prawodawstwie brak jest normatywów dotyczących dopuszczalnego składu chemicznego roślin wprowadzanych w rekultywacji biologicznej. Do porównania uzyskanych wyników przyjęto progowe zawartości

metali śladowych dla płodów rolnych (Kabata-Pendias i in. 1993). Oceniając zawartość metali ciężkich w materiale roślinnym, stwierdzono, że mieściła się ona w proponowanych wartościach progowych i nie przekraczała również wartości granicznych podawanych przez innych autorów (Curyło i in. 1985, Gorlach 1991).

**Tabela 3.** Zawartość metali ciężkich w materiale roślinnym  
**Table 3.** Content of heavy metals in the plant material

Metale ciężkie Heavy metals	Sosna czarna <i>Pinus nigra</i>	Brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	Trzcinnik piaskowy <i>Calamagrostis epigejos</i>	Niecierpek drobnokwiatowy <i>Impatiens parviflora</i>	Przytulia czepna <i>Galium aparine</i>
	mg·kg <sup>-1</sup>				
Cr	1,21	1,05	1,34	1,48	1,67
Zn	35,26	45,24	42,41	48,12	35,36
Pb	4,25	3,56	4,38	4,15	4,15
Cu	5,61	4,21	5,55	5,24	6,08
Cd	0,07	0,06	0,03	0,01	0,02
Ni	3,56	3,15	2,98	3,87	4,11

Wyznaczone współczynniki bioakumulacji (BAF) metali ciężkich dla badanych roślin zamieszczono w tabeli 4. Wartość współczynników bioakumulacji wynosiła w kolejności malejącej: 0,44 (Zn) > 0,21 (Cd) > 0,15 (Cr) > 0,14 (Cu) > 0,12 (Pb) > 0,09 (Ni). Wyznaczone współczynniki bioakumulacji wskazują, że rośliny na ogół łatwiej akumulowały cynk, kadm niż miedź chrom czy ołów. Zbliżone wyniki translokacji kadmu i ołowiu dla *Aeluropus littoralis* uzyskał Rezvani i Zaefarian (2011). Świadczy to o większej ruchliwości tych metali w porównaniu z innymi oraz stosunkowo łatwiejsze ich pobieranie przez rośliny.

**Tabela 4.** Wyznaczone współczynniki bioakumulacji metali ciężkich dla badanych roślin  
**Table 4.** Determined heavy metals bioaccumulation coefficients for the investigated plants

Metale ciężkie Heavy metals	Sosna czarna <i>Pinus nigra</i>	Brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	Trzcinnik piaskowy <i>Calamagrostis epigejos</i>	Niecierpek drobnokwiatowy <i>Impatiens parviflora</i>	Przytulia czepna <i>Galium aparine</i>
Cr	0,15	0,13	0,14	0,15	0,17
Zn	0,40	0,52	0,43	0,49	0,36
Pb	0,15	0,12	0,11	0,10	0,10
Cu	0,18	0,13	0,13	0,12	0,14
Cd	0,20	0,17	0,33	0,11	0,22
Ni	0,08	0,07	0,08	0,10	0,10

Ogólnie oceniając poziom akumulacji metali ciężkich w badanych roślinach, należy stwierdzić, że stopień ten jest niski, co wskazuje na brak fitotoksyczności badanych materiałów powęglowych. Obliczone wartości współczynnika bioakumulacji mogą służyć do oceny akumulacji metali ciężkich przez rośliny z podłoża (Cluis 2004).

## WNIOSKI

1. Odczyn badanych materiałów powęglowych jest aktualnie lekko zasadowy i zarazem korzystny dla rozwoju większości roślin stosowanych w rekultywacji i zagospodarowaniu przyrodniczym. W kolejnych latach badane odpady mogą jednak ulec zakwaszeniu, dlatego należy prowadzić pełny monitoring zmian odczynu. Wyznaczone wartości przewodności elektrycznej właściwej odpowiadały glebom lekko zasolonym. Podwyższone zasolenie jest skutkiem dużej zawartości soli rozpuszczalnych w wodzie i może być w początkowym okresie ograniczeniem dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin na składowisku. Wyznaczone wartości współczynnika infiltracji mogą stanowić ważne kryterium w określaniu sposobu oraz wielkości nawodnień na etapie przyrodniczego zagospodarowania badanych odpadów.

2. Uzyskane wyniki analizy zawartości metali ciężkich w badanym materiale odpadowym porównane z normatywami obowiązującymi w Polsce, wytycznymi branżowymi oraz literaturą nie wskazują na podwyższone ich zawartości. Zawartość metali ciężkich w materiale roślinnym pobranym ze składowiska mieściła się w proponowanych wartościach progowych. Oceniając poziom akumulacji metali ciężkich w roślinach na podstawie współczynnika bioakumulacji, należy stwierdzić, że stopień ten jest niski, co wskazuje na brak fitotoksyczności badanych odpadów powęglowych.

3. Analiza uzyskanych wyników badań właściwości fizykochemicznych i zawartości metali ciężkich w materiale i roślinach porastających badane składowisko oraz wyznaczone współczynniki bioakumulacji pozwalają na stwierdzenie, że badany materiał może być wykorzystywany jako podłoże dla roślin przy rekultywacji i zagospodarowaniu przyrodniczym.

## PIŚMIENNICTWO

- Baic I., Witkowska-Kita B., 2011. Technologie zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego – diagnoza stanu aktualnego, ocena innowacyjności i analiza SWOT. *Rocznik Ochrona Środowiska. Annual Set The Environment Protection*, 13, 1315-1326.
- Bojarska K., Bzowski Z., 2012. Wyniki badań wyciągów wodnych odpadów wydobywczych z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w aspekcie wpływu na środowisko. *Górnictwo i Geologia*, 7(2), 101-113.
- Boroń K., Klatka S., Ryczek M., Koperski T., Lech B., 2010. Odczyn i przewodnictwo elektrolityczne wybranych materiałów powęglowych stosowanych w rekultywacji. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 41, 385-390.
- Boroń K., Klatka S., Ryczek M., Liszka P., 2016. Kształtowanie się właściwości fizycznych, fizykochemicznych i wodnych rekultywowanego i nierekultywowanego osadnika byłych Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay”. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 15(3), 35-43.
- Bresler E., Mc Neal B.L., Carter D.L., 1982. *Saline and sodic soils*. Springer-Verlag, 9-13.



- Bzowski Z., Dawidowski A., 2013. Monitoring właściwości fizykochemicznych odpadów wydobywczych pochodzących z kopalni węgla kamiennego LW Bogdanka. *Zeszyty Naukowe*, 149 Uniwersytetu Zielonogórskiego, Inżynieria Środowiska, 29, 87-96.
- Carillo P., Annunziata M.G., Pontecorvo G., Fuggi A., Woodrow P., 2011. Salinity stress and salt tolerance. W: *Abiotic stress in plants – mechanisms and adaptations* (Red. A. Shanker). InTech., 21-38.
- Cluis C., 2004. Junk-greedy greens: phytoremediation as a new option for soil decontamination. *Biotech. J.*, 2, 60-67.
- Curyło T., Krauze A., Kuczyńska I., Sapek B., 1985. Liczby graniczne zawartości Fe, Cu, Mn, Zn, Co, J, Se i Mo w roślinności łąk i pastwisk pod kątem oceny ich wartości paszowej. *Prace Kom. Nauk PTG*, 93, 43-60.
- Dz.U. 1995 nr 16, poz. 78. Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych.
- Dz.U. 2002 nr 165, poz. 1359 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.
- FAO, 1971. Salinity Seminar Baghdad. Irr. drain paper 7. Rome.
- FAO, 2006. World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication. *World Soil Resources Reports No. 103*. Roma.
- Ginocchio R., Baker A., 2004. Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. *Revista Chilena de Historia. Natural*, 77(1), 185-194.
- Gorlach E., 1991. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich wartości. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 34(262), 13-22.
- Greszta J., Morawski S., 1972. Rekultywacja nieużytków przemysłowych. Wyd. PWRiL, Warszawa.
- Gwoździwicz M., Bukowska M., 2012. Zmiany współczynnika filtracji różnowiekowych odpadów wydobywczych w bryle składowiska „Bogdanka” w świetle badań modelowych oraz in situ. *Górnictwo i Środowisko. Research reports. Mining and Environment. Quarterly 1/2012*.
- Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T., 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Seria P (53)*, Wyd. IUNG, Puławy, s. 20.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Klatka S., Malec M., Ryczek M., Kruk E., Zajac E., 2016. Ocena zdolności retencyjnych wybranych odpadów przemysłowych. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus*, 15(4), 53-60.
- Klojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J., Staszczak J., 2016. Analiza jakości odpadów z nieczynnej hałdy górnictwa węgla kamiennego w odniesieniu do wymagań stawianych odpadom wydobywczym obojętnym. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, 95, 227-242.
- Korban Z., 2011. Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwałowiska nr 5A/W-1 KWK „x”. *Górnictwo i Geologia*, 6(1), 109-120.
- Lis J., Pasieczna A., 1995. *Atlas Geochemiczny Górnego Śląska*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Mocek A., Drzymała S., Maszner P., 2000. *Geneza, analiza i klasyfikacja gleb*. Poznań. Wydaw. AR, ss. 416.
- Munns R., Tester M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651- 681.
- Namiernik J., Łukasiak J., Jamrógiewicz Z., 1995. *Pobieranie próbek środowiskowych do analizy*. Wydawnictwo PWN.
- Patrzalek A., Nowińska K., 2013. Rozwój zbiorowisk roślinnych na zwałowiskach odpadów górniczych rekultywowanych różnymi metodami. W: *Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury*, 5 (Red. P.P. Zagożdżon i M. Madziarz). Wrocław, 297-306.

- Rezvani M., Zaefarian F., 2011. Bioaccumulation and translocation factors of cadmium and lead in *Aeluropus littoralis*. Aust. J. Agric. Engin., 2, 114-119.
- Spychalski W., 2007. Pierwiastki śladowe w glebach wytworzonych z gruntów pogórnicznych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 33,108-113.
- Strzyszczyński Z., 2004. Bezglebowa metoda rekultywacji terenów przemysłowych w woj. śląskim. Osiągnięcia i zagrożenia. Roczniki Gleboznawcze, 4(2), 405-418.
- Terelak H., Tujaka A., Motowicka-Terelak T., 2001. Trace element content (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) in farm-land soils in Poland, Archiwum Ochrony Środowiska, 27(4), 159-174.
- Vega F.A., Covelo E. F., Andrade M.L., 2006. Competitive sorption and desorption of heavy metals in mine soils: Influence of mine soil characteristics. J. Colloid Interface Sci., 298, 582-592.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach. 2016. Stan środowiska w województwie śląskim w 2015 roku. Biblioteka Monitoringu Środowiska Katowice, s. 172.
- Xin Li, Hong Yang, Chang Zhang, Guangming Zeng, Yunguo Liu, Weihua Xu, Youe Wu, Shiming Lan, 2017. Spatial distribution and transport characteristics of heavy metals around an antimony mine area in central China. Chemosphere, 170, 17-24.
- Zajac E., Zarzycki J., 2013. Wpływ aktywności termicznej zwalowiska odpadów węgla kamiennego na rozwój roślinności. Rocznik Ochrony Środowiska. 15, 1862-1880.

## EVALUATION OF POSSIBILITY OF NATURAL UTILISATION OF COAL MINE WASTE USED FOR SURFACE LEVELLING

*Sławomir Klatka, Magdalena Malec, Edyta Kruk, Marek Ryczek*

Department of Land Reclamation and Environmental Development  
University of Agriculture in Krakow  
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków  
e-mail: rmklatka@cyf-kr.edu.pl

**Abstract.** The paper presents the results of field and laboratory investigations on selected properties of coal mine waste used for levelling of surface, in the aspect of its natural utilisation. Obtained results show that currently the reaction of investigated materials is slightly alkaline and advantageous for the growth of most plants used in biological reclamation. Some limitation for plant development may be increased salinity. Heavy metal content was compared with obligatory standards used in Poland. Analysis showed that investigated material may be used in reclamation. Based on determined bioaccumulation coefficient (BAF) it was noted that plant species covering the investigated landfill are characterised by low level of heavy metals accumulation. Obtained results do not indicate phytotoxicity of coal mine waste and allow to state that the material deposited in the investigated landfill may be used as a substrate for plants in its natural utilisation.

**Keywords:** coal mine waste, heavy metals content, biological reclamation