

*Jacek Antonkiewicz, Czesława Jasiewicz*  
Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza w Krakowie

## WYKORZYSTANIE OSADÓW ŚCIEKOWYCH DO BIOLOGICZNEGO ZAGOSPODAROWANIA SKŁADOWISKA ODPADÓW PALENISKOWYCH

### UTILISATION OF SEWAGE SLUDGE FOR BIOLOGICAL MANAGEMENT OF ASH DISPOSAL SITE

**Słowa kluczowe:** rekultywacja, osady, popioły, rośliny.

**Streszczenie:** Badano wpływ osadów i popiołów na wielkość plonu mieszanki rekultywacyjnej i zawartość w niej metali ciężkich. Plon roślin był istotnie uzależniony od obiektu. Najwyższy plon uzyskano w obiekcie, w którym zastosowano mieszaninę osadu z popiołem w stosunku wagowym 2/3:1/3, a najniższy w obiekcie z popiołem. Zawartość metali ciężkich w roślinach była również uzależniona od obiektu i wahała się w zakresie: 0,51-1,42 mg Cr; 33,53-64,38 mg Zn; 0,82-2,48 mg Pb; 5,31-8,32 mg Cu; 0,16-0,28 mg Cd; 0,89-1,40 mg Ni kg<sup>-1</sup> s.m. 0,38-1,25 mg Cr; 31,38-65,08 mg Zn; 1,03-2,55 mg Pb; 5,29-8,93 mg Cu; 0,12-0,29 mg Cd; 0,95-1,40 mg Ni kg<sup>-1</sup> s.m. Pod względem zasobności w metale ciężkie uzyskana mieszanka traw spełnia wymogi stawiane paszom dobrej jakości, chociaż nie powinno się jej stosować na cele paszowe. Plon mieszanki rekultywacyjnej zaleca się stosować do celów przemysłowych lub do produkcji kompostu.

**Key words:** reclamation, sludge, ash, plant.

**Summary:** The effect of sludge and ashes on the amount of reclamation mixture yield and its concentrations of heavy metals were investigated. The plant yield was significantly dependant on fertiliser variant and the highest was obtained on the object where solely sewage sludge was applied, and the lowers was generated on the object where solely ash was used. Heavy metal contents in plants also depended on the object and ranged between: 0.51-1.42 mg Cr; 33.53-64.38 mg Zn; 0.82-2.48 mg Pb; 5.31-8.32 mg Cu; 0.16-0.28 mg Cd; 0.89-1.40 mg Ni kg<sup>-1</sup> d.m. In respect of abundance in heavy metals the grass mixture may be used for fodder because it meets the requirements for good quality forage.

## WSTĘP

Składowiska odpadów paleniskowych powinny być pokrywane szatą roślinną natychmiast po ich ukształtowaniu w celu ochrony przed erozyjnym działaniem wody i

wiatru oraz dla zapewnienia estetyki krajobrazu. Roślinna zabudowa hałd odpadów paleniskowych spełnia bardzo istotną rolę w biologicznej rekultywacji terenu składowiskowego [Gilewska, 1999; Siuta, 1998]. Hałdy popiołów wymagają także zabezpieczenia przed migracją metali ciężkich do wód gruntowych, a po zakończeniu procesu rekultywacji powinny być doprowadzone do stanu produkcyjności jako grunty uprawne lub tereny przeznaczone do stanu zadrzewienia i zakrzewienia [Maciak i in., 1976, 1979]. Celem badań było poznanie wpływu osadów ściekowych i popiołów paleniskowych na plon i zawartość wybranych metali ciężkich w mieszance traw i roślin motylkowych.

## MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzone były w warunkach doświadczenia polowego zlokalizowanego na terenie Miejsko-Przemysłowej Oczyszczalni Ścieków „EMPOŚ” w Oświęcimiu. Doświadczenie polowe założono w układzie losowanych bloków. Powierzchnia poletek wynosiła 8 m<sup>2</sup>. Schemat doświadczenia obejmował 6 obiektów (każdy w czterech powtórzeniach), różniących się dawką wprowadzonych osadów ściekowych i popiołów paleniskowych: I. obiekt kontrolny (bez dodatku odpadów); II. pełna dawka osadu ściekowego; III. pełna dawka popiołu; IV. 2/3 pełnej dawki osadu + 1/3 pełnej dawki popiołu; V. 1/3 pełnej dawki osadu + 2/3 pełnej dawki popiołu; VI. 1/2 pełnej dawki osadu + 1/2 pełnej dawki popiołu (tab. 1). Doświadczenie polowe zlokalizowano na gruncie mineralnym, o składzie granulometrycznym gliny średniej. Całkowita zawartość pierwiastków w gruncie, oznaczona w wyciągu mieszaniny kwasu azotowego i chlorowodorowego (3:2) wynosiła: 19,66 mg Cr, 64 mg Zn, 14,26 mg Pb, 21,30 mg Cu, 0,55 mg Cd, 19,75 mg Ni kg<sup>-1</sup> s.m. gleby (tab. 2).

**Tab. 1. Schemat doświadczenia polowego**

Nr obiektu	Wyszczególnienie	Dawka t ha <sup>-1</sup> s.m.	
		osadu	popiołu
I	Kontrola-gleba	-	-
II	Osad	200	-
III	Popiół	-	200
IV	2/3 osadu+1/3 popiołu	150	50
V	1/3 osadu+2/3 popiołu	50	150
VI	Osad + popiół 1:1	100	100

Rośliną testową w doświadczeniu była mieszanka rekultywacyjna składająca się z traw i roślin motylkowych (tj. kostrzewy czerwonej i trzcinowej, wiechlina łąkowej, komonicy zwyczajnej i koniczyny białej). Po zbiorze rośliny wysuszono w suszarce, z wymuszonym obiegiem powietrza, w temp 70°C, a następnie określono wielkość plonu suchej masy. Próbkę testowanej mieszanki roślin poddano mineralizacji na sucho w piecu muflowym w temp. 450°C [Ostrowska i in. 1991]. Zawartość Cr, Zn, Pb, Cu, Cd, Ni oznaczono metodą ICP-AES (inductively coupled plasma – atomowa spektrofotometria emisyjna oparta na palniku indukcyjnie wzbudzonej plazmy).

## WYNIKI I DYSKUSJA

Według granicznych zawartości metali ciężkich w powierzchniowych warstwach gleb [Kabata-Pendias i in., 1995] badany grunt charakteryzował się naturalną zawartością Cd, Pb, Cu, Ni, Zn i Cr (stopień 0). Grunt, na którym założono doświadczenie odpowiadał normom stawianym pod względem zawartości metali ciężkich tj. dla Cd, Pb, Cu, Ni, Zn i Cr przy stosowaniu osadów ściekowych do rekultywacji gruntów na potrzeby rolnicze i nierolnicze [Rozporządzenie MŚ, 2002]. Osad ściekowy zastosowany w doświadczeniu charakteryzował się zróżnicowaną zawartością metali ciężkich (tab. 2) zawierał najwięcej Zn i Cu, a najmniej Cd i Ni. Zestawiając uzyskane wyniki z danymi z literatury, stwierdzono, że analizowany osad charakteryzował się niską zawartością metali ciężkich [Gambuś 1999, Kuziemska i Kalembasa, 1997a]. Z danych zamieszczonych w tabeli 2 wynika, że osad ściekowy pod względem zawartości metali ciężkich może być stosowany w rolnictwie jako nawóz lub do zazielenienia składowanych odpadów paleniskowych [Rozporządzenie MŚ 2002]. Zawartość metali ciężkich w popiele paleniskowym użytym w doświadczeniu była stosunkowo niska i porównywalna do zawartości metali ciężkich w gruncie (tab. 2).

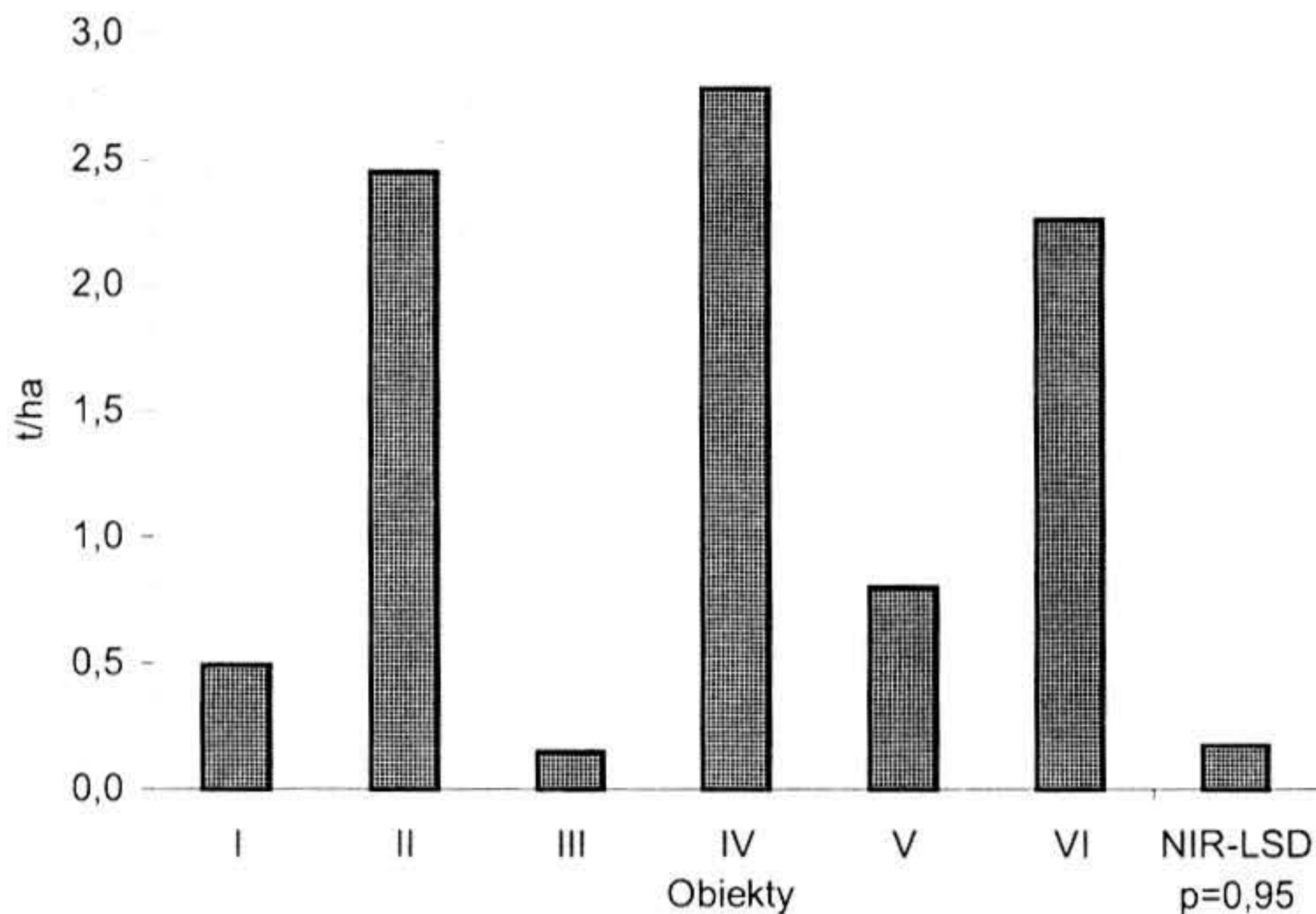
W pierwszym roku wegetacji po zastosowaniu osadów ściekowych i popiołów paleniskowych stwierdzono istotne zróżnicowanie w plonie suchej masy testowanej mieszanki rekultywacyjnej. Wielkość plonu mieszanki traw i roślin motylkowatych była bardzo zróżnicowana i zależała od dawki osadu, popiołu i ich mieszanin. Plon badanych roślin zebranych w fazie pełnej dojrzałości wahał się od 0,15 do 2,78 t ha<sup>-1</sup> (rys. 1). Najwyższy plon mieszanki rekultywacyjnej uzyskano z obiektu, w którym zastosowano osad z popiołem w stosunku wagowym 2/3:1/3. Wielkość plonu z tego obiektu była ponad 5,62 razy wyższa w porównaniu do obiektu kontrolnego. W obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie osad ściekowy, również zarejestrowano pięciokrotny wzrost plonu w porównaniu do kontroli. W obiekcie VI, w którym wymieszano osad z popiołem w stosunku wagowym 1:1, zarejestrowano także wysoki, bo ponad czterokrotnie wyższy plon w porównaniu do obiektu kontrolnego. Zastosowanie wyłącznie popiołu (obiekt III) w sposób istotny obniżyło wielkość plonu w tym obiekcie w porównaniu do kontroli. W badanym obiekcie uzyskano najniższy plon mieszanki rekultywacyjnej, stanowił on 31% plonu obiektu kontrolnego. Wysoka wartość nawozowa osadu ściekowego uległa znacznemu obniżeniu w wyniku znacznego dodatku popiołu (obiekt V).

Plon uzyskany w tym obiekcie wynosił 0,8 t ha<sup>-1</sup>, i był ponad 1,6 krotnie wyższy w porównaniu do kontroli. Z przeprowadzonych badań wynika, że wartość nawozowa mieszanin osadu ściekowego i popiołu wyrażona plonem suchej masy mieszanki rekultywacyjnej, była wyższa w porównaniu do kontroli i obiektu, w którym zastosowano wyłącznie popiół. Niniejsze badania potwierdziły dotychczasowe wyniki wskazujące na wysoką wartość nawozową osadów ściekowych [Kalembasa i Wysokiński, 2002a; Mazur, 2000].

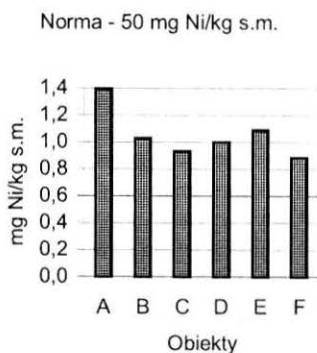
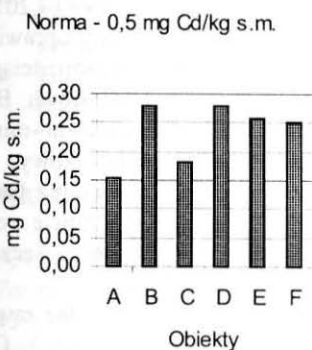
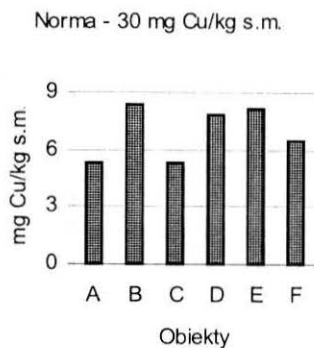
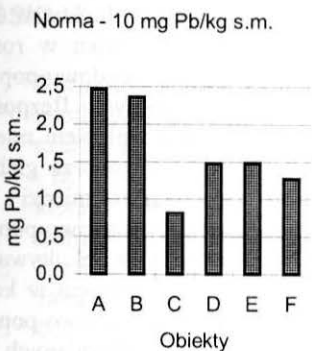
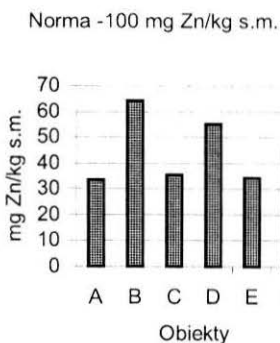
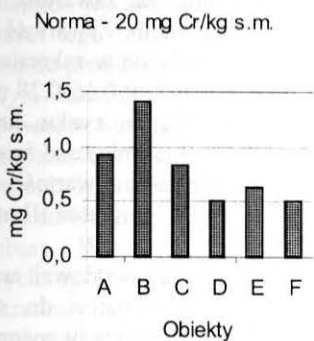
Tab. 2. Charakterystyka materiałów zastosowanych w doświadczeniu polowym

Parametr		Jednostki	Nazwa metody	Osad	Grunt	Popiół
				zawartość		
Odczyn	(H <sub>2</sub> O)	pH	Elektrometryczna	6,32	7,20	8,72
	(KCl)	pH	Elektrometryczna	5,88	6,81	8,46
	(CaCl <sub>2</sub> )	pH	Elektrometryczna	6,22	6,91	8,47
Sucha masa		%	Suszarkowa	19,63	-	76,12
Substancja organiczna		% s.m.	Tiurina	37,42	1,42	4,50
Węgiel organiczny		% s.m.	Tiurina	21,70	0,82	2,61
Skład granulometryczny		-	Sedymentacyjna	pgl <sup>*</sup>	gs <sup>**</sup>	pgmp <sup>***</sup>
Chrom		mg kg <sup>-1</sup> s.m.	ICP-AES	48,20	19,66	20,33
Cynk		mg kg <sup>-1</sup> s.m.	ICP-AES	805,00	64,70	33,10
Ołów		mg kg <sup>-1</sup> s.m.	ICP-AES	64,60	14,26	10,36
Miedź		mg kg <sup>-1</sup> s.m.	ICP-AES	236,00	21,30	35,60
Kadm		mg kg <sup>-1</sup> s.m.	ICP-AES	2,04	0,55	0,06
Nikiel		mg kg <sup>-1</sup> s.m.	ICP-AES	14,35	19,75	22,20

\* pgl – piasek gliniasty lekki, gs<sup>\*\*</sup> – glina średnia, pgmp<sup>\*\*\*</sup> – piasek gliniasty mocny pylasty



Rys. 1. Plon suchej masy roślin; objaśnienia: I – grunt; II – osad; III – popiół; IV – osad:popiół 2:1; V – osad:popiół 1:2; VI – osad:popiół 1:1



Rys. 2. Zawartość metali ciężkich w roślinach; objaśnienia: A – grunt; B – osad; C – popiół; D – osad:popiół 2:1; E – osad:popiół 1:2; F – osad:popiół 1:1



Przeprowadzona analiza materiału roślinnego wykazała, że zawartość metali ciężkich uzależniona była od dawki osadu, popiołu i ich mieszanin. Zawartość metali ciężkich w materiale roślinnym, w zależności od obiektu, wahała się w zakresie: 0,51-1,42 mg Cr; 33,53-64,38 mg Zn; 0,82-2,48 mg Pb; 5,31-8,32 mg Cu; 0,16-0,28 mg Cd; 0,89-1,40 mg Ni  $\text{kg}^{-1}$  s.m. (ryc. 2). Najwyższą zawartość chromu, cynku, kadmu i miedzi zarejestrowano w II obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie osad ściekowy, natomiast ołowiu i niklu w obiekcie kontrolnym. Natomiast najniższe zawartości cynku, miedzi i kadmu odnotowano w kontroli, a chromu w obiekcie IV, ołowiu w III, niklu w VI.

Zastosowany osad ściekowy, w dawce  $200 \text{ t ha}^{-1}$  s.m., spowodował wyraźny wzrost zawartości chromu, cynku, kadmu i miedzi w porównaniu do obiektu kontrolnego (rys. 2). Natomiast mieszaniny osadowo-popiołowe wpłynęły znacząco na obniżenie zawartości chromu i ołowiu w mieszance rekultywacyjnej. W przypadku cynku stwierdzono, że zastosowane popioły paleniskowe również nie stanowią źródła tego metalu dla roślin, ponieważ zawartość cynku w roślinach uprawianych w obiekcie kontrolnym była zbliżona do zawartości w roślinach uzyskanych z obiektu, w którym zastosowano wyłącznie popiół. Stosunkowo wysoka zawartość cynku w roślinach uprawianych w obiektach, w których zastosowano mieszaniny osadowo-popiołowe świadczy, że źródłem tego pierwiastka może być osad ściekowy. Bezpośrednią przyczyną obniżenia bioprzyswajalności tych pierwiastków, pod wpływem mieszanin osadowo-popiołowych, może być ich słaba rozpuszczalność w roztworze glebowym [Kabata-Pendias i in., 1987]. Nieco inaczej przedstawiała się zawartość miedzi i kadmu w roślinach. Zastosowane w różnych proporcjach mieszaniny osadowo-popiołowe spowodowały wyraźny wzrost zawartości tych metali w mieszance rekultywacyjnej. Najwyższą zawartość niklu w mieszance rekultywacyjnej zarejestrowano w kontroli, natomiast zastosowany wyłącznie osad ściekowy i mieszaniny osadowo-popiołowe spowodowały wyraźne obniżenie zawartości tego metalu. Spośród badanych metali ciężkich w roślinach największym zróżnicowaniem, zależnie od obiektu nawozowego, charakteryzował się chrom ( $V=43,09\%$ ), a najmniejszym nikiel ( $V=17,20\%$ ). W badaniach Kalemby i Wysokińskiego [2002b] stwierdzono, że rośliny uprawiane na mieszaninach osadowo-popiołowych charakteryzowały się wysoką zawartością metali ciężkich, znacznie wyższą od zawartości uzyskanych w badaniach własnych. Badania Curyły i Jasiewicz [1998] wykazały, że zastosowane nawożenie organiczno-mineralne w postaci rekultera zawierającego w swoim składzie popiół paleniskowy, obniża pobieranie metali przez rośliny. Można sądzić, że ograniczenie pobierania badanych pierwiastków było efektem zmniejszenia przyswajalności metali w gruncie po przez związanie tych pierwiastków przez materię organiczną oraz obniżenia rozpuszczalności w wyniku odkwaszającego działania mieszanin osadowo-popiołowych.

Kabata-Pendias et al [1993] podają następujące krytyczne dopuszczalne zawartości metali śladowych w roślinach przeznaczonych na paszę (w  $\text{mg kg}^{-1}$  s.m.):  $\text{Cd} \leq 0,5$ ;  $\text{Zn} \leq 100,0$ ;  $\text{Pb} \leq 10$ ;  $\text{Cu} \leq 30$ ;  $\text{N} \leq 50$ . Wyceniając testowane rośliny według tego kryterium, pomimo że mieszaninę rekultywacyjną nie powinno się przeznaczać na cele paszowe, to należy stwierdzić, że spełniała ona wymogi stawiane paszom dobrej jakości. Dopuszczalna zawartość chromu w materiale roślinnym przeznaczonym na pasze wynosi  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  s.m. [Preś i Kinal, 1996]. Według tego kryterium również nie

stwierdzono w analizowanym materiale roślinnym przekroczenia dopuszczalnej zawartości tego metalu. Zbiór ten zaleca się przeznaczać na cele przemysłowe, na przykład do produkcji kompostu. Niska zawartość metali ciężkich w badanym materiale roślinnym dowodzi, że znajdujące się w osadzie ściekowym pierwiastki mogą występować w formach mało dostępnych dla roślin [Baran i in., 1996, 2002; Kuziemska i Kalembasa, 1997b]. W doświadczeniu odnotowano wyraźny wpływ dodatku osadu, popiołu oraz ich mieszanin na ilość metali ciężkich w roślinach, ale nie wpłynęło to na jakość paszową roślin. Uzyskane wyniki badań nie znajdują potwierdzenia w badaniach Kalembasy i Wysokińskiego [2002], w których zawartości metali ciężkich w roślinach testowych, uprawianych na mieszaninach osadowo-popiołowych były znacznie wyższe i przekraczały normy stawiane paszom dobrej jakości. Badania Maciaka i in. [1976] potwierdzają uzyskane wyniki własne, w których stwierdzono stosunkowo niskie zawartości metali ciężkich w roślinach rekultywacyjnych.

## WNIOSKI

1. Stwierdzono duże zróżnicowanie w zakresie plonowania mieszanki rekultywacyjnej zależnie od dawki osadu i popiołu paleniskowego. Plon mieszanki rekultywacyjnej wahał się w zależności od obiektu od 0,15 do 2,78 t ha<sup>-1</sup>. Najwyższy plon mieszanki rekultywacyjnej uzyskano z obiektu, w którym zastosowano osad z popiołem w stosunku wagowym 2/3:1/3, a najniższy plon uzyskano z obiektu gdzie zastosowano wyłącznie popiół.
2. Zarejestrowano duże zróżnicowanie zawartości badanych pierwiastków w zależności od obiektu doświadczenia. Najwyższe zawartości Cr, Zn, Cd i Cu odnotowano w obiektach nawożonych wyłącznie osadem ściekowym, natomiast Pb i Ni w kontroli.
3. Wycena mieszanki wg liczb granicznych IUNG pod względem zawartości Cd, Pb, Ni, Cu i Zn wskazuje, że rośliny uprawiane, niezależnie od obiektu, spełniały wymagania jakościowe stawianym paszom dobrej jakości.
4. Biorąc pod uwagę zawartość Cr w badanych roślinach nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnej zawartości tego składnika.

## LITERATURA

- BARAN S., TURSKI R., FLIS-BUJAK M., KWIECIEŃ J., PIETRASIK W., 1996: Formy miedzi w glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym. Zesz. Probl. PNR., 437, 79-88.
- BARAN S., WÓJCIKOWSKA-KAPUSTA A., ŻUKOWSKA G., 2002: Pobieranie miedzi przez różne gatunki roślin uprawnych z gleby lekkiej użyźnionej osadem ściekowym. Zesz. Probl. PNR, 484, 37-44.
- GAMBUŚ F. 1999: Skład chemiczny i wartość nawozowa osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni regionu krakowskiego. Mat. III Konf. Nauk.-Techn. nt.



- "Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych". Świnoujście, 9-11. 06. 1999, 67-77.
- GILEWSKA M., 1999: Utilization of sewage sludge in the reclamation of post mining soil and ash disposal sites. *Rocz. AR Pozn. CCCX, Melior. Inż. Środ.* 20, II, 273-281.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., WIĄCEK K., 1987: Wpływ popiołów z węgla kamiennego na gleby i rośliny. *Arch. Ochr. Środ.* 1-2, 97-104.
- 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. Puławy, P.* (53), IUNG, ss 20.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., MOTOWICKA-TERELAK T., MALISZEWSKA-KORDYBACH T., FILIPIAK K., KRAKOWIAK A., PIETRUCH CZ., 1995: Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb – metale ciężkie, siarka i WWA. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska. *Bibliot. Monit. Środ.*, Warszawa, ss. 41.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych. *Wyd. Nauk. PWN, Warszawa*, ss. 398.
- KALEMBASA S., WYSOKIŃSKI A., 2002a: Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem węgla brunatnego lub z CaO na plon i skład chemiczny roślin. *Cz. I. Plon roślin. Zesz. Probl. PNR*, 482, 251-256.
- KALEMBASA S., WYSOKIŃSKI A., 2002b; Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem węgla brunatnego lub z CaO na plon i skład chemiczny roślin. *Cz. III. Zawartość wybranych mikroskładników. Zesz. Probl. PNR*, 482, 263-268.
- KOTER M., NOWAK G., CZAPLA J., 1984: Wpływ popiołów z węgla kamiennego na fizykochemiczne właściwości gleby. *Roczn. Glebozn.* 35, 1, 97-106.
- KUZIEMSKA B., KALEMBASA ST., 1997a: Wpływ wapnowania, dawki i rodzaju osadów ściekowych oraz nawożenia NPK na plon, skład chemiczny roślin i gleby. *Cz. I. Plon roślin. Arch. Ochr. Środ.* 23, 1-2, 97-108.
- KUZIEMSKA B., KALEMBASA ST., 1997b: Wpływ wapnowania, dawki i rodzaju osadów ściekowych oraz nawożenia NPK na plon, skład chemiczny roślin i gleby. *Cz. III. Zawartość wybranych metali ciężkich w materiale roślinnym. Arch. Ochr. Środ.* 23, 1-2, 127-138.
- MACIAK F., LIWSKI S., PRONCZUK J., 1976: Rekultywacja rolnicza składowisk odpadów paleniskowych (popiołów) z węgla brunatnego i kamiennego. *Cz. I. Wzrost roślinności na składowiskach popiołu w zależności od zabiegów agrotechnicznych i nawożenia. Roczn. Glebozn.* 27, 4, 149-169.
- MACIAK F., LIWSKI S., JEŻEWSKI Z., 1979: Rekultywacja hałdy popiołu z węgla brunatnego elektrowni Konin przez zadrzewienie i zakrzewienie. *Roczn. Glebozn.* 30, 3, 179-198.
- MAZUR T., 2000: Rolnicza utylizacja stałych odpadów organicznych. *Zesz. Probl. PNR.* 472, 507-516.



- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z., 1991: Methods of analysis and assessment of soil and plant properties. A Catalogue. Wyd. IOŚ, Warszawa, ss.334.
- PREŚ J., KINAL St., 1996: Aktualne spojrzenie na sprawę zaopatrzenia zwierząt w mikroelementy. Zesz. Probl., PNR, 434, 1043-1061.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. DzU RP, Nr 134, Poz. 1140.
- SIUTA J., 1998: Rekultywacja gruntów. Poradnik. Wyd. IOŚ, Warszawa 1998, ss. 204.