

# ZAWARTOŚĆ GŁÓWNYCH SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH DLA ROŚLIN I METALI CIĘŻKICH W NADKLADACH I PODKLADACH MODELU REKULTYWACYJNEGO SKŁADAJĄCEGO SIĘ Z POPIOŁU Z WĘGLA KAMIENNEGO ORAZ KOMUNALNYCH OSADÓW ŚCIEKOWYCH <sup>1</sup>

## CZEŚĆ I

### ZAWARTOŚĆ GŁÓWNYCH SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH DLA ROŚLIN

*Stawomir Stankowski* <sup>1</sup>, *Edward Krzywy* <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zakład Biometrii i Doświadczalnictwa, Akademia Rolnicza w Szczecinie

<sup>2</sup> Katedra Chemii Środowiska, Akademia Rolnicza w Szczecinie

## Wstęp

W czasie procesu technologicznego spalania węgla kamiennego w ciepłowniach i elektrowniach otrzymuje się odpad w postaci popiołów paleniskowych. Nieodpowiednio zagospodarowane lub zabezpieczone popioły z węgla kamiennego mogą się stać źródłem zanieczyszczenia atmosfery, wód i gleb. Duże ilości popiołów były i są gromadzone na składowiskach, które zajmują coraz to większe powierzchnie pól wyłączonych z użytkowania przyrodniczego.

Popioły paleniskowe z węgla kamiennego są materiałem bez strukturalnym, drobnoziarnistym o dominacji w uziarnieniu frakcji pyłu (0,1–0,02 mm). Posiadają one odczyn alkaliczny (pH 9–13), co jest spowodowane dużą zawartością CaO i MgO. Ponadto w popiołach z węgla kamiennego występuje także sód, potas, siarka, żelazo i fosfor. Zawartość fosforu i potasu w popiołach paleniskowych jest podobna do ilości tych pierwiastków występujących w glebach uprawnych [MACIAK, HRYNKIEWICZ 1990; MELLER i in. 1999].

Popioły paleniskowe charakteryzują się brakiem substancji organicznej i azotu. Wskazuje to, że w procesach przyrodniczego zagospodarowania popiołów należy dodawać i wykorzystywać materiały o dużej zawartości substancji organicznej i azotu.

Rezultaty niektórych badań wskazują, że w popiołach paleniskowych z węgla kamiennego mogą występować w nadmiarze ilości metali ciężkich. Przeprowadzone badania dotyczące zawartości metali ciężkich w popiołach paleniskowych z Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” S.A. wskazują, że mogą one być zagospodarowywane przyrodniczo [MELLER i in. 1999].

W ostatnich kilkunastu latach w Polsce zmodernizowano, a także wybudowano

---

<sup>1</sup> Praca wykonana w ramach grantu KBN 3/PO6S/017/25.

wano, wiele nowych komunalnych oczyszczalni ścieków. W trakcie oczyszczania ścieków otrzymuje się wody pościekowe, które mogą być odprowadzane do cieków i zbiorników wodnych lub wykorzystywane w rolnictwie do zraszania pól oraz osady ściekowe, które budzą wiele kontrowersji w dziedzinie ich zagospodarowania bądź utylizacji.

Uważa się, że komunalne osady ściekowe i wyprodukowane z nich komposty mogą być użyte do wzbogacania gleb w masę organiczną i składniki pokarmowe dla roślin [BARAN i in. 1993, 1999; MAZUR 1996; OLESZKIEWICZ 1998; CZEKAŁA i in. 1999; GAMBUŚ 1999; KALEMBASA, SYMANOWICZ 1999; KRZYWY i in. 2000, 2002; SIUTA 2000; SIUTA, WASIAK 2001; URBANIAK 1997]. Niektóre komunalne osady ściekowe mogą zawierać nadmierne koncentracje metali ciężkich oraz ilości drobnoustrojów chorobotwórczych i pasożytów. Z tego też powodu Minister Środowiska wydał Rozporządzenie (Dz. U. 02.134.1140) określające dopuszczalne zawartości metali ciężkich, oraz ilości drobnoustrojów chorobotwórczych i pasożytów w komunalnych osadach ściekowych, przeznaczonych do zagospodarowania w rolnictwie i rekultywacji i gruntów.

Do tej pory nie opracowano kompleksowej i bezpiecznej dla środowiska metody utylizacji, bądź zagospodarowania popiołów po spalaniu węgla kamiennego, a także komunalnych osadów ściekowych.

Mając na uwadze te aspekty podjęto badania nad możliwością wykorzystania popiołów z węgla kamiennego i komunalnych osadów ściekowych do procesów rekultywacji.

W tym celu sporządzono model składający się z nadkładów i podkładów o różnym składzie rzeczowym. W pracy przedstawiono zawartości głównych składników pokarmowych dla roślin (N, P, K) w nadkładach i podkładach modelu rekultywacyjnego.

## Materiały i metody

Realizując cel badań na terenie Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie wiosną 2003 r., założono doświadczenie polegające na budowie modelu rekultywacyjnego.

Tabela 1; Table 1

Skład rzeczowy nadkładów i podkładów modelu rekultywacyjnego  
w % w przeliczeniu na suchą masę

The composition of upperlies and underlies in a reclamation model  
(in % of dry matter)

Podkłady; Underlies 40–200 cm	Nadkłady 0–40 cm*; Upperlies 0–40 cm*					
	I	II	III	IV	V	VI
Popiół z węgla kamiennego; Coal ash	+	+	+	+	+	+
Popiół z węgla kamiennego + N <sub>60</sub> , P <sub>70</sub> , K <sub>120</sub>	+	+	+	+	+	+
Coal ash + N <sub>60</sub> , P <sub>70</sub> , K <sub>120</sub>	+	+	+	+	+	+
Piasek luźny; Loose sand	+	+	+	+	+	-

Objaśnienia; Explanations

I – nadkład I – mieszanina torfu niskiego i popiołu z węgla kamiennego w proporcji 1 : 3

II – nadkład II – mieszanina kory z drzew iglastych piasku luźnego, kompostu z komunalnego osadu ściekowego wytworzonego metodą GWDA i popiołu z węgla kamiennego w stosunku 1 : 1 : 2 : 4

- III – nadkład III – mieszanina piasku luźnego, kompostu wytworzonego metodą GWDA i kompostu z komunalnego osadu ściekowego (70%), słomy (15%) odpadów zieleni miejskiej (15%) w stosunku 1 : 1 : 2
- IV – nadkład IV – mieszanina piasku luźnego, popiołu z węgla kamiennego, kompostu wytworzonego metodą GWDA, kompostu z komunalnego osadu ściekowego (70%) i odpadów zieleni miejskiej (30%) w stosunku 0,5 : 0,5 : 1 : 2
- V – nadkład V – mieszanina kory z drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu wyprodukowanego metodą GWDA, kompostu z komunalnego osadu ściekowego (70%) i słomy (30%) w stosunku 1 : 1 : 2 : 4
- VI – nadkład VI mieszanina popiołu z węgla kamiennego i przefermentowanego komunalnego osadu ściekowego w stosunku 1 : 1

Nawozy mineralne stosowane w podkładzie II wprowadzono w formie: mocznika, superfosfatu potrójnego i soli potasowej 60%

- I – upperlies I – a mixture of low moor peat and coal ash at a ratio of 1 : 3
- II – upperlies II – a mixture of bark from coniferous trees, loose sand, compost from municipal sewage sludge made by the GWDA method, and coal ash at a ratio of 1 : 1 : 2 : 4
- III – upperlies III – a mixture of loose sand, compost made by the GWDA method, and compost from municipal sewage sludge (70%), straw (15%), green wastes (15%) at a ratio of 1 : 1 : 2
- IV – upperlies IV – a mixture of loose sand, coal ash, compost made by the GWDA method, compost from municipal sewage sludge (70%), and green wastes 930% at a ratio of 0.5 : 0.5 : 1 : 2
- V – upperlies V – a mixture of bark from coniferous trees, loose sand, compost produced by the GWDA method, compost from municipal sewage sludge (70%), and straw 930% at a ratio of 1 : 1 : 2 : 4
- VI – upperlies VI – a mixture of coal ash and fermented municipal sewage sludge at a ratio of 1 : 1

Mineral fertilizers applied in the upperlies II were incorporated in the forms of urea, triple superphosphate, and 60% potassium salt

Warstwa wierzchnia modelu o miąższości 0–40 cm składała się z sześciu nadkładów o różnym składzie rzeczowym. Każdy z nadkładów umieszczono na trzech różnych podkładach o miąższości 40–200 cm (tab. 1).

Charakterystykę chemiczną komponentów wchodzących w skład nadkładów i podkładów podano w opracowaniu STANKOWSKIEGO i in. [2003].

Jesienią 2003 r., z warstwy 0–40 cm nadkładów i 40–80 cm podkładów, pobrano próbki i oznaczono formy ogólne azotu, fosforu i potasu oraz formy przyswajalne dla roślin fosforu i potasu. Analizy wykonano według OSTROWSKIEJ i in. [1991].

## Wyniki i dyskusja

Popioły z węgla kamiennego charakteryzowały się śladową zawartością azotu. Zawartość form ogólnych fosforu w popiołach z węgla kamiennego była nieco mniejsza aniżeli w piasku luźnym. Popioły z węgla kamiennego zawierały wyraźnie więcej potasu ogólnego, aniżeli piasek luźny. Dodatek do popiołów z węgla kamiennego nawozów mineralnych (mocznik, superfosfat potrójny, sól potasowa 60%) zwiększył zawartość form ogólnych badanych pierwiastków w podkładzie (tab. 2, 3, 4).

Nadkłady zawierały wyraźnie więcej azotu aniżeli podkłady (tab. 2). Zawartość form ogólnych fosforu w nadkładach o składzie rzeczowym w których przewały komposty z komunalnych osadów ściekowych była nieco większa aniżeli w podkładach (tab. 3). Zjawisko to wiąże się z dużą zawartością azotu i fosforu w stosunku do potasu w komunalnych osadach ściekowych. Podkłady z popiołu z

węgla kamiennego zawierały więcej form ogólnych potasu aniżeli nadkłady (tab. 4). Wskazuje to, że użyte do budowy nadkładów komponenty (torf, komunalny osad ściekowy i wyprodukowane z nich komposty) zawierały mniej potasu aniżeli popioły z węgla kamiennego.

Tabela 2; Table 2

Zawartość azotu ogólnego w nadkładach i podkładach przeznaczonych do celów rekultywacyjnych ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)

The content of total nitrogen forms in the upperlies and underlies intended to be used in reclamation ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  DM)

Podkład - Underlies	Bez nadkładu. Nadkład stanowił podkład Without the upperlies The upperlay was the underlay	Nadkład; Upperlies					
		I	II	III	IV	V	VI
Warstwa 0-40 cm; The 0-40-cm layer							
Popiół; Coal ash	śląd; trace	1,78	1,81	5,07	4,20	4,16	2,92
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	0,20	1,81	1,79	4,99	4,16	4,14	2,89
Piasek; Sand	0,25	1,79	1,82	4,92	4,18	4,18	-
Srednia; Mean	0,22	1,79	1,81	4,99	4,18	4,26	2,90
Warstwa 40-80 cm; The 40-80 cm layer							
Popiół; Coal ash	śląd; trace	Śład	Śład	Śład	Śład	Śład	Śład
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	0,20	0,21	0,23	0,22	0,25	0,24	0,25
Piasek; Sand	0,25	0,22	0,23	0,25	0,23	0,25	-
Średnia; Mean	0,22	0,21	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25

Objaśnienia składu rzeczowego nadkładów podano w tabeli 1; Explanations see Table 1

Tabela 3; Table 3

Zawartość fosforu ogólnego w nadkładach i podkładach przeznaczonych do celów rekultywacyjnych ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)

The content of total forms of phosphorous in the upperlies and underlies intended to use in reclamation ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  DM)

Podkład Underlies	Bez nadkładu. Nadkład stanowił podkład Without the upperlies. The upperlay was the underlay	Nadkład; Upperlies					
		I	II	III	IV	V	VI
Warstwa 0-40 cm; The 0-40 cm layer							
Popiół; Coal ash	0,88	1,12	1,18	1,51	1,48	1,46	1,38
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	1,28	1,14	1,17	1,47	1,50	1,48	1,40
Piasek; Sand	0,98	1,15	1,12	1,49	1,50	1,48	-
Srednia; Mean	1,04	1,14	1,12	1,49	1,50	1,48	1,39
Warstwa 40-80 cm; The 40-80 cm layer							
Popiół; Coal ash	0,88	0,92	0,94	0,91	0,90	0,92	0,88
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	1,28	1,33	1,34	1,35	1,34	1,33	1,34
Piasek; Sand	0,98	1,02	1,04	1,03	1,05	1,06	-
Średnia; Mean	1,04	1,09	1,11	1,09	1,09	1,10	1,11

Objaśnienia składu rzeczowego nadkładów podano w tabeli 1; Explanations see Table 1

Tabela 4; Table 4

Zawartość potasu ogólnego potasu w nadkładach i podkładach przeznaczonych do celów rekultywacyjnych ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)

The content of total potassium forms in the upperlies and underlies intended to be used in reclamation ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  DM)

Podkład Underlies	Bez nadkładu. Nadkład stanowił podkład Without the upperlies. The upperlay was the underlay	Nadkład; Upperlies					
		I	II	III	IV	V	VI
Warstwa 0-40 cm; The 0-40 cm layer							
Popiół; Coal ash	5,85	5,30	5,50	5,20	5,35	5,80	5,20
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	6,25	4,85	5,40	5,45	5,21	5,71	5,21
Piasek; Sand	1,90	4,90	5,55	5,50	5,46	5,56	-
Średnia; Mean	4,66	5,02	5,48	5,38	5,34	5,69	5,20
Warstwa 40-80 cm; The 40-80 cm layer							
Popiół; Coal ash	5,85	5,82	5,88	5,78	5,82	5,84	5,86
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	6,25	6,23	6,25	6,26	6,16	6,18	6,13
Piasek; Sand	1,90	1,80	1,90	1,85	1,78	1,82	-
Średnia; Mean	4,66	4,61	4,64	4,63	4,58	4,61	5,99

Objaśnienia składu rzeczowego nadkładów podano w tabeli 1; Explanations see Table 1

Tabela 5; Table 5

Zawartość fosforu przyswajalnego w nadkładach i podkładach przeznaczonych do celów rekultywacyjnych ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)

The content of phosphorous forms in the upperlies and underlies intended to be used in reclamation ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  DM)

Podkład Underlies	Bez nadkładu. Nadkład stanowił podkład Without the upperlies The upperlay was the underlay	Nadkład; Upperlies					
		I	II	III	IV	V	VI
Warstwa 0-40 cm; The 0-40 cm layer							
Popiół; Coal ash	21,3	35,0	37,6	40,2	46,1	48,6	38,2
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	25,3	34,6	38,4	44,2	48,1	52,6	38,1
Piasek; Sand	3,8	33,8	36,2	42,1	48,3	50,8	-
Średnia; Mean	16,8	34,5	37,4	42,2	47,5	50,6	38,1
Warstwa 40-80 cm; The 40-80 cm layer							
Popiół; Coal ash	21,3	21,4	21,5	21,2	21,3	21,5	21,4
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	25,3	25,6	25,6	26,8	26,8	29,6	25,2
Piasek; Sand	3,8	4,0	3,9	4,2	4,0	4,0	-
Średnia; Mean	16,8	17,0	17,0	17,4	18,0	18,7	25,8

Objaśnienia składu rzeczowego nadkładów podano w tabeli 1; Explanations see Table 1

Najbogatszymi w formy ogólne azotu i fosforu były nadkłady w których przewagę miały komposty z komunalnych osadów ściekowych. Najmniej form

ogólnych tych pierwiastków zawierały nadkłady z których przewagę miały popioły z węgla kamiennego (tab. 2, 3). Najmniej form ogólnych potasu zawierał nadkład sporządzony z torfu niskiego i popiołu z węgla kamiennego. Zawartość form ogólnych tego pierwiastka w pozostałych nadkładach w niewielkim stopniu się zmieniła (tab. 4).

Najuboższym w formy przyswajalne dla roślin fosforu i potasu był podkład z piasku luźnego. Najwięcej form przyswajalnych tych pierwiastków zawierał podkład z popiołów z węgla kamiennego z dodatkiem nawozów mineralnych (mocznik, superfosfat potrojny, sól potasowa 60%), (tab. 5, 6).

Tabela 6; Table 6

Zawartość potasu przyswajalnego w nadkładach i podkładach przeznaczonych do celów rekultywacyjnych ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)

The content of potassium forms in the upperlies and underlies intended to be used in reclamation ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  DM)

Podkład Underlies	Bez nadkładu. Nadkład stanowił podkład Without the upperlies The upperlay was the underlay	Nadkład; Upperlies					
		I	II	III	IV	V	VI
Warstwa 0–40 cm; The 0–40 cm layer							
Popiół; Coal ash	19,0	60,1	60,0	63,3	65,4	56,8	63,5
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	27,0	58,2	63,5	66,8	67,4	55,5	64,2
Piasek; Sand	9,2	59,1	64,0	67,2	66,8	58,9	–
Średnia; Mean	18,4	59,1	62,5	65,8	66,5	67,1	63,8
Warstwa 40–80 cm; The 40–80 cm layer							
Popiół; Coal ash	19,0	19,2	19,5	18,9	19,3	19,1	19,0
Popiół + NPK; Coal ash + NPK	16,6	20,3	20,2	20,5	20,9	20,0	20,0
Piasek; Sand	9,2	9,2	9,2	9,8	9,9	9,8	–
Średnia; Mean	18,4	16,2	16,3	16,4	18,7	16,3	19,5

Objaśnienia składu rzeczowego nadkładów podano w tabeli 1; Explanations see Table 1

Średnio najmniej form przyswajalnych dla roślin fosforu i potasu zawierał nadkład składający się z torfu i popiołu z węgla kamiennego. Najwięcej form przyswajalnych badanych pierwiastków zawierały nadkłady o przewadze w swoim składzie kompostów z komunalnych osadów ściekowych. Jest to związane z procesem mineralizacji masy organicznej w nadkładach.

W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono wyraźnego przemieszczania się form ogólnych i przyswajalnych dla roślin badanych pierwiastków z nadkładów do podkładów. Związane jest ze zbyt krótkim okresem od budowy modelu (wiosna 2004 r.) do pobrania prób (jesień 2004 r.).

Zawartość metali ciężkich w podkładach i nadkładach modelu rekultywacyjnego nie przekroczyła dopuszczalnych norm [STANKOWSKI, KRZYWY 2004].

Uzyskane rezultaty wskazują na możliwość uprawy na modelu rekultywacyjnym roślin alternatywnych oraz niektórych typowo rolniczych. Rezultaty te w dużej mierze potwierdzają badania BARANA i in. [1993, 1999] KRZYWEGO i in. [2002], SIUTY [2000], SIUTA, WASIAK [2001] oraz URBANIAKA [1997].

## Wnioski

1. Podkłady z popiołu z węgla kamiennego charakteryzowały się śladową zawartością azotu oraz wyraźnie większą ilością potasu w stosunku do piasku luźnego.
2. Dodatek nawozów mineralnych (mocznik, superfosfat potrójny i sól potasowa 60%) do podkładów z popiołu z węgla kamiennego zwiększył zawartość form ogólnych i przyswajalnych dla roślin badanych pierwiastków.
3. Nadkłady zawierały wyraźnie więcej azotu ogólnego w porównaniu z podkładami. Natomiast podkłady z popiołu z węgla kamiennego charakteryzowały się większą zawartością potasu ogólnego w stosunku do nadkładów.
4. Najwięcej form ogólnych azotu, fosforu i potasu zawierały nadkłady w których przewagę miały komposty z komunalnych osadów ściekowych.
5. Średnio najwięcej form przyswajalnych dla roślin fosforu i potasu zawierały nadkłady o przewadze kompostów z komunalnych osadów ściekowych.

## Literatura

BARAN S., FLIS-BUJAK M., TURSKI R., ŻUKOWSKA G. 1993. *Przemiany substancji organicznej w glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 409: 243–250.

BARAN S., SZCZEPANOWSKA I., SAADI L. 1999. *Wpływ użyźnienia osadem ściekowym o różnym stopniu przetworzenia na zawartość form ogólnych form azotu w glebie lekkiej*. Fol. Univ. Stetnensis 200, Agricultura 77: 15–20.

CZEKAŁA J., JAKUBUS M., MOCEK A., OWCZARZAK W. 1999. *Możliwości wykorzystania osadów ściekowych i odpadu tytoniowego do produkcji kompostów*. Fol. Univ. Stetnensis 200, Agricultura 77: 45–50.

GAMBUŚ F. 1999. *Skład chemiczny i wartość nawozowa osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni regionu krakowskiego*. III Konf. Techn. „Przyrodnicze Użytkowanie Osadów Ściekowych” 9–11 VII 1999, IOŚ: 67–78.

KALEMBASA S., SYMANOWICZ B. 1999. *Wpływ nawożenia mineralnego mieszanin osadów pościekowych z korą i trocinami na plonowanie i skład chemiczny *Lolium multiflorum* Lam.* Fol. Univ. Stetnensis 200, Agricultura 77: 129–134.

KRZYWY E., WOŁOSZYK Cz., IŻEWSKA A. 2000. *Wartość nawozowa komunalnych osadów ściekowych*. PTIE Oddział Szczeciński: 62 ss.

KRZYWY E., WOŁOSZYK Cz., IŻEWSKA A. 2002. *Produkcja i rolnicze wykorzystanie kompostów z osadu ściekowego z dodatkiem różnych komponentów*. PTIE Oddział Szczeciński: 39 ss.

MACIAK F., HRYNKIEWICZ S. 1990. *Rekultywacja rolnicza terenów zdewastowanych z zastosowaniem popiołów elektrownianych*. Opracowanie wykonane na zlecenie Elektrociepłowni Zerań, Warszawa: 58 ss.

MAZUR T. 1996. *Rozważania o wartości nawozowej osadów ściekowych*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 456: 251–256.

MELLER E., NIEDŹWIECKI E., MELLER E. 1999. *Właściwości popiołów ze spalania w Elektrowni „Dolna Odra” zgromadzonych na składowisku przyzakładowym*. Fol. Univ. Stetinensis 2001, Agricultura 78: 167–178.

OLESZKIEWICZ J. 1998. *Gospodarka osadami ściekowymi*. Poradnik decydenta. IEM s.c. Kraków: 284 ss.

OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z. 1991. *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa: 364 ss.

SIUTA J. 2000. *Sposoby i obiekty przyrodniczego zagospodarowania osadów ściekowych*. Przegląd Komunalny 1: 9–10.

SIUTA J., WASIAK G. 2001. *Zasady wykorzystania osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe (przyrodnicze)*. PTIE 3: 13–42.

STANKOWSKI S., KRZYWY E. 2004. *Zawartość głównych składników pokarmowych dla roślin i metali ciężkich w nakładach i podkładach modelu rekultywacyjnego składającego się z popiołu z węgla kamiennego oraz komunalnych osadów ściekowych*. Cz. II. *Zawartość form ogólnych ołowiu, kadmu, niklu, miedzi i cynku*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 499: 325–332.

STANKOWSKI S., KRZYWY E., CZYŻ II., NOWAK A., MACIOROWSKI R., TOMASZEWICZ T., CHUDECKA J., ZIELIŃSKI J., KITCZAK T. 2003. *Badania modelowe nad wykorzystaniem popiołów i odpadów organicznych do rekultywacji terenów zdegradowanych*. X Międzyn. Konf. „Popioły z Energetyki” Warszawa 14–17 X 2003: 315–330.

URBANIAK M. 1997. *Przeróbka i wykorzystanie osadów ze ścieków komunalnych*. PAN Oddział Łódzki: 80 ss.

**Słowa kluczowe:** model rekultywacyjny, popioły z węgla kamiennego, komunalny osad ściekowy, zawartość azotu, fosforu i potasu

### Streszczenie

Przeprowadzone badania miały na celu określenie przydatności popiołów z węgla kamiennego oraz komunalnych osadów ściekowych do budowy modelu rekultywacyjnego. Model rekultywacyjny obejmował sześć nadkładów o miąższości 0–40 cm i trzy podkłady o miąższości 40–200 cm. Uzyskane rezultaty wskazują, że nadkłady charakteryzowały się wystarczającą ilością głównych składników pokarmowych do uprawy roślin alternatywnych i niektórych typowo rolniczych. Spośród nadkładów najwięcej składników pokarmowych dla roślin zawierały te w których składzie rzeczowym przeważały komposty z komunalnych osadów ściekowych.



THE CONTENTS OF PLANT MAIN NUTRIENTS AND HEAVY METALS IN UPPERLIES AND UNDERLIES OF A RECLAMATION MODEL CONSISTING OF COAL ASH AND MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE

PART I

THE CONTENTS OF THE MAIN NUTRIENTS FOR PLANTS

*Sławomir Stankowski*<sup>1</sup>, *Edward Krzywy*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department Biometry and Experimental Design,  
Agricultural University, Szczecin

<sup>2</sup> Department of Environmental Chemistry, Agricultural University, Szczecin

Key words: reclamation model, coal ash, municipal sewage sludge, contents of nitrogen, phosphorous, and potassium

Summary

The aim of the studies was the determination of the usefulness of coal ash and municipal sewage sludge to prepare a reclamation model. The reclamation model comprised of six upperlies of 0–40 cm thickness and three underlies of 40–200 cm thickness. The results obtained indicated that the upperlies had sufficient amounts of main nutrients for alternative cultivated plants and some agricultural plants. Of the upperlies examined, most nutrients were contained in those in which composts from municipal sewage sludge predominated.

Prof. dr hab. Sławomir **Stankowski**  
Katedra Biometrii i Doświadczalnictwa  
Akademia Rolnicza  
ul. Papieża Pawła VI 3  
71-434 SZCZECIN