

Jan Siuta<sup>1</sup>, Kazimierz H. Dyguś<sup>2</sup>

## PLONY I CHEMIZM ROŚLIN WIELOWARIANTOWEGO DOŚWIADCZENIA NA MODELOWYM ZŁOŻU ODPADÓW PALENISKOWYCH ENERGETYKI WĘGLOWEJ

**Streszczenie.** Rekultywacyjną efektywność kompostów i osadu z oczyszczania ścieków komunalnych badano na złożu popiołu elektrociepłowni węglowej umieszczonym w pojemnikach cylindrycznych o średnich 80 i 100 cm wysokości [Siuta i in. 1996]. Jest to drugi etap doświadczenia. Etap pierwszy zrealizowano w latach 2005–2006. Glebotwórcze złożo użyżniono 4 różnymi kompostami i osadem ściekowym [Siuta, Wasiak, Madej 2008]. W tych samych lizymetrycznych pojemnikach badano plonotwórczą efektywność osadu ściekowego i kompostu (z odpadów komunalnych) na złożach: odpadu paleniskowego, wapna z flotacji rudy siarkowej i bezpróchniczego piasku gliniastego lekkiego. We wszystkich wymienionych złożach był wariant bez organicznego użyżnienia [Siuta i in. 1996]. Wegetacyjna i plonotwórcza efektywność osadu ściekowego była ewidentnie duża, ale jej wielkość zależała od glebotwórczych właściwości złożo. Popiół z energetycznego spalania węgla wykazał znaczny plonotwórczy i glebotwórczy potencjał we wszystkich wariantach użyżnionych masą organiczną. Plonowanie roślin zwiększało się sukcesywnie w miarę postępu neutralizacji alkalicznego odczynu i koncentracji soli rozpuszczalnych. W opracowaniu omówiono też rekultywacyjną efektywność osadów ściekowych na rozległych złożach odpadów paleniskowych, wapna z flotacji rudy siarkowej oraz na składowisku odpadów posodowych o powierzchni 108 ha, gdzie plony bujnej roślinności są kompostowane.

**Słowa kluczowe:** doświadczenie modelowe, odpad paleniskowy, rekultywacja, komposty, osad ściekowy, chemizm roślin, plon roślin.

### WSTĘP

Energetyka węglowa wytwarza olbrzymie masy odpadów paleniskowych. Deponowano je głównie na składowiskach bardzo uciążliwych dla ludności i środowiska na terenach przyległych. Poszukiwano więc różnych sposobów zaradczych, w tym roślinnego (przeciwpyłowego) utrwalania powierzchni składowisk. Równocześnie badano możliwości stosowania odpadów paleniskowych (zwłaszcza z węgla bru-

---

<sup>1</sup> Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Krucza 5/11, 00-548 Warszawa, e-mail: siuta@ios.edu.pl

<sup>2</sup> Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Wydział Ekologii, ul. Wawelska 14, 02-061 Warszawa, e-mail: dygus@wseiz.pl

natnego) do nawożenia i melioracyjnego użyźniania gleb mało urodzajnych oraz do rekultywacyjnego zapełniania małych wyrobisk po odkrywkowym wydobywaniu kopalin pospolitych.

Popioły lotne z oczyszczania spalin elektrowniowych mają duży potencjał glebotwórczy ze względu na ich skład chemiczny i ziarnowy oraz bardzo dużą porowatość i wodochłonność. Glebotwórcze i nawozowe właściwości popiołów energetyki węglowej są oczywiste, ponieważ stanowią produkt spalania zwęglonych mas roślinnych. Pod tym względem ich właściwości są analogiczne do popiołów ze spalania mas roślinnych.

Nie glebotwórcze właściwości odpadów paleniskowych były głównym motywem licznych doświadczeń i wdrożeń roślinnego utrwalania powierzchni składowisk. Warunkują one możliwość roślinnego utrwalania powierzchni depozytów bardzo podatnych na erozyjne działanie wiatru i wody opadowej.

Nie bez istotnego znaczenia dla elektrociepłowni węglowych była możliwość rekultywacyjnego zapełniania małych wyrobisk odkrywkowych na terenach wiejskich, łącznie z niekosztownymi sposobami ukształtowania gleby i szaty roślinnej.

Nakładanie urodzajnej ziemi (próchniczej) na złoża odpadów paleniskowych jest najefektywniejszym sposobem technicznej i biologicznej rekultywacji, ale wymaga to pozyskania takiej ziemi z gleb urodzajnych oraz znacznych kosztów. Osady z oczyszczania ścieków komunalnych, komposty z odpadowych mas roślinnych i obornik, dostarczają zasobów próchnicotwórczych (glebotwórczych), substancji organicznej i składników pokarmowych do niemal natychmiastowego ukształtowania szaty roślinnej oraz sukcesywnego rozwoju procesów glebotwórczych. Niemalże znaczenie ma też nawożenie mineralne, podtrzymujące vegetację roślin w latach dalszych. Rekultywacyjna efektywność kilku rodzajów dalszych mas zasobnych w substancję organiczną badano na różnych glebotwórczych złożach w doświadczeniach modelowych. Do nich zalicza się doświadczenie z modelowymi gruntami (złożami) glebotwórczymi z następującymi wariantami rekultywacyjnego użyźnienia: 1) kompostem Radiowo – z odpadów komunalnych, 2) kompostem Complex – z miejskich odpadów roślinnych, 3) kompostem roślinnym - wyprodukowanym doświadczalnie [Siuta, Wasiak, Madej 2008], 4) kompostem ZUSOK – z odpadów komunalnych, 5) osadem ściekowym, 6) NPK.

Plonowanie i skład chemiczny roślin (w 2011 r.) jest przedmiotem niniejszego doniesienia. Stan szaty roślinnej oraz jej skład gatunkowy opublikowano w 30. numerze Inżynierii Ekologicznej [Dyguś, Madej 2012].

## **METODYKA I ZAKRES BADAŃ**

Rekultywacyjną (plonotwórczą) efektywność kompostów i osadu ściekowego badano na modelowym złożu popiołu z EC Kawęczyn w pojemnikach cylindrycznych o średnicy 80 cm (0,5 m<sup>2</sup>) i 100 cm wysokości. Miąższość modelowego złoża wynosi

70 cm, zalega ono na 20 cm warstwie piasku. Górna 10 cm część pojemników tworzy warunki do gromadzenia wody w czasie ulewnych deszczów.

Modelowe złożo ma następujący skład chemiczny:

- składniki główne:  $\text{SiO}_2$  48,5%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  4,8%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  2,8%;  $\text{CaO}$  2,8%;  $\text{MgO}$  2,7%;  $\text{K}_2\text{O}$  2,1%;  $\text{TiO}_2$  1,1%;  $\text{Na}_2\text{O}$  0,8%;  $\text{MnO}_2$  0,5%;
- metale ciężkie w mg/100 g: Zn 90; Cu 59; Pb 50; Ni 42; Co 17; Cd 15; Cr 46.

W doświadczeniu zastosowano następujące komposty:

- kompost roślinny wyprodukowany doświadczalnie z odpadów zieleni miejskiej [Madej 2007; Madej, Siuta, Wasiak 2010],
- kompost „Radiowo” z nieselektywnie gromadzonych odpadów komunalnych,
- kompost Zakładu Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych – „ZUSOK”,
- kompost firmy AG – COMPLEX produkowany z odpadów zieleni miejskiej Warszawy, zastosowany w 2006 roku [Opaliński 2007],
- osad komunalnej oczyszczalni ścieków w Radzyminie,
- nawóz mineralny NPK.

Schemat doświadczenia i rekultywacyjne dawki nawozów przedstawia tabela 1, a ich charakterystykę tabela 2. Pierwszy etap doświadczenia zrealizowano w latach 2005 i 2006, a jego syntezę opublikowano w 2008 r. [Siuta, Wasiak, Madej 2008]. W latach 2007–2010 rozwój szaty roślinnej i gleby postępował samoistnie bez ingerencji agrotechnicznej.

Podjmując drugi etap doświadczenia usunięto nadziemne (suche) części masy roślinnej pozostawiając gruntowe (korzeniowe) części.

**Tabela 1.** Rekultywacyjne dawki nawozów  
**Table 1.** Reclamation dose of fertilizers

| Wprowadzane substancje                  | Dawki                               |      |      |                    |     |     |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|------|------|--------------------|-----|-----|
|                                         | dm <sup>3</sup> /0,5 m <sup>2</sup> |      |      | m <sup>3</sup> /ha |     |     |
| Osad ściekowy                           | 5,0                                 | 10,0 | 15,0 | 100                | 200 | 300 |
| Kompost roślinny                        | 5,0                                 | 7,5  | 10,0 | 100                | 150 | 200 |
| Kompost z Radiowa                       | 5,0                                 | 7,5  | 10,0 | 100                | 150 | 200 |
| Kompost z ZUSOK                         | 5,0                                 | 7,5  | 10,0 | 100                | 150 | 200 |
| Kompost Complex <sup>1)</sup>           | 5,0                                 | 7,5  | 10,0 | 100                | 150 | 200 |
| NPK                                     | g/0,5 m <sup>2</sup>                |      |      | kg/ha              |     |     |
| Azot (N)                                | 7,5                                 | 10,0 | 12,5 | 150                | 200 | 250 |
| Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 3,5                                 | 4,5  | 6,0  | 70                 | 90  | 120 |
| Potas (K <sub>2</sub> O)                | 5,0                                 | 7,5  | 10,0 | 100                | 150 | 200 |
| Razem NPK                               | 16,0                                | 22,0 | 28,5 | 320                | 440 | 570 |

<sup>1)</sup> od 2006 roku.

**Tabela 2.** Właściwości nawozów organicznych zastosowanych w doświadczeniu**Table 2.** Properties of organic fertilizers used in the experiment

| Oznaczenie właściwości                      | Rodzaj nawozu      |                     |                  |                    |                  |
|---------------------------------------------|--------------------|---------------------|------------------|--------------------|------------------|
|                                             | kompost<br>Radiowo | kompost<br>roślinny | kompost<br>ZUSOK | kompost<br>Complex | osad<br>ściekowy |
| Zawartość substancji organicznej w s.m. w % | 25,8               | 42,8                | 24,0             | 74,4               | 37,7             |
| Zawartość węgla organicznego w s.m. w %     | 12,8               | 19,3                | 11,9             | 39,2               | 21,2             |
| Zawartość azotu w s.m. w %                  | 1,1                | 2,1                 | 1,0              | 5,8                | 1,4              |
| Zawartość fosforu w s.m. w %                | 0,6                | 0,8                 | 0,5              | 1,5                | 0,6              |
| Zawartość potasu w s.m. w %                 | 0,5                | 1,0                 | 0,8              | 0,3                | 1,3              |
| C : N                                       | 10,8               | 9,2                 | 11,9             | 6,1                | 15,1             |
| pH                                          | 7,8                | 7,2                 | 7,9              | 7,1                | 7,9              |
| Masa świeża w g/dm <sup>3</sup>             | 807                | 330                 | 790              | 950                | 490              |
| Masa sucha w g/dm <sup>3</sup>              | 472                | 219                 | 504              | 185                | 350              |
| Zawartość wody w %                          | 40,1               | 31,7                | 36,9             | 80,9               | 40               |
| Zawartość azotu w gN/ dm <sup>3</sup>       | 5,2                | 4,6                 | 5,0              | 11,0               | n.o.             |

n.o. – nie oznaczono.

Dnia 26 kwietnia 2011 roku wysiano mieszankę traw łąkowych i górczycę białą. 10 maja 2011 r. wysiano kompleksowy nawóz mineralny (azofoskę) o zawartości 13,6% azotu, 6,4% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 19,1% K<sub>2</sub>O, 4,5 % MgO i 23,0% S z udziałem Cu, Fe, Mn, Mo i Zn.

Do każdego modelowego gruntu wprowadzono po 53,4 g azofoski. Niekorzystne warunki atmosferyczne ograniczyły możliwości wschodu i wzrostu roślin. Zaistniała więc konieczność uzupełniania niedoboru wody oraz dodatkowego siewu trawy i górczycy białej. Z nastaniem korzystnych opadów deszczu zaczął się dynamiczny wzrost roślin (rys. 1 – przed ich zbiorem).

Dnia 16 czerwca 2011 r. zebrano pierwszy plon roślin. W czasie letniego niedoboru opadów atmosferycznych rośliny polewano wodą. Na szczególną uwagę zasługuje bardzo dobry stan roślin na złożu użyźnionym kompostem w roku 2011 (pierwszy rząd pojemników). W pierwszym etapie doświadczenia (lata 2005 – 2006) nawożenie mineralne dało mierne warunki wzrostu roślin.

Drugi i trzeci plon roślin zebrano odpowiednio 6 sierpnia i 1 października 2011 r. Plony roślin wysuszone do powietrznie suchej masy. Uśrednione próbki masy roślinnej przekazano do akredytowanego laboratorium – Centrum Analitycznego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, które oznaczyło w nich zawartość azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu i sodu.

Nadmienia się, że pojemniki w których umieszczono modelowe złoża odpadów paleniskowych i prowadzono rekultywacyjne doświadczenia zostały zbudowane w 1994 r. i użytkowane jako lizymetry, w których badano rekultywacyjną efektywność osadu ściekowego [Siuta i in. 1996]. Modelowymi gruntami były: popiół z elektrowni, wapno z flotacji rudy siarkowej i piasek gliniasty lekki.



Rys. 1. Panorama doświadczenia w połowie czerwca 2011 roku

Fig. 1. View area as in mid-June 2011

## WYNIKI BADAŃ

Wielkości plonów suchej masy roślin w  $\text{g/m}^2$  powierzchni doświadczalnej przedstawiono w tabeli 3, według rodzajów i wariantów użyźnienia, kolejności zbiorów oraz sum wszystkich zbiorów.

Wymienione w tabeli 3 organiczne i mineralne użyźnienie zastosowano jeden raz tylko w 2005 roku przed pierwszym wysiewem roślin. Użyźnienie to miało charakter zabiegu rekultywacyjnego. Podane w tabeli 3 rodzaje i warianty użyźniania dotyczą więc wstępnej fazy pierwszego etapu doświadczenia, a nie dalszego nawożenia mineralnego roślin, które stosowano w jednakowych dawkach NPK we wszystkich wariantach doświadczenia. Wielkości plonów roślin oraz zawartości w nich składników mineralnych pierwszego etapu doświadczenia modelowego (lata 2005, 2006) opublikowano w 2008 roku [Siuta, Wasiak, Madej 2008].

**Model NPK bez organicznego użyźnienia** złoża przyjęto jako obiekt zerowy, służący do porównania z nim efektywności wszystkich pozostałych rodzajów organicznego użyźnienia. W wariantach pojedynczej i podwójnej dawki NPK uzyskano stosunkowo wysokie (wiarygodne) plony roślin. W wariantcie potrójnej dawki NPK plony roślin były znacznie mniejsze niż w wariantach 1 i 2. Z tego względu plony wariantów 1 i 2 uznaje się za właściwe do porównywania wielkości plonów roślin zebranych ze wszystkich modeli i wariantów organicznego użyźnienia gruntu (rys. 2).

**W modelu „kompost Radiowo”** [Siuta 1997] plony roślin nie wykazywały zależności od wielkości rekultywacyjnej dawki kompostu. Średni plon roślin wariantu

**Tabela 3.** Plony suchej masy roślin w g/m<sup>2</sup>, 2011 rok**Table 3.** Dry of plants mass crops (g/m<sup>2</sup>), year 2011

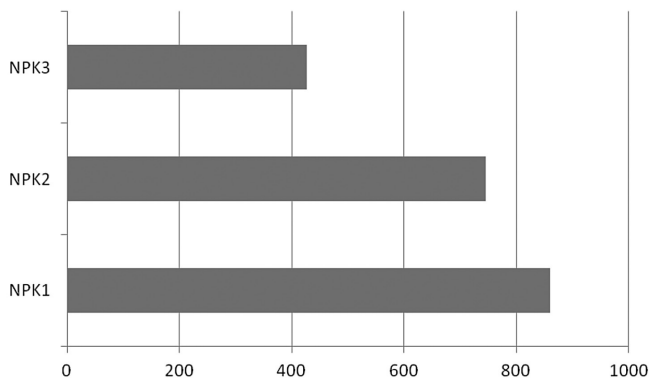
| Wariant<br>doświadczenia              | Daty zbiorów i plony roślin |       |       |                            |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|
|                                       | I                           | II    | III   | Sumy<br>plonów<br>I+II+III |
|                                       | 16.06                       | 6.08  | 01.10 |                            |
| <b>NPK bez nawożenia organicznego</b> |                             |       |       |                            |
| 1                                     | 387,6                       | 152,4 | 388,2 | 928,2                      |
| 1                                     | 373,4                       | 88,4  | 330,2 | 792,0                      |
| 2                                     | 266,4                       | 95,8  | 348,2 | 710,4                      |
| 2                                     | 356,2                       | 94,0  | 328,6 | 778,8                      |
| 3                                     | 218,0                       | 48,6  | 173,4 | 440,0                      |
| 3                                     | 112,0                       | 73,4  | 228,8 | 414,2                      |
| <b>Kompost Radiowo (kR)</b>           |                             |       |       |                            |
| 1                                     | 467,2                       | 105,6 | 324,2 | 897,0                      |
| 1                                     | 456,4                       | 103,4 | 366,0 | 925,8                      |
| 2                                     | 297,6                       | 86,6  | 310,6 | 694,8                      |
| 2                                     | 712,4                       | 134,4 | 268,0 | 1114,8                     |
| 3                                     | 337,6                       | 145,8 | 408,2 | 891,6                      |
| 3                                     | 261,6                       | 174,8 | 342,8 | 779,2                      |
| <b>Kompost Complex (kC)</b>           |                             |       |       |                            |
| <u>1</u>                              | 555,6                       | 361,4 | 303,2 | 1220,0                     |
| <u>1</u>                              | 371,6                       | 199,0 | 267,2 | 837,8                      |
| <u>2</u>                              | 545,6                       | 583,2 | 242,2 | 1371,0                     |
| <u>2</u>                              | 417,6                       | 134,8 | 231,8 | 784,2                      |
| <u>3</u>                              | 759,4                       | 844,2 | 253,8 | 1857,4                     |
| <u>3</u>                              | 631,2                       | 622,0 | 371,2 | 1624,4                     |
| <b>Kompost roślinny (kr)</b>          |                             |       |       |                            |
| 1                                     | 309,6                       | 40,6  | 279,0 | 629,2                      |
| 1                                     | 337,8                       | 67,0  | 331,4 | 736,2                      |
| 2                                     | 362,2                       | 35,4  | 250,6 | 648,2                      |
| 2                                     | 803,2                       | 52,4  | 270,0 | 1125,6                     |
| 3                                     | 414,2                       | 128,8 | 393,2 | 936,2                      |
| 3                                     | 441,4                       | 82,4  | 342,0 | 865,8                      |
| <b>Kompost ZUSOK (kZ)</b>             |                             |       |       |                            |
| 1                                     | 102,0                       | 12,6  | 243,2 | 357,8                      |
| 1                                     | 70,0                        | 9,8   | 188,2 | 268,0                      |
| 2                                     | 109,8                       | 20,4  | 208,4 | 338,6                      |
| 2                                     | 241,6                       | 17,4  | 179,6 | 438,6                      |
| 3                                     | 306,0                       | 84,6  | 210,8 | 601,4                      |
| 3                                     | 276,0                       | 79,8  | 187,2 | 543,0                      |
| <b>Osad ściekowy (O)</b>              |                             |       |       |                            |
| 1                                     | 301,8                       | 39,8  | 262,4 | 604,0                      |
| 1                                     | 219,4                       | 28,2  | 249,2 | 496,8                      |
| 2                                     | 387,4                       | 14,6  | 473,4 | 875,4                      |
| 2                                     | 597,0                       | 149,4 | 604,8 | 1351,2                     |
| 3                                     | 785,2                       | 161,8 | 655,2 | 1602,2                     |
| 3                                     | 289,6                       | 148,2 | 531,0 | 968,8                      |

3 był znacznie mniejszy niż wariantów 1 i 2. Ponadto w wariacie 2 plony roślin wyniosły 694.8 i 1114.9 g/m<sup>2</sup>. Oznacza to, że o wysokości plonów zdecydował udział samosiewnych roślin dwuliściennych o dużej dynamice wzrostu (rys. 3).

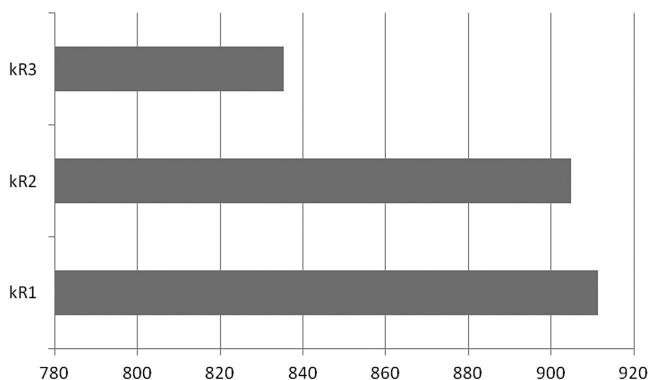
**W modelu „kompost Complex”** uzyskano znacznie wyższe plony roślin niż w pozostałych modelach z kompostami. Podobnie jak wyżej sumy plonów roślin poszczególnych wariantów doświadczenia wahały się od 784.2 g/m do 1857.4 g/m<sup>2</sup>.

Przyczyną dużego plonowania roślin było zastosowanie kompostu Complex w drugim (2006) roku etapu pierwszego oraz jego zasobność w składniki nawozowe. Rośliny miały dużo większy zasób składników pokarmowych niż w pozostałych modelach użyzniania z roku 2005 (rys. 4).

**W modelu kompostu roślinnego** [Madej 2007, Madej, Siuta, Wasiak 2010] największy plon roślin dał wariant 3 i blisko taki sam wariant 2, a najmniejszy plon roślin zebrano z wariantu 1. W modelu tym sumy plonów rosły nieznacznie proporcjonalnie do dawki kompostu. Mimo to wystąpiła bardzo duża różnica średnich plonów



**Rys. 2.** Średnie sumy plonów w g/m<sup>2</sup> według wariantów NPK  
**Fig. 2.** Average sums of crops (g/m<sup>2</sup>) according to variants NPK



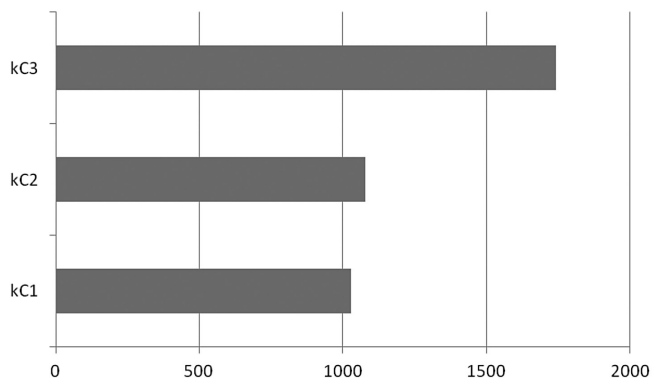
**Rys. 3.** Średnie sumy plonów w g/m<sup>2</sup> według wariantu kR  
**Fig. 3.** Average sums of crops (g/m<sup>2</sup>) according to variants kR

w powtórzeniach tego wariantu (648,2 i 1125,6 g/m<sup>2</sup>). Zdecydował o tym duży udział roślin dwuliściennych w jednym z powtórzeń (rys. 5).

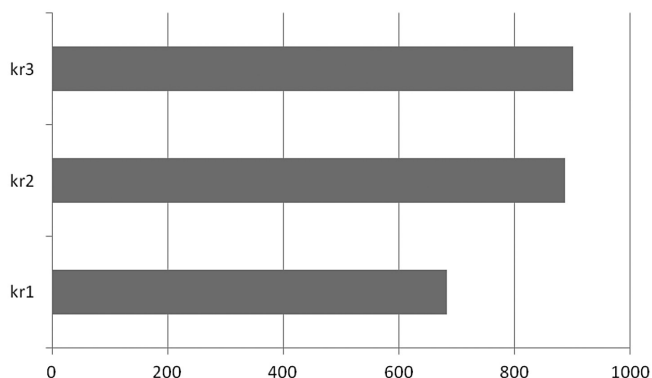
**W modelu kompost ZUSOK** plony roślin były mniejsze niż w pozostałych modelach. Rosły natomiast w wariantach o wyższych dawkach kompostu. Dużo mniejsze plony roślin w modelu ZUSOK niż w NPK bez substancji organicznej sugeruje, że w kompoście ZUSOK znajdowały się składniki hamujące wzrost roślin (rys. 6).

**W modelu osad ściekowy** plony roślin zwiększyły się stosownie do wzrostu dawki osadu. Plony roślin w tym modelu wyniosły od 496, 8 do 1602,2 g/m<sup>2</sup> (rys. 7).

Najmniejszą plonotwórczością wykazał się kompost ZUSOK, znacznie większą NPK, jeszcze wyższy plon stwierdzono na kompoście roślinnym i kompoście Radiowo, a po nich na osadzie ściekowym. Najwyższy plon uzyskano na złożu z kompostem Complex. Porównanie uśrednionych sum plonów suchej masy roślin w obrębie poszczególnych modeli rekultywacyjnego użytkowania gruntu przedstawiają rysunki 2–7, a średnie sumy plony z poszczególnych modeli rysunek 8.

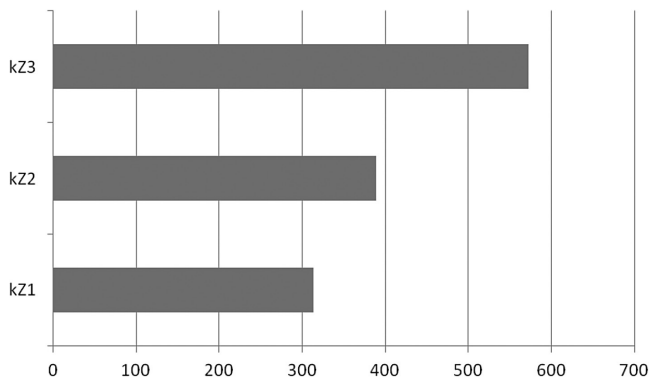


**Rys. 4.** Średnie sumy plonów w g/m<sup>2</sup> według wariantu kC  
**Fig. 4.** Average sums of crops (g/m<sup>2</sup>) according to variants kC

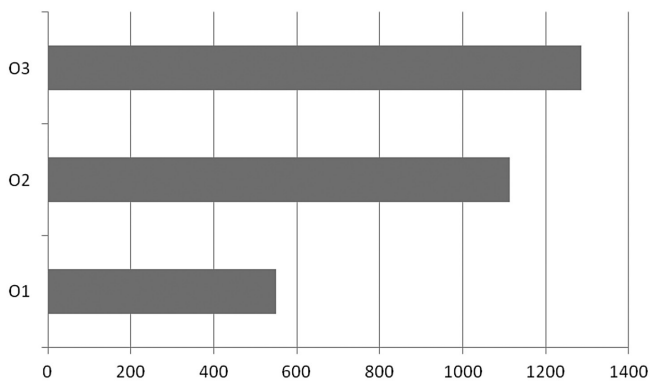


**Rys. 5.** Średnie sumy plonów w g/m<sup>2</sup> według wariantu kr  
**Fig. 5.** Average sums of crops (g/m<sup>2</sup>) according to variants kr

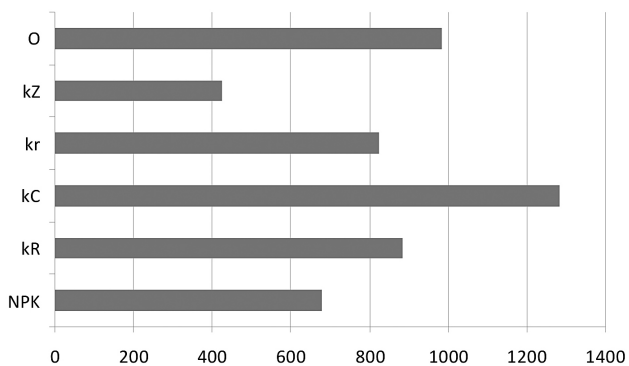




**Rys. 6.** Średnie sumy plonów w g/m<sup>2</sup> według wariantu kZ  
**Fig. 6.** Average sums of crops (g/m<sup>2</sup>) according to variants kZ



**Rys. 7.** Średnie sumy plonów w g/m<sup>2</sup> według wariantu O  
**Fig. 7.** Average sums of crops (g/m<sup>2</sup>) according to variants O



**Rys. 8.** Średnie sumy plonów w g/m<sup>2</sup> dla wszystkich modeli doświadczenia  
**Fig. 8.** Average sums of crops (g/m<sup>2</sup>) for all models of the experiment

Rekultywacyjne efektywności poszczególnych nawozów ilustrują sumy plonów roślin zebrane w latach 2005, 2006, 2011 (tab. 4). Stosownie do wielkości dawki nawozu sumy plonów roślin wahały się w przedziałach:

- 1291 – 1815 g/m<sup>2</sup> w modelu kompost roślinny,
- 1280 – 2317 g/m<sup>2</sup> w modelu kompost Complex (także roślinny),
- 1233 – 1315 g/m<sup>2</sup> w modelu kompost Radiowo,
- 896 – 1492 g/m<sup>2</sup> w modelu kompost ZUSOK,
- 1117 – 2391 g/m<sup>2</sup> w modelu osad ściekowy,
- 899 – 1234 g/m<sup>2</sup> w modelu NPK.

W ocenie plonotwórczego działania poszczególnych nawozów organicznych należy mieć na uwadze dane tabeli 2, dotyczące dawek suchej masy oraz zawartości w niej substancji organicznej i mineralnych składników pokarmowych w poszczególnych nawozach organicznych. Procentowe zawartości substancji organicznej były najmniejsze w kompostach ZUSOK i Radiowo, dużo więcej w kompostach roślinnym i Complex, a najwięcej w osadzie ściekowym. Zupełnie odwrotnie kształtowały się zawartości suchej masy (g/dm<sup>3</sup>). Komposty ZUSOK i Radiowo zawierały ponad dwukrotnie więcej suchej masy w dm<sup>3</sup> niż kompost roślinny. Najzasobniejszy w azot był osad ściekowy (5,8%), podczas gdy ZUSOK i Radiowo zawierały odpowiednio 1,0 i 1,1% N.

Plonotwórcza efektywność osadu ściekowego w roku 2005 była minimalna, ponieważ wprowadzono do popiołowego gruntu w postaci mazistej, co uniemożliwiało wymieszanie go z mokrym podłożem. Niedostatek tlenu utrudniał wschody i wzrost roślin. Mimo to sumaryczny plon roślin był nieco większy niż w modelu z kompostem Complex.

**Zawartości azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu i sodu w roślinach**, według modeli i wariantów doświadczenia ilustruje tabela 5 oraz rysunki 9–14.

**Zawartości azotu w suchej masie roślin** ze wszystkich modeli i wariantów doświadczenia waha się od 3,48 do 4,26%. Analogicznie przedziały zawartości azotu stwierdzono w roślinach wszystkich modeli. Dane te świadczą o bardzo dobrym zaopatrzeniu roślin w azot.

**Zawartości fosforu w roślinach** wszystkich modeli i wariantów doświadczenia wyniosły od 0,27 do 0,53%. Powyżej 0,40 % fosforu stwierdzono w 12 na 36 przypadków. Stwierdzono to w każdym modelu doświadczenia. Mniej niż 0,35% fosforu stwierdzono tylko w 6 przypadkach. Zaopatrzenie roślin w fosfor było więc bardzo dobre.

**Zawartości potasu w roślinach** wahało się w przedziale 3,19 do 5,46%. Mniej niż 3,5% potasu stwierdzono tylko w 3 plonach roślin, a więcej niż 4,0% w 20 plonach. Ponad 5,0% potasu rośliny wykazały tylko w modelu kompost Radiowo (1 raz) i kompost Complex (2 razy). Zaopatrzenie roślin w potas było od dobrego do nadmiernego.

**Zawartości wapnia w roślinach** wahało się w przedziale od 0,67 do 2,23%. Zawartości te zależały nie od dostępności wapnia dla roślin, a tylko od możliwości pobrania tego składnika przez niektóre gatunki dwuliściennych roślin synantropijnych, głównie chwastów segetalnych.

**Tabela 4.** Sumaryczne plony suchej masy roślin ( $\text{g/m}^2$ ) z obu etapów doświadczenia (lata 2005, 2006, 2011)**Table 4.** Summary dry of plants mass crops ( $\text{g/m}^2$ ) from both stages of experiment (years 2005, 2006, 2011)

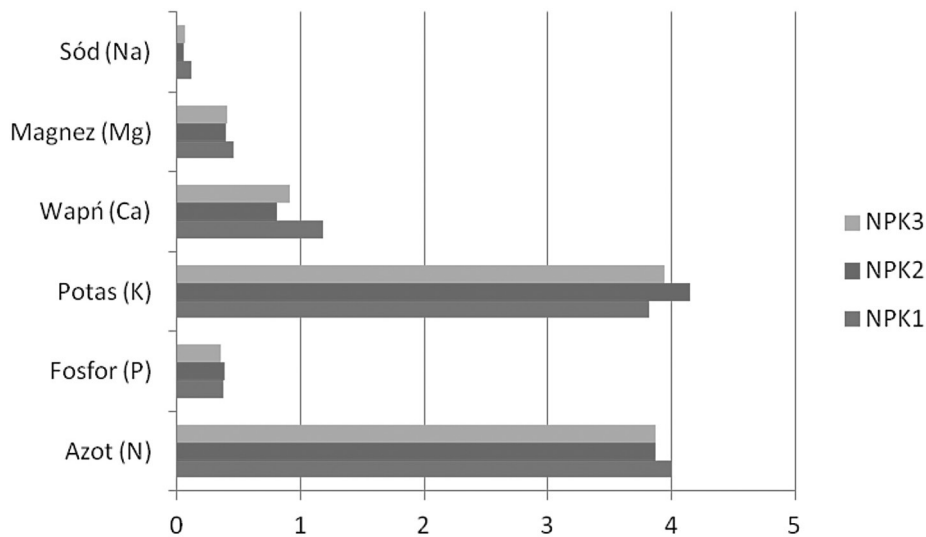
| Dawka nawozu                                         | Lata |      |      |          |
|------------------------------------------------------|------|------|------|----------|
|                                                      | 2005 | 2006 | 2011 | $\Sigma$ |
| <b>Kompost roślinny</b>                              |      |      |      |          |
| 10 $\text{dm}^3$                                     | 313  | 296  | 682  | 1291     |
| 15 $\text{dm}^3$                                     | 436  | 326  | 887  | 1649     |
| 20 $\text{dm}^3$                                     | 548  | 366  | 901  | 1815     |
| <b>Kompost ZUSOK</b>                                 |      |      |      |          |
| 10 $\text{dm}^3$                                     | 323  | 257  | 318  | 898      |
| 15 $\text{dm}^3$                                     | 413  | 317  | 389  | 1119     |
| 20 $\text{dm}^3$                                     | 573  | 347  | 572  | 1492     |
| <b>Kompost Radiowo</b>                               |      |      |      |          |
| 10 $\text{dm}^3$                                     | 114  | 230  | 911  | 1255     |
| 15 $\text{dm}^3$                                     | 185  | 216  | 905  | 1306     |
| 20 $\text{dm}^3$                                     | 184  | 214  | 835  | 1233     |
| <b>Osad ściekowy</b>                                 |      |      |      |          |
| 10 $\text{dm}^3$                                     | 346  | 355  | 416  | 1117     |
| 15 $\text{dm}^3$                                     | 380  | 374  | 1103 | 1857     |
| 20 $\text{dm}^3$                                     | 412  | 694  | 1285 | 2391     |
| <b>Kompost Complex</b>                               |      |      |      |          |
| 10 $\text{dm}^3$                                     | b.d. | 256  | 1024 | 1280     |
| 15 $\text{dm}^3$                                     | b.d. | 406  | 1077 | 1483     |
| 20 $\text{dm}^3$                                     | b.d. | 582  | 1735 | 2317     |
| <b>N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O</b> |      |      |      |          |
| 32 g                                                 | 172  | 73   | 860  | 1105     |
| 44 g                                                 | 136  | 214  | 784  | 1234     |
| 57 g                                                 | 161  | 311  | 427  | 899      |

**Zawartości magnezu w roślinach** wyniosły od 0,31 do 0,67%. Ponad 0,5% magnezu stwierdzono w 5 plonach roślin: 1 raz w modelu kompost Radiowo, 4 razy w modelu kompost Complex.

**Zawartości sodu w roślinach** mieściły się w przedziale od 0,02 do 0,18%. Powyżej 0,10% sodu stwierdzono w 7 zbiorach roślin, głównie w modelu kompost ZUSOK. Uśrednione zawartości azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu i sodu w roślinach z poszczególnych modeli doświadczenia przedstawiają rysunki 9–14.

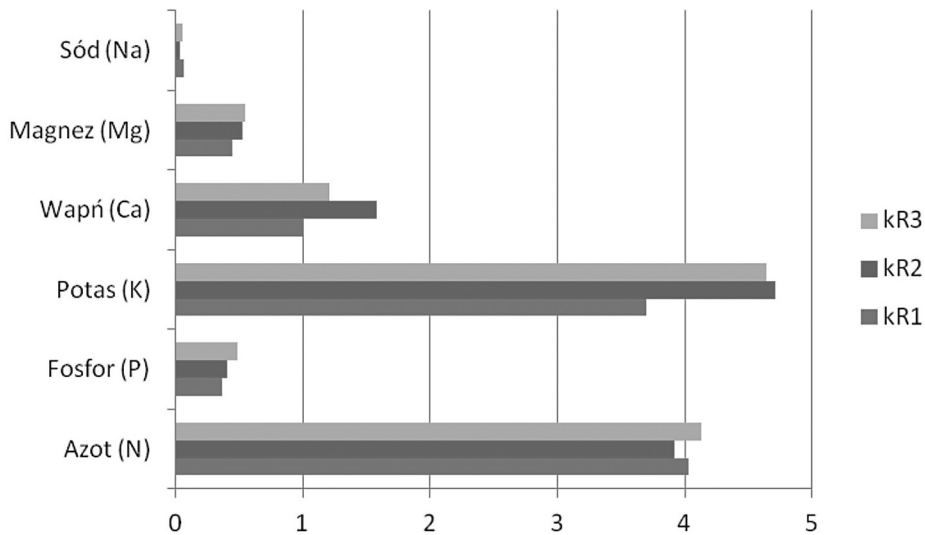
**Tabela 5.** Zawartości azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu i sodu w roślinach doświadczenia modelowego ze złożem odpadu paleniskowego energetyki węglowej**Table 5.** Concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sodium in the vegetation of a model experiment on coal combustion waste deposits

| Wariant doświadczenia                 | Procent suchej masy |            |           |           |             |          |
|---------------------------------------|---------------------|------------|-----------|-----------|-------------|----------|
|                                       | Azot (N)            | Fosfor (P) | Potas (K) | Wapń (Ca) | Magnez (Mg) | Sód (Na) |
| <b>NPK bez nawożenia organicznego</b> |                     |            |           |           |             |          |
| 1                                     | 3,90                | 0,36       | 3,78      | 1,33      | 0,52        | 0,09     |
| 1                                     | 4,08                | 0,38       | 3,85      | 1,02      | 0,39        | 0,13     |
| 2                                     | 4,26                | 0,39       | 4,35      | 0,72      | 0,38        | 0,06     |
| 2                                     | 3,48                | 0,38       | 3,95      | 0,89      | 0,40        | 0,05     |
| 3                                     | 4,04                | 0,28       | 3,19      | 0,67      | 0,31        | 0,04     |
| 3                                     | 3,70                | 0,42       | 4,69      | 1,15      | 0,49        | 0,09     |
| <b>Kompost Radiowo (kR)</b>           |                     |            |           |           |             |          |
| 1                                     | 4,04                | 0,37       | 3,65      | 0,97      | 0,43        | 0,08     |
| 1                                     | 4,02                | 0,36       | 3,74      | 1,03      | 0,45        | 0,05     |
| 2                                     | 3,98                | 0,38       | 3,96      | 0,92      | 0,38        | 0,03     |
| 2                                     | 3,85                | 0,43       | 5,46      | 2,23      | 0,66        | 0,03     |
| 3                                     | 4,01                | 0,43       | 4,83      | 1,15      | 0,49        | 0,03     |
| 3                                     | 4,25                | 0,53       | 4,45      | 1,26      | 0,59        | 0,07     |
| <b>Kompost Complex (kC)</b>           |                     |            |           |           |             |          |
| 1                                     | 3,82                | 0,38       | 4,14      | 1,40      | 0,66        | 0,02     |
| 1                                     | 4,00                | 0,33       | 3,87      | 1,03      | 0,40        | 0,05     |
| 2                                     | 3,63                | 0,38       | 5,39      | 1,99      | 0,67        | 0,03     |
| 2                                     | 3,74                | 0,33       | 3,63      | 0,96      | 0,45        | 0,05     |
| 3                                     | 3,88                | 0,36       | 3,57      | 1,74      | 0,61        | 0,02     |
| 3                                     | 3,91                | 0,44       | 5,00      | 1,75      | 0,56        | 0,08     |
| <b>Kompost roślinny (kr)</b>          |                     |            |           |           |             |          |
| 1                                     | 4,07                | 0,43       | 4,18      | 0,96      | 0,45        | 0,03     |
| 1                                     | 3,52                | 0,38       | 3,89      | 1,02      | 0,42        | 0,06     |
| 2                                     | 3,97                | 0,31       | 3,74      | 0,71      | 0,37        | 0,05     |
| 2                                     | 3,84                | 0,34       | 4,61      | 1,04      | 0,42        | 0,10     |
| 3                                     | 3,75                | 0,35       | 4,38      | 0,87      | 0,46        | 0,10     |
| 3                                     | 3,94                | 0,43       | 4,69      | 0,83      | 0,46        | 0,07     |
| <b>Kompost ZUSOK (kZ)</b>             |                     |            |           |           |             |          |
| 1                                     | 3,83                | 0,37       | 4,01      | 0,92      | 0,45        | 0,12     |
| 1                                     | 4,15                | 0,36       | 3,81      | 0,99      | 0,40        | 0,13     |
| 2                                     | 3,97                | 0,43       | 4,40      | 0,92      | 0,41        | 0,10     |
| 2                                     | 3,78                | 0,33       | 4,02      | 0,84      | 0,40        | 0,04     |
| 3                                     | 3,82                | 0,27       | 3,42      | 0,89      | 0,31        | 0,18     |
| 3                                     | 4,13                | 0,40       | 4,74      | 0,85      | 0,40        | 0,06     |
| <b>Osad ściekowy (O)</b>              |                     |            |           |           |             |          |
| 1                                     | 3,98                | 0,43       | 4,29      | 1,22      | 0,43        | 0,03     |
| 1                                     | 3,98                | 0,45       | 4,87      | 1,11      | 0,45        | 0,03     |
| 2                                     | 3,54                | 0,39       | 3,84      | 0,99      | 0,39        | 0,03     |
| 2                                     | 3,47                | 0,35       | 3,40      | 0,83      | 0,47        | 0,02     |
| 3                                     | 3,49                | 0,45       | 4,22      | 0,99      | 0,45        | 0,02     |
| 3                                     | 3,48                | 0,38       | 4,11      | 0,72      | 0,45        | 0,02     |



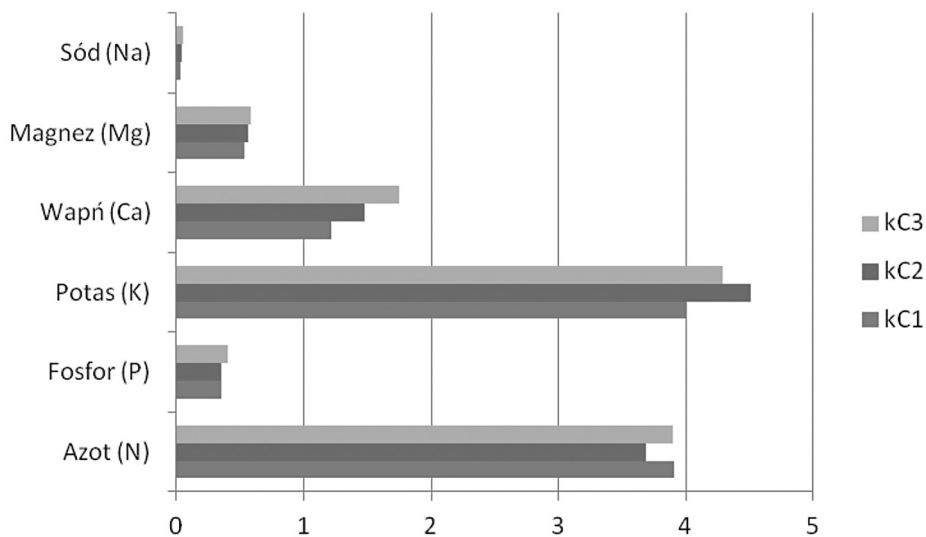
**Rys. 9.** Średnie procentowe zawartości składników mineralnych w roślinach według wariantów NPK

**Fig. 9.** Average percentage of mineral ingredients in the plants according to variants NPK



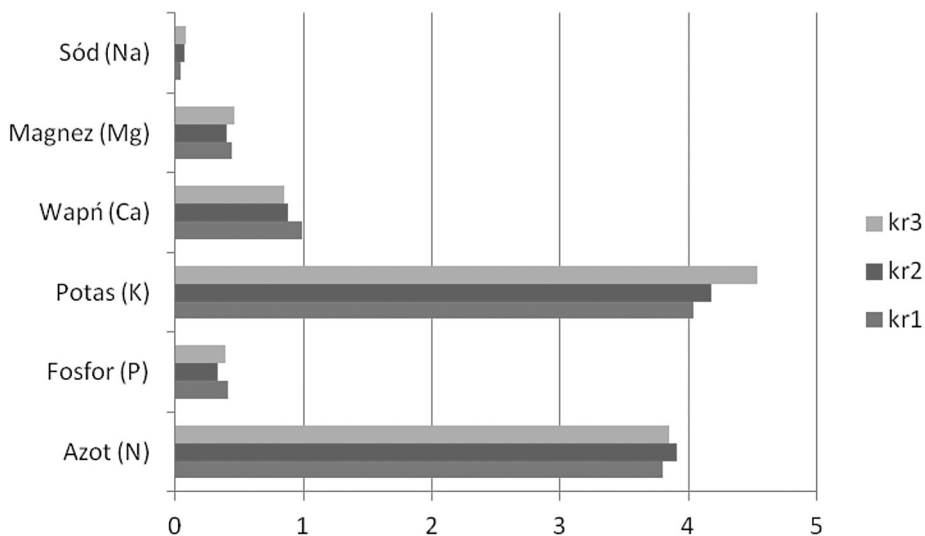
**Rys. 10.** Średnie procentowe zawartości składników mineralnych w roślinach według wariantów kR

**Fig. 10.** Average percentage of mineral ingredients in the plants according to variants kR



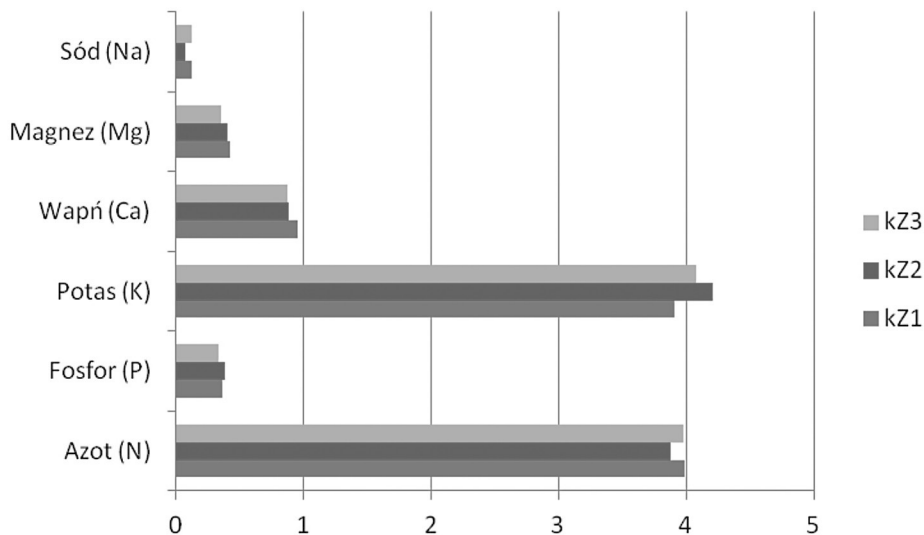
**Rys. 11.** Średnie procentowe zawartości składników mineralnych w roślinach według wariantów kC

**Fig. 11.** Average percentage of mineral ingredients in the plants according to variants kC



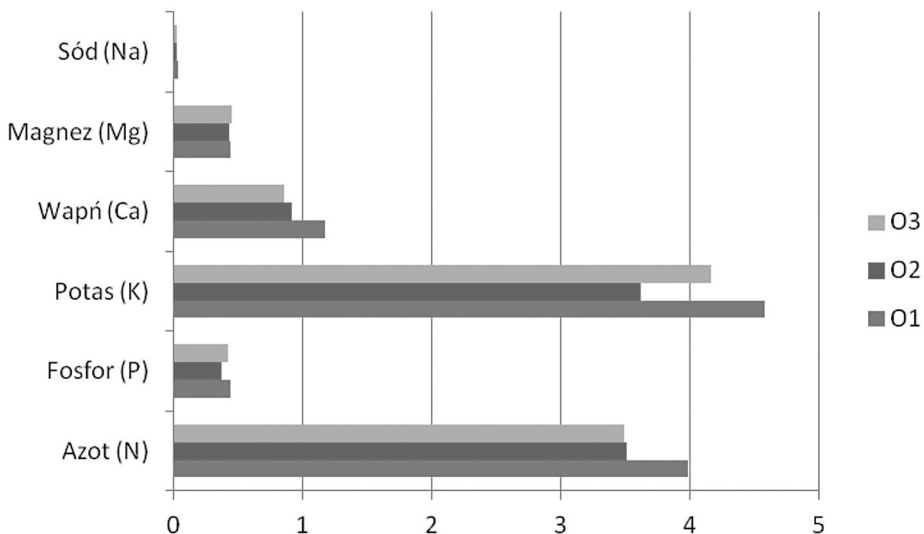
**Rys. 12.** Średnie procentowe zawartości składników mineralnych w roślinach według wariantów kr

**Fig. 12.** Average percentage of mineral ingredients in the plants according to variants kr



**Rys. 13.** Średnie procentowe zawartości składników mineralnych w roślinach według wariantów kZ

**Fig. 13.** Average percentage of mineral ingredients in the plants according to variants kZ



**Rys. 14.** Średnie procentowe zawartości składników mineralnych w roślinach według wariantów O

**Fig. 14.** Average percentage of mineral ingredients in the plants according to variants O

## **PRZYKŁADY DOŚWIADCZEŃ I WDROŻEŃ ROŚLINNEGO UTRWALANIA POWIERZCHNI ZŁÓŻ ODPADÓW PALENISKOWYCH Z ZASTOSOWANIEM NAWOZOWYCH MATERII ORGANICZNYCH I MINERALNYCH**

Roślinnemu przeciwerozijnemu utrwalaniu i zagospodarowaniu powierzchni składowisk odpadów paleniskowych (zwanym biologiczną rekultywacją) poświęcono liczne prace badawcze i aplikacyjne [Biernacka 1976; Hryniewicz, Ziółkowski 1983; IKŚ 1988; Kozłowska 1995, 1997; Maciak, Lisowski, Biernacka 1976; Rosik-Dulewska 1980; Wysocki 1988, 1997], głównie w celu pomniejszenia i likwidowania ich uciążliwości dla okolicznych mieszkańców, szaty roślinnej i zwierząt [Hycnar 1989, Kaładkawska, Borysewicz 1994, Żak 1994].

Oprócz doświadczalnych i wdrożeniowych prac prowadzonych na składowiskach odpadów, badano rekultywacyjne działania mas zasobnych w substancje organiczne o glebotwórczych i plonotwórczych właściwościach w doświadczeniach modelowych [IKŚ 1988; Siuta 1997; Siuta i in. 1996, 1997, 2008; Madej i in. 2010].

Rekultywacyjną efektywność osadu ściekowego, kompostu i grzybni z tarchomińskiej POLFY testowano na różnych glebotwórczych (modelowych) złożach w doświadczeniu mikro-poletkowym [IKŚ 1988].

Skutecznym sposobem neutralizacji odczynu i zasolenia wierzchniej warstwy złoża odpadów paleniskowych jest stosowanie dużych (rekultywacyjnych) dawek glebotwórczej materii organicznej, w tym głównie osadów biologicznego oczyszczania ścieków, kompostu, obornika, które oprócz dużych zawartości składników pokarmowych buforują odczyn i zasolenie środowiska, a zarazem chronią powierzchnie popiołowego depozytu przed pyleniem.

Zastosowanie odpowiednio dużej dawki osadu ściekowego na jednostkę powierzchni tworzy niemal od zaraz warunki do kiełkowania nasion (nie tylko wysianych) oraz do dobrego wzrostu roślin.

Wyniki doświadczeń i wdrożeń dowodzą, że rekultywacyjna efektywność odpowiednio dużej dawki osadu ściekowego lub dobrego kompostu jest analogiczna jak 15–20 cm warstwy ziemi próchnicznej. W latach 1977–1980 prowadzono wielowariantowe doświadczenia techniczno-biologicznej rekultywacji bezglebowego gruntu na terenie byłej kopalni piasku. Porównywano w nim (między innymi) plonowanie roślin na warstwie gliny i takiej samej warstwie popiołu z elektrociepłowni użyźnionych takimi samymi dawkami osadu ściekowego, oraz na warstwie ziemi próchnicznej bez osadu ściekowego. Plony roślin z popiołowo-osadowego wariantu były mniejsze niż w wariantcie glina – osad ściekowy, ale w miarę upływu czasu plony wariantu pierwszego dynamicznie rosły.

Roślinne utrwalenie powierzchni składowisk odpadów jest bardzo skuteczne począwszy od ukształtowania zwartej i trwałej pokrywy roślinnej. Rzecz w tym, aby w możliwie krótkim czasie stworzyć korzystne warunki do życia i dobrego wzrostu traw. Odpady utrudniają (nawet uniemożliwiają) zasiedlenie się roślin, nie tylko ze

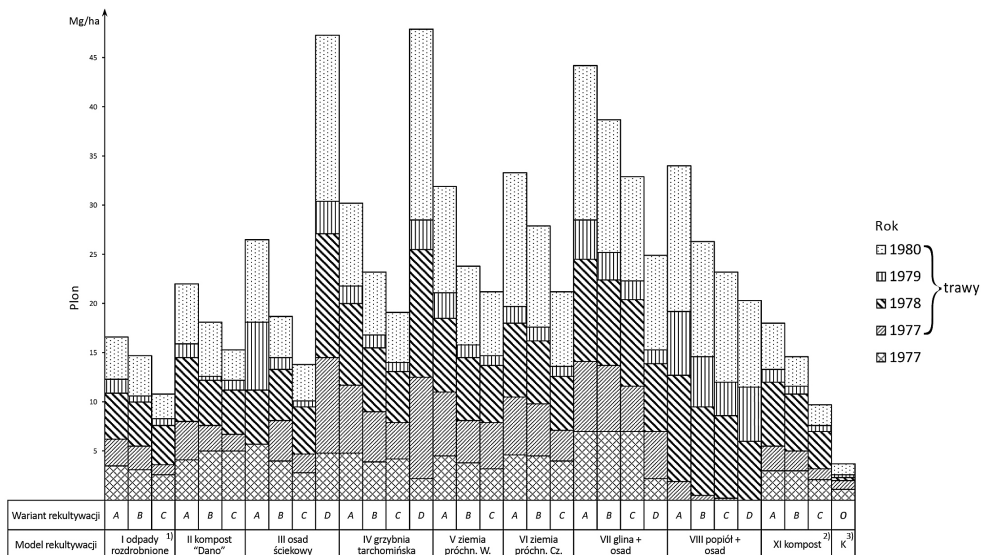


względem na ich rozwiewanie i rozmywanie. Alkaliczność odczynu i znaczne zawartość soli rozpuszczalnych uniemożliwiają życie roślin do czasu zmniejszenia ich alkaliczności i zasolenia.

Zastosowanie odpowiednio dużej dawki osadu ściekowego, kompostu, dojrzałego obornika buforują szkodliwy odczyn i koncentracje soli, a zarazem dostarczają składników pokarmowych dla roślin. Najskuteczniejsze są osady z biologicznego oczyszczania ścieków ze względu na ich koloidalność i dużą zasobność w składniki pokarmowe (oprócz potasu).

Nadmienia się, że popioły z energetycznego spalania węgla kamiennego i brunatnego obfitują w składniki pokarmowe (oprócz azotu) oraz mają wyjątkowo korzystny skład ziarnowy, porowatość i wodochłonność. Z powyższych względów są one potencjalnie bardzo dobrym materiałem glebotwórczym. Są przecież produktem spalania zwęglonych mas roślinnych. Zastosowanie odpowiednio dużej (rekułtywacyjnej) dawki osadu ściekowego tworzy od zaraz warunki do wzrostu roślin i glebotwórczego rozwoju. Stwierdzono to we wszystkich doświadczeniach modelowych oraz na składowiskach odpadów paleniskowych [IOS 1996; Kozłowska 1995, 1997; Siuta i in. 1997], odpadów wapna po-sodowego w Janikowie [Siuta 2007], poflotacyjnego wapnia w kopalni siarki Jezioro [Siuta, Jońca 1997].

W wariancie ziemi mało próchniczej plony były mniejsze niż w wariancie popioło-osadowym (rys. 15) [IKŚ 1988].



**Rys. 15.** Struktura plonów suchej masy roślin mikropoletkowego doświadczenia rekułtywacji gruntu pokopalnianego [IKŚ 1988]: 1) biomasa odpadów komunalnych, 2) kompost z kory drzewnej, 3) grunt rodzimy bez rekułtywacyjnego zabiegu

**Fig. 15.** Structure of dry plants mass crops in a small area post-mining soils reclamation experiment: 1) municipal waste biomass, 2) cortex compost, 3) natural soil untouched by reclamation

W latach 1994–1996 prowadzono wielowariantowe doświadczenie lizymetryczne. W tym celu zastosowano cylindryczne pojemniki o 80 cm średnicy i 100 cm wysokości z króćcami do czerpania przesączy. Napełniono je popiołem z elektrociepłowni, wapnem z flotacji rudy siarkowej, piaskiem gliniastym lekkim. Osad ścieku o ziemistej konsystencji zaaplikowano jeden raz (przed wysiewem nasion) w dawkach 15 i 25 dm<sup>3</sup> na lizymetr. W każdym rodzaju modelowego gruntu był bez osadowy wariant. W latach 1994 i 1995 nie stosowano nawożenia mineralnego. Nawożenie mineralne zastosowano dopiero 1996 roku (rys. 16a, b, c) [Siuta i in. 1996].

Sumy plonów suchej masy roślin zebranych w latach 1994–1996 w lizymetrowych złożach z osadem siarkowym wzrastały proporcjonalnie do wielkości osadu:

- w wariantcie popiołowym: 249 → 673 → 969 g s.m. /lizymetr oraz 72 g bez osadu,
- w wariantcie wapna poflotacyjnego: 72 → 468 → 714 g s.m. /liz. oraz 72 g bez osadu ściekowego,
- w wariantcie piasku gliniastego lekkiego: 989 → 1153 → 1303 g s.m. /liz oraz 648 g bez osadu ściekowego.

Równoległe do doświadczenia lizymetrycznego prowadzono doświadczenie łanowe na składowisku odpadów paleniskowych Zakładów Azotowych w Puławach (rys. 17). Doświadczenie miało następujące warianty: bez osadu ściekowego, 100, 200, 300, 400 i 500 m<sup>3</sup> osadu ziemistego na ha. Złoże odpadów paleniskowych miało już mniejszą alkaliczność i zawartość soli.

Oprócz osadowej aplikacji zastosowano jednakowej wielkości nawożenie mineralne. Wysiano mieszankę traw łąkowych, lucernę siewną i gorczycę białą. We wszystkich osadowych wariantach rośliny szybko pokryły powierzchnię oraz intensywnie rosły. Na powierzchni bez osadu ściekowego przetrwała tylko ledwie widoczna lucerna, która w roku następnym zazieleniła powierzchnię, a w latach dalszych rosła jak na glebie dobrej jakości.

Fot. 26 na rys. 17 ilustruje kontrast między bujną roślinnością na powierzchni użyźnionej osadem ściekowym, a nieużyźnioną skarpą składowiska odpadów paleniskowych w Puławach.

**Rekultywacyjną efektywność osadu ściekowego** badano i wdrażano na 100 hektarowym gruncie wapna poflotacyjnego w kopalni Jeziórko, uprawiając trawy, lucernę siewną, pszenicę, żyto, topinambur. Intensywność roślinnej zieleni kontrastowała z wapienną bielą powierzchni bezosadowych. Wpływ wielkości dawki osadu na jednostkę powierzchni był ewidentny.

**Na składowisku odpadów posodowych w Janikowie**, stosując rekultywacyjne dawki osadów ściekowych, ukształtowano intensywną, zwartą i bujną szatę roślinną w latach 2000–2006. Rośliny są koszone dwukrotnie w sezonie wegetacyjnym i przerabiane na dobrej jakości kompost [Siuta 2007].

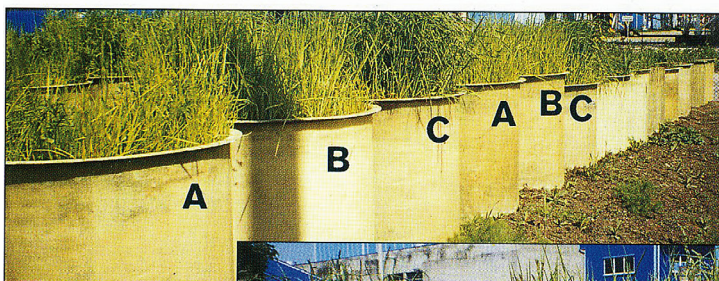
Realizuje się więc cel sformułowany wiele lat wcześniej, pod tytułem „Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost” [Siuta, Wasiak 1993]. Zakładano wówczas, że osady ściekowe będą stosowane do roślinnego zazieleniania

**Fot. 1** ▷

Stan roślin w dniu  
30.08.1994 r.

na podłożach:

- popiołowym  
– strona lewa  
(1 bez osadu),
- wapiennym  
– w dalszym planie  
środkowych rzędów  
(2 bez osadu),
- piaskowym – strona  
prawa (3 bez osadu)



**Fot. 2** ◁

Stan roślin w dniu  
15.05.1995 r.

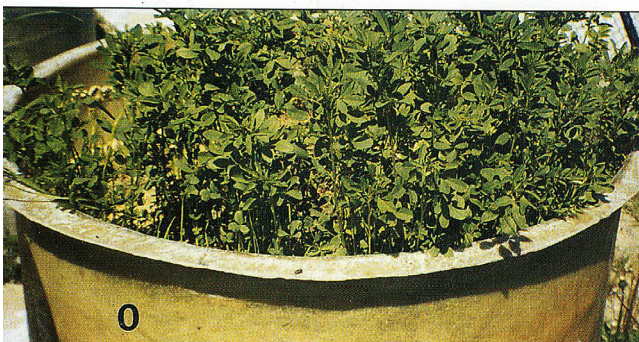
Rośliny na podłożu  
piaskowym z osadem  
(fot. 2 i 3):

- A – 5,0 dm<sup>3</sup>/lizymetr,
- B – 12,5 dm<sup>3</sup>/lizymetr,
- C – 25,0 dm<sup>3</sup>/lizymetr.

**Fot. 3** ▷

Stan roślin w dniu  
23.05.1995 r.

Rośliny jak na fot. 2.



**Fot. 4** ◁

Rośliny na podłożu piaskowym  
bez osadu.

Na piasku bez osadu (fot. 4)  
tylko lucerna utrzymała się przy  
życiu. Wprowadzenie 25 dm<sup>3</sup>  
osadu całkowicie wyeliminowało  
lucernę (fot. 3C), a przy 5 dm<sup>3</sup>  
zachowało się jej niewiele.

**Rys. 16a.** Rekultywacyjna efektywność osadu ściekowego w doświadczeniu lizymetrycznym – fot. 1–4 [IOŚ 1996]

**Fig. 16a.** Reclamation efficiency of sewage sludge in a lysimetric experiment – photos 1–4 [IOŚ 1996]

Fot. 5 ▷

Stan roślin w dniu 15.05.1995 r.

Do lizymetru 33 wprowadzono 15 cm warstwę osadu (fot. 5 i 6). Spowodowało to bardzo intensywną wegetację.



Fot. 6 ◁

Podłoże bez osadu (liz. 32) i bez nawożenia mineralnego jest zupełnie bez roślin. Podczas intensywnych opadów atmosferycznych stagnuje na nim woda.



Fot. 7 △

Stan roślin w dniu 15.09.1995 r.



Fot. 8 △

Stan roślin w dniu 15.09.1995 r.

Fot. 9 ▷

Stan roślin na podłożu z wapna poftlotacyjnego bez osadu ściekowego (liz. 32) po zastosowaniu nawożenia mineralnego w 1996 r.



**Rys. 16b.** Rekultywacyjna efektywność osadu ściekowego w doświadczeniu lizymetrycznym – fot. 5–9 [IOŚ 1996]

**Fig. 16b.** Reclamation efficiency of sewage sludge in a lysimetric experiment – photos 5–9 [IOŚ 1996]

**Fot. 10** ▷  
Popiół bez osadu.  
Stan roślin w dniu  
15.05.1995 r.



**Fot. 11** ◁  
Trzy warianty  
użyźnienia osadem  
popiołowego podłoża.  
Stan roślin w dniu  
15.05.1995 r.

**Fot. 12** ▷  
Popiół bez osadu.  
Stan w dniu 15.09.1995 r.



**Fot. 13** ◁  
Trzy warianty  
użyźnienia osadem  
popiołowego podłoża.  
Stan roślin w dniu  
15.09.1995 r.

**Fot. 14** ▷  
Nawożenie NPK  
zastosowane w 1996 r.  
w bezosadowym wariantcie  
popiołowego podłoża  
(fot. 10 i 12) stworzyło  
warunki do intensywnego  
wzrostu traw w trzecim roku  
doświadczenia.  
Stan roślin w dniu 3.09.1996 r.



**Rys. 16c.** Rekultywacyjna efektywność osadu ściekowego w doświadczeniu lizymetrycznym – fot. 10–14 [IOŚ 1996]

**Fig. 16c.** Reclamation efficiency of sewage sludge in a lysimetric experiment – photos 10–14 [IOŚ 1996]



**Fot. 23** ◁  
Panorama  
składowiska  
Zakładów Azotowych.  
Na dalszym planie,  
po stronie prawej,  
prowadzone jest  
doświadczenie  
rekultywacyjne.

**Fot. 24** ▷  
Rzepik jary, kupkówka i lucerna  
po 6 tygodniach od wysiewu  
nasion na popiołowym gruncie  
użyźnionym osadem ściekowym.  
Stan roślin w dniu 15.06.1994 r.



**Fot. 25** ◁  
Trawy i lucerna na  
popiołowym podłożu  
użyźnionym 500 m<sup>3</sup>  
osadu/ha. Stan roślin  
w dniu 30.05.1995 r.

**Fot. 26** ▷  
Kontrast roślinny pomiędzy półką składowiska  
użyźnioną osadem a nie użyźnioną skarpą.  
Stan roślin w dniu 30.05.1995 r.



**Rys. 17.** Rekultywacyjna efektywność osadu ściekowego na składowiskach popiołu i żużlu Zakładów Azotowych „Puławy” – fot. 23–26 [IOŚ 1996]

**Fig. 17.** Reclamation efficiency of sewage the sludge on ash and slag dump of Zakłady Azotowe “Puławy” – photos 23–26 [IOŚ 1996]

składowisk odpadów mineralnych, a plony roślin będą stanowiły surowiec do produkcji kompostu.

Taki zamysł realizowano z dużym powodzeniem na terenie wymarłego lasu (strefie bezleśnej) przyległym do Zakładów Azotowych w Puławach. Zadaniem głównej intensywniej roślin trawiastych było pochłanianie związków azotu emitowanego do atmosfery, ziemi i wody gruntowej oraz ochrona piaskowego gruntu przed rozwydmianiem oraz szkodliwością tej erozji dla instalacji kombinatu azotowego. Plony masy roślinnej stanowiły cenny surowiec do produkcji wysokiej jakości kompostu [IOŚ 1987; Polkowski, Sułek 1999].

## WNIOSKI

1. Wyniki modelowych i polowych badań oraz rekultywacyjnych zastosowań osadów ściekowych na bezglebowych złożach odpadów paleniskowych, wapna z flotacji rudy siarkowej i odpadów wapna posodowego dowodzą bardzo dużej plonotwórczej i glebotwórczej wartości osadów z biologicznego oczyszczania ścieków.
2. Dużą rekultywacyjną efektywność wykazują też komposty, w tym produkowane z odpadów zieleni miejskiej i odpadów komunalnych.
3. Mechanicznie odwodnione osady ściekowe oraz przekształcone do ziemistej konsystencji nadają się najbardziej do zazieleniania składowania odpadów mineralnych różnego pochodzenia, czego przykładem jest składowisko odpadów posodowych w Janikowie o 108 ha powierzchni.
4. Intensywna roślinność na składowiskach odpadów mineralnych użyźnionych osadami ściekowymi (jak w Janikowie) dostarcza surowca do produkcji kompostu o uniwersalnej użyteczności.
5. Komposty produkowane z miejskich odpadów komunalnych (gromadzonych nieselektywnie) zawierają przeważnie nadmierne ilości metali ciężkich, toteż nie kwalifikują się do nawożenia gleb produkujących żywność i paszę. Mogą one być jednak stosowane (podobnie jak osady ściekowe) do zazieleniania składowisk odpadów mineralnych.

## PIŚMIENNICTWO

1. Biernacka E. 1976. Wpływ biologicznej rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych na niektóre procesy glebowe i skład chemiczny roślin. Rozprawa habilitacyjna, Zesz. Nauk. SGGW AR, Warszawa, 97 s.
2. Dyguś K.H., Madej M. 2012. Roślinność wielowariantowego doświadczenia modelowego na złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. Inżynieria Ekologiczna, 30, 227–240.

3. Hrynkiewicz Z., Ziółkowski J. 1983. Możliwości rolniczego zagospodarowania składowisk popiołu przy elektrowniach ciepłych na przykładzie składowiska w Halembie. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rolnictwo, t. XL, nr 141, 87–96.
4. Hycnar J. 1989. Ograniczenie ujemnego wpływu oddziaływania składowisk popiołów elektrowniowych na środowisko. Materiały konf. „Ochrona środowiska w rejonach nadmorskich”, Gdańsk-Krynica, 80–96.
5. IKŚ. 1988. Przyrodnicze zagospodarowanie osadów ściekowych. Monografia (red. J. Siuta), PWN, Warszawa, s. 173.
6. IOŚ. 1987. Ekologiczne skutki uprzemysłowienia Puław. Warszawa, 264 s.
7. Kałędkowska M., Borysewicz J. 1994. Ekogel MI – nowy preparat do stabilizacji i rekultywacji składowisk pylistych odpadów przemysłowych. Ochrona Powietrza, 2, 48–50.
8. Kozłowska B. 1995. Zastosowanie osadów ściekowych do biologicznego zagospodarowania składowisk odpadów paleniskowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 418, 859–868.
9. Kozłowska B. 1997. Zastosowanie osadów ściekowych do roślinnego zagospodarowania składowisk odpadów paleniskowych. Rozprawa doktorska IPiS PAN w Zabrzu, 80 s. i dokumentacja fotograficzna.
10. Maciak F., Liwski S., Biernacka E. 1976. Rekultywacja rolnicza składowisk odpadów paleniskowych (popiołów) z węgla brunatnego i kamiennego. Roczn. Glebozn. t. XXVII, z. 4, 171–187.
11. Madej M. 2007. Zielen miejska źródłem surowca do produkcji kompostu. Praca doktorska, WSEiZ, Warszawa, 140 s.
12. Madej M., Siuta J., Wasiak G. 2010. Zielen Warszawy źródłem surowca do produkcji kompostu. Cz. III. Doświadczalne kompostowanie masy roślinnej oraz jakość kompostu. Inżynieria Ekologiczna, 23, 37–49.
13. Opaliński R. 2007. Rekultywacyjna efektywność kompostu Complex na odpadach paleniskowych w doświadczeniu lizymetrycznym. Praca magisterska. WSEiZ, Warszawa, 78 s.
14. Polkowski M., Sułek S. 1999. Kompostowanie masy roślinnej ze straty bezleśnej przy zakładach Azotowych Puławy. I konferencja „Kompostowanie i użytkowanie kompostu”, Puławy-Warszawa, 71–74.
15. Rosik–Dulewska Cz. 1980. Rozwój roślin uprawnych na składowiskach popiołu z elektrowni Halemba i ich ocena jakościowa. Rozprawa doktorska AR we Wrocławiu.
16. Siuta J. 2007. System uprawy i kompostowania roślin na składowiskach odpadów posodowych w Janikowie z zastosowaniem osadów ściekowych. Inżynieria Ekologiczna, 19, 38–58.
17. Siuta J. 1999. Rekultywacyjna efektywność kompostu z Radiowa. I konferencja Kompostowanie i użytkowania kompostów, Puławy-Warszawa, 37–54.
18. Siuta J., Wasiak G. 1993. Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Cz. I. Podstawy zagadnienia. Ekologia i Technika, 3(3), 11–14.
19. Siuta J., Wasiak G., Kozłowska B. 1993. Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Cz. IV. Kompostowanie masy roślinnej. Ekologia i Technika, 6(6), 11–14.
20. Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Jońca M., Mamełka D., Sułek S. 1996. Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. IOŚ, Warszawa, 40 s.



21. Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Mamelka D. 1997. Rekultywacyjna efektywność osadu ściekowego na bezglebowych podłożach w doświadczeniu lizymetrycznym. II konf. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych, Puławy-Lublin-Jeziórko, 134–154.
22. Siuta J., Jońca M. 1997. Rekultywacyjne działanie osadu ściekowego na wapnie poflotacyjnym w kopalni siarki Jezioro. II konf. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych, Puławy-Lublin-Jeziórko, 39–46.
23. Siuta J. Wasiak G., Madej M. 2008. Rekultywacyjna efektywność kompostów i osadu ściekowego na złożu odpadów paleniskowych w doświadczeniu modelowym. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 34, 145–172.
24. Wysocki W. 1979. Reclamation of alkalien ash piles Environment against dusting. Interagency Energy/Environment Research Laboratory, Cincinnati Ohio.
25. Wysocki W. 1988. Rekultywacja składowisk odpadów elektrowni węglowych. *Sozologia i Sozotechnika*, 26, 231–240.
26. Żak M. 1994. Przyczyny i sposoby przeciwdziałania pyleniu popiołów lotnych na składowiskach. *Ochrona Powietrza*, 1, 19–22.

## **CROPS AND CHEMISM OF PLANTS OF A MULTIVARIANT MODEL EXPERIMENT ON COAL COMBUSTION WASTE DEPOSITS**

### **Summary**

The reclamation efficiency of composts and sewage sludge on coal combustion waste deposits from a coal-fired power station put in cylindrical containers with the diameter of 80 cm and the height of 100 cm each has been examined. It was the second phase of the experiment, the first one took place between 2004 and 2006. Pedogenic deposits were fertilized with five different composts and sewage sludge. In the same lysimetric containers the crop-formation efficiency of sewage sludge and composts (from municipal waste) were examined on the following deposits: combustion waste, lime from the flotation of sulfur ore and humus-less light sandy loam. All the aforementioned deposits featured no variant of organic fertilizing. Sewage sludge produced a great vegetation and crop-formation efficiency, yet its growth depended on pedogenic features of the deposits. Coal combustion ash manifested a significant crop-formation and pedogenic potential in all variants fertilized with an organic matter. Yielding developed gradually along with the increase in neutralization of alkaline reaction and concentration of soluble salts.

The study also presents the reclamation efficiency of sewage sludge on the following vast deposits: combustion waste, lime from the flotation of sulfur ore as well as on a 108 ha sodium waste dump where crops of voluptuous vegetation are composted.

**Key words:** model experiment, combustion waste, reclamation, composts, sewage sludge, plant chemism, crop.