

**JACEK ANTONKIEWICZ****CZESŁAWA JASIEWICZ**

Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza w Krakowie

## Wpływ różnych mieszanin osadowo-popiołowych i torfowo-popiołowych na wielkość i jakość plonu mieszanki traw z komonicą zwyczajną

### **The influence of various sludge-and-ash and peat-and-ash mixtures on yield quantity and quality of a mixture of grasses with bird's foot trifoil**

Celem badań było poznanie wpływu różnej ilości mieszanin osadowo-popiołowych i torfowo-popiołowych na wielkość plonu i zawartość metali ciężkich w mieszance traw. Badania przeprowadzono w warunkach doświadczenia wazonowego na glebie mineralnej, do której dodawano mieszaniny osadowo-popiołowe i torfowo-popiołowe w ilości 1%–30% w stosunku do ogólnej masy utworu glebowego. W schemacie doświadczenia uwzględniono również obiekty obejmujące jedynie komponenty wchodzące w skład mieszanin. Wielkość plonu mieszanki roślin była zróżnicowana i w zależności od obiektu i pokosu wahała się w zakresie: 4,98–38,89 g s.m./wazon. Najwyższy plon uzyskano z obiektu, w którym zastosowano 30% mieszaniny osadowo-popiołowej, a najniższy z obiektu, w którym zastosowano wyłącznie torf. Zawartość metali ciężkich w mieszance traw była również zróżnicowana i zależała od obiektu. Najwyższe zawartości Cr stwierdzono z obiektów z 30% dodatkiem mieszanin osadowo-popiołowych, Cu i Zn z obiektów, w których zastosowano wyłącznie osad ściekowy, Pb z obiektów, gdzie zastosowano wyłącznie popiół i mieszaniny osadowo-popiołowe, Cd z obiektów z 30% dodatkiem mieszanin osadowo-popiołowych i popiołowo-torfowych, Ni z obiektów z 1% dodatkiem mieszanin popiołowo-torfowych. Stwierdzono, że w miarę wzrostu udziału procentowego mieszanin osadowo-popiołowych i popiołowo-torfowych wzrasta systematycznie zawartość Cd w mieszance roślin, a maleje zawartość Ni, Cu i Zn.

**Słowa kluczowe:** komonica zwyczajna, *Lotus corniculatus*, metale ciężkie, mieszanka traw, rekultywacja

The research aimed at recognition in effects of various amounts of sludge-and-ash or ash-and-peat mixtures on yield and heavy metals content in a mixture of grasses with bird's foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.). The studies were conducted as a pot experiment on a mineral soil with 1–30% additions of sludge-and-ash or ash-and-peat mixtures. The experimental design included also the constituents of the substrat mixtures as the separate objects. Plant mixture yield ranged between 4.98 and 38.89 g of dry matter per pot, depending on a soil composition and time of harvest (three cuts were applied). The highest yield was produced by the object of 30% addition of sludge-and-ash mixture and

the lowest one — by the pure peat substratum. Heavy metals content was variable and dependent on soil composition. The highest Cr concentrations were detected in the object of 30% addition of sludge-and-ash mixture, Cu and Zn were most plentiful in the object of sole sewage sludge and the highest Pb content was in the objects grown on the sole ash or sludge-and-ash mixture. The Cd concentrations were most elevated in the plant objects grown on the soil with 30% sludge-and-ash or ash-and-peat admixtures. The Ni element was most abundant in the object of 1% addition of ash-and-peat mixture. The Cd content in plant mixture yield increased with increasing percentage of sludge-and-ash or sludge-and-peat mixtures in the soil, while the concentrations of Ni, Cu and Zn declined.

**Key words:** bird foot trefoil, *Lotus corniculatus* L., heavy metals, grass mixture, reclamation

## WSTĘP

Od dawna poszukuje się skutecznych sposobów biologicznego zagospodarowania składowisk popiołów paleniskowych. Zwraca się uwagę na trawy, jako rośliny szybko rozwijające się, doskonale zadarniające i odporne na trudne warunki siedliskowe (Kitczak i in., 1999; Rogalski i in., 2001). Popioło-żużel jako uboczny produkt spalania węgla kamiennego pozbawiony jest substancji organicznej a tym samym azotu, ponadto charakteryzuje się alkalicznym odczynem (Matusiewicz, Janowicz, 1983; Smółka-Danielowska, 1999). Wobec powyższego produkt ten należy traktować jako skałę pochodzenia przemysłowego, pozbawioną życia biologicznego (Gos, 1999; Manecki 1999). Działanie tych niekorzystnych czynników można zmniejszyć sposobami agrotechnicznymi, na przykład metodą uszlachetnienia wierzchniej warstwy popiołów między innymi osadem ściekowym (Siuta, 1998), nawożeniem mineralnym (Maciak, 1996). Ponadto możliwość wykorzystania osadów ściekowych w biologicznym zagospodarowaniu składowisk popiołowych pozwala na realizację dwóch ważnych celów gospodarczych: rekultywację składowisk popiołowych i utylizację osadów ściekowych. Celem niniejszych badań było poznanie wpływu różnej ilości mieszanin osadowo-popiołowych i torfowo-popiołowych na wielkość plonu i zawartość metali ciężkich w mieszance traw.

## MATERIAŁ I METODY

Badania nad przydatnością mieszanki traw z komonicą zwyczajną do rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych są prowadzone w warunkach doświadczenia wazonowego od roku 2003, w hali wegetacyjnej. Do badań użyto gleby o składzie granulometrycznym pyłu ilastego. Zawierała ona 18% piasku, 8% pyłu grubego, 36% pyłu drobnego, 24% łu pyłowego grubego, 9% łu pyłowego drobnego i 5% łu koloidalnego (Systematyka, 1989). Doświadczenie przeprowadzono w czterech powtórzeniach, w wazonach polietylenowych, o pojemności 6 kg, napełnionych mieszaninami osadowo-popiołowymi i torfowo-popiołowymi w ilości 1%–30% w stosunku do ogólnej masy gleby. W schemacie doświadczenia uwzględniono również obiekty obejmujące jedynie komponenty wchodzące w skład mieszanin. Doświadczenie obejmowało następujące obiekty: I. kontrola, gleba; II. osad ściekowy miejski; III. popiół paleniskowy pochodzący ze spalania węgla kamiennego; IV. torf niski; V. mieszanina osadowo-popiołowa wymieszana w stosunku wagowym 1:1 (OP); VI. mieszanina torfowo-popiołowa

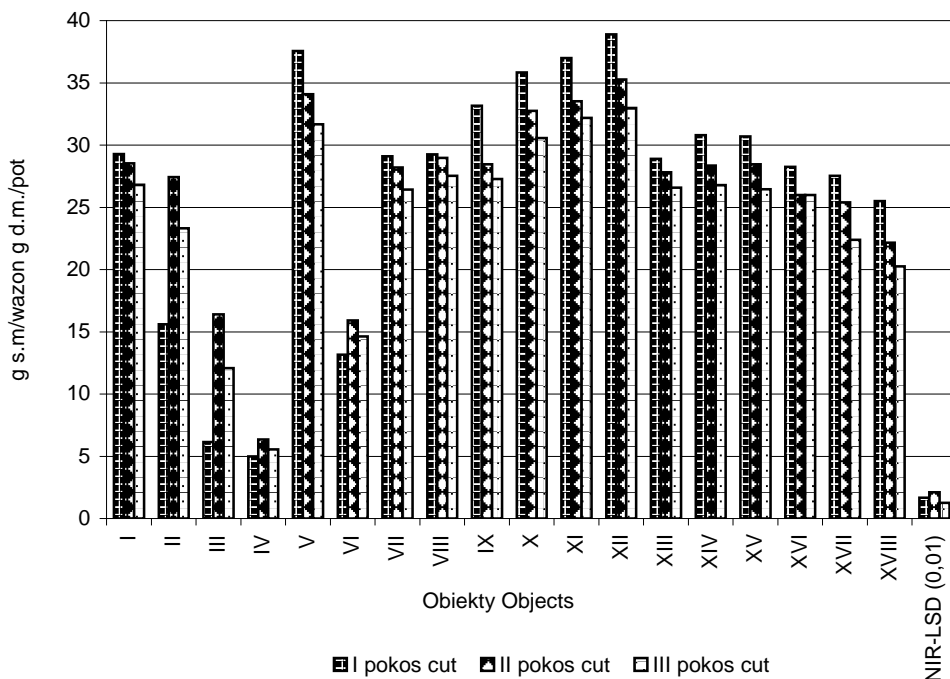
wymieszana w stosunku wagowym 1:1 (TP); Obiekty VII–XVIII obejmowały mieszaniny osadowo-popiołowe i torfowo-popiołowe wymieszane w stosunku wagowym 1:1 i dodane do gleby w ilości od 1% do 30% w stosunku do ogólnej masy gleby, tj. VII. osad-popioł 1%; VIII. osad-popioł 2%; IX. osad-popioł 5%; X. osad-popioł 10%; XI. osad-popioł 20%; XII. osad-popioł 30%; XIII. torf-popioł 1%; XIV. torf-popioł 2%; XV. torf-popioł 5%; XVI. torf-popioł 10%; XVII. torf-popioł 20%; XVIII. torf-popioł 30%. We wszystkich wazonach zastosowano stałe nawożenie NPK w ilości: 0,3 g N, 0,08 g P, 0,2 g K. kg<sup>-1</sup> gleby, w formie NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, KCl. Nawozy zastosowano dwa tygodnie przed wysianiem roślin w formie roztworów i dokładnie wymieszano z podłożem. Mieszanę traw z komonicą zwyczajną wysiano 25 kwietnia w ilości 85 nasion/wazon. W skład testowanej mieszanki weszły: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) — 47% udziału, kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea* Schreb.) — 17,5% udziału, wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.) — 23,5% udziału, komonica zwyczajna (*Lotus corniculatus* L.) — 12% udziału w mieszance. W czasie wegetacji rośliny podlewano wodą redestylowaną, utrzymując wilgotność gleby na poziomie 60% maksymalnej pojemności wodnej. Zbiór traw przeprowadzono w trzech terminach: I pokos — 25 lipca, II pokos — 9 września, III pokos 15 października. Rośliny zbierano z każdego wazonu (powtórzenia), następnie po wysuszeniu w suszarce w temp. 75°C określono wielkość plonu suchej masy i wyrażono w g s.m./wazon. Do analizy została pobrana próbka (5 g s.m.) materiału roślinnego z każdego wazonu. W materiale roślinnym po mineralizacji na sucho, z każdego powtórzenia, oznaczono: Cr, Pb, Cu, Zn, Cd, Ni metodą ICP-AES (inductively coupled plasma — atomowa spektrofotometria emisyjna oparta na palniku indukcyjnie wzbudzonej plazmy). Do obliczeń statystycznych zastosowano arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel 7.0. Istotność różnic między porównywanymi średnimi plonów mieszanki roślin i zawartości pierwiastków określano metodą Duncana. Analizę wariancji i test Duncana wykonywano na poziomie istotności  $\alpha = 0,01$  (Ulińska, 1957). Obliczono współczynniki zmienności wskazujące zmienność zawartości badanych pierwiastków w plonie roślin. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań z pierwszego roku wegetacji, tj. z 2003 roku.

## WYNIKI

Plon mieszanki traw w zależności od pokosu był zróżnicowany i wahał się w zakresie: 4,98–38,89 g s.m./wazon (rys. 1). Najwyższy plon uzyskano w pierwszym pokosie, a najniższy w trzecim. Zastosowane wyłącznie mieszaniny osadowo-popiołowe (obiekt V) w stosunku wagowym 1:1 wpłynęły istotnie na podwyższenie plonu. Wzrost w tym obiekcie wynosił w zależności od pokosu od 18-28% w stosunku do obiektu kontrolnego. Najniższy plon mieszanki traw uzyskano w obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie torf (obiekt IV) oraz popioł (obiekt III). Również w obiekcie VI, w którym zastosowano wyłącznie mieszaninę torfowo-popiołową zarejestrowano istotne obniżenie plonu w porównaniu do kontroli. Stwierdzono, że w miarę wzrostu procentowego udziału mieszanin osadowo-popiołowych w glebie wzrasta systematycznie wielkość plonu.

Natomiast dodatek do gleby mieszanin torfowo-popiołowych, zwłaszcza od 10 do 30% skutkuje istotnym obniżeniem plonu (rys. 1).

W zależności od terminu zbioru oraz obiektu zawartość metali ciężkich w roślinach wahała się w zakresie: 0,22–2,31 mg Cr; 0,15–0,90 mg Pb; 9,85–80,70 mg Zn; 0,85–13,28 mg Cu; 0,03–1,69 mg Cd; 0,15–6,24 mg Ni/kg s.m. (tab. 1, 2).



Rys. 1. Plon mieszanki traw z komonicy zwyczajną  
 Fig. 1. Yield of the mixture of grasses with bird's foot trifoil

W przypadku pierwszego pokosu zawartość Cr w mieszance traw uzyskana w obiektach I–VIII była mało zróżnicowana. Dodatek do gleby mieszanin osadowo-popiołowych w ilości od 5 do 30% w stosunku do ogólnej masy utworu glebowego, spowodował wyraźny wzrost zawartości tego pierwiastka. Wzrost zawartości Cr, w zebranych plonie pierwszego pokosu, w obiekcie, w którym zastosowano 30% dodatek mieszaniny osadowo-popiołowej wynosił 64% w stosunku do obiektu kontrolnego. Odwrotną zależność zarejestrowano w przypadku mieszanin torfowo-popiołowych. Najwyższą zawartość Cr w mieszance traw, pierwszego pokosu, zarejestrowano w obiekcie XIII, w którym zastosowano 1% dodatek wyżej wymienionej mieszaniny. W kolejnych obiektach torfowo-popiołowych (XIV–XVIII), zarejestrowano, w przypadku pierwszego pokosu, systematyczne obniżanie się zawartości tego pierwiastka w miarę wzrostu udziału tego komponentu. W przypadku drugiego pokosu zawartość Cr

w mieszance traw była również zróżnicowana. Najwyższą zawartość Cr zarejestrowano w materiale zebrany z obiektu V (2,31 mg/kg s.m.) i była o 107% wyższa w stosunku do obiektu kontrolnego. W miarę wzrastającego procentowego udziału mieszanin osadowo-popiołowych w stosunku do ogólnej masy gleby (obiekty VII–XII) obserwowano systematyczny wzrost zawartości tego pierwiastka w zebranych plonie. Wzrost zawartości Cr w plonie z obiektu XII wyniósł 96% w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Zastosowane mieszaniny torfowo-popiołowe nie wpłynęły na zróżnicowanie zawartości Cr w drugim i trzecim pokosie testowanej mieszanki traw. Średnia ważona zawartości Cr w plonie z trzech pokosów wahała się od 0,51 do 1,46 mg/kg s.m. (tab. 1). Dodatek do gleby mieszanin osadowo-popiołowych w ilości od 10 do 30% w stosunku do ogólnej masy gleby wpłynął istotnie na wzrost zawartości Cr w plonie roślin, natomiast mieszanin torfowo-popiołowych na obniżenie zawartości tego pierwiastka. Istotnie wyższą średnią ważoną zawartości Cr w mieszance traw z komoniką stwierdzono z obiektów, w których zastosowano wyłącznie osad, popiół, torf oraz ich komponenty (obiekty II–VI).

Tabela 1

**Zawartość Cr, Pb Zn w mieszance traw z komoniką zwyczajną (mg/kg s.m.)**  
**Content of Cr, Pb, and Zn in the mixture of grasses with bird's foot trifoil (mg/kg d.m.)**

| Obiekty<br>Objects      |                     | Cr           |       |       |          | Pb           |       |       |          | Zn           |       |       |          |
|-------------------------|---------------------|--------------|-------|-------|----------|--------------|-------|-------|----------|--------------|-------|-------|----------|
| numer<br>number         | nazwa<br>name       | pokos<br>cut |       |       |          | pokos<br>cut |       |       |          | pokos<br>cut |       |       |          |
|                         |                     | I            | II    | III   | średnia* | I            | II    | III   | średnia* | I            | II    | III   | średnia* |
| I                       | kontrola<br>control | 1,07         | 1,12  | 0,29  | 0,84     | 0,87         | 0,50  | 0,83  | 0,73     | 43,10        | 29,25 | 44,48 | 38,86    |
| II                      | osad<br>sludge      | 0,99         | 1,82  | 0,34  | 1,10     | 0,69         | 0,33  | 0,84  | 0,59     | 46,58        | 69,40 | 80,70 | 68,06    |
| III                     | popiół<br>ash       | 0,89         | 1,91  | 0,43  | 1,21     | 0,28         | 0,46  | 0,90  | 0,58     | 12,43        | 15,40 | 17,38 | 15,55    |
| IV                      | torf<br>peat        | 1,06         | 1,87  | 0,22  | 1,09     | 0,27         | 0,15  | 0,49  | 0,29     | 10,65        | 11,86 | 16,13 | 12,93    |
| V                       | OP                  | 0,97         | 2,31  | 0,34  | 1,23     | 0,49         | 0,56  | 0,63  | 0,55     | 54,60        | 42,93 | 45,90 | 48,08    |
| VI                      | TP                  | 0,99         | 2,09  | 0,33  | 1,17     | 0,59         | 0,37  | 0,74  | 0,56     | 21,55        | 9,85  | 26,20 | 18,84    |
| VII                     | OP 1%               | 0,96         | 0,31  | 0,22  | 0,51     | 0,82         | 0,55  | 0,81  | 0,73     | 49,88        | 37,40 | 49,53 | 45,55    |
| VIII                    | OP 2%               | 1,02         | 0,35  | 0,26  | 0,55     | 0,85         | 0,57  | 0,81  | 0,74     | 50,50        | 37,63 | 50,30 | 46,10    |
| IX                      | OP 5%               | 1,22         | 0,39  | 0,26  | 0,66     | 0,80         | 0,52  | 0,80  | 0,71     | 42,53        | 40,00 | 47,15 | 43,13    |
| X                       | OP 10%              | 1,44         | 1,67  | 0,28  | 1,16     | 0,53         | 0,36  | 0,62  | 0,50     | 36,50        | 27,70 | 38,23 | 34,14    |
| XI                      | OP 20%              | 1,66         | 2,06  | 0,31  | 1,37     | 0,42         | 0,35  | 0,58  | 0,44     | 29,35        | 24,65 | 29,53 | 27,87    |
| XII                     | OP 30%              | 1,76         | 2,19  | 0,34  | 1,46     | 0,36         | 0,30  | 0,46  | 0,37     | 26,85        | 21,53 | 27,18 | 25,19    |
| XIII                    | TP 1%               | 2,05         | 0,33  | 0,30  | 0,91     | 0,66         | 0,48  | 0,90  | 0,68     | 43,85        | 38,93 | 43,23 | 42,02    |
| XIV                     | TP2%                | 1,88         | 0,30  | 0,27  | 0,86     | 0,61         | 0,42  | 0,69  | 0,57     | 39,38        | 33,70 | 41,06 | 38,03    |
| XV                      | TP 5%               | 1,79         | 0,27  | 0,27  | 0,81     | 0,57         | 0,43  | 0,58  | 0,52     | 36,80        | 29,98 | 37,20 | 34,64    |
| XVI                     | TP 10%              | 1,48         | 0,25  | 0,26  | 0,69     | 0,45         | 0,36  | 0,51  | 0,44     | 34,05        | 27,20 | 33,43 | 31,58    |
| XVII                    | TP 20%              | 1,39         | 0,27  | 0,26  | 0,67     | 0,45         | 0,32  | 0,43  | 0,40     | 29,43        | 25,58 | 30,23 | 28,35    |
| XVIII                   | TP 30%              | 1,30         | 0,26  | 0,23  | 0,64     | 0,43         | 0,28  | 0,42  | 0,38     | 27,98        | 18,20 | 27,60 | 24,67    |
| V% **                   |                     | 27,69        | 77,74 | 18,25 | 30,89    | 33,45        | 28,17 | 24,95 | 25,31    | 35,44        | 45,97 | 39,03 | 38,78    |
| NRI ( $\alpha = 0,01$ ) |                     |              |       |       |          |              |       |       |          |              |       |       |          |
| LSD( $\alpha = 0,01$ )  |                     | 0,17         | 0,43  | 0,05  | 0,19     | 0,15         | 0,18  | 0,13  | 0,09     | 6,39         | 7,20  | 2,97  | 3,31     |

\* Średnia ważona; Weighted mean

\*\* Współczynnik zmienności; Variability coefficient

Zawartość Pb w zebranym plonie była mało zróżnicowana, o czym świadczy niska wartość współczynnika zmienności, która dla pierwszego pokosu wynosiła 33,45%, drugiego — 28,17, trzeciego — 24,95%. Najwyższą zawartość tego pierwiastka, w przypadku pierwszego pokosu zarejestrowano w obiekcie kontrolnym (tab. 1), a najniższą w obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie torf (IV).

Zastosowany wyłącznie osad ściekowy, popiół paleniskowy, torf oraz ich mieszaniny wpłynęły wyraźnie na obniżenie zawartości ołowiu w zebranym plonie pierwszego pokosu. Ponadto mieszaniny osadowo-popiołowe oraz torfowo-popiołowe dodane do gleby od 10% do 30% w stosunku do ogólnej masy utworu glebowego również wpłynęły na obniżenie zawartości tego metalu w mieszance traw z komonicą zwyczajną. Średnia ważona zawartości ołowiu w plonie mieszanki traw z komonicą zwyczajną zebranych z trzech pokosów wahała się w zakresie: 0,29–0,74 mg/kg s.m. (tab. 1). Zastosowane do gleby mieszaniny osadowo-popiołowe w ilości od 10 do 30% w stosunku do ogólnej masy gleby oraz mieszaniny torfowo-popiołowe wpłynęły istotnie na obniżenie zawartości Pb w zebranym plonie. Najniższą zawartość Pb w plonie roślin odnotowano z obiektu, w którym zastosowano wyłącznie torf.

Najwyższą zawartość Zn oznaczono w plonie drugiego i trzeciego pokosu zebranego z obiektu, w którym zastosowano wyłącznie osad ściekowy, natomiast najniższą w obiektach, w których zastosowano wyłącznie popiół paleniskowy i torf oraz ich mieszaniny (tab. 1). Stwierdzono, że źródłem cynku w mieszance traw z komonicą zwyczajną jest osad ściekowy, natomiast podłoże składające się wyłącznie z popiołu, torfu oraz ich mieszanin nie stanowi potencjalnego źródła tego pierwiastka dla badanych roślin. Podobnie jak w przypadku Pb, zawartość Zn malała w miarę wzrostu procentowego udziału mieszanin osadowo-popiołowych i torfowo-popiołowych w stosunku do gleby. Średnia ważona zawartości cynku z trzech pokosów mieszanki roślin, w zależności od obiektu, wahała się od 12,91 do 68,00 mg/kg s.m. (tab. 1). Zastosowane do gleby mieszaniny osadowo-popiołowe i torfowo-popiołowe w ilości od 10% do 30% w stosunku do ogólnej masy gleby spowodowały istotne obniżenie średniej ważonej zawartości Zn w plonie mieszanki traw z komonicą zwyczajną. Najniższą zawartość Zn w plonie roślin stwierdzono z obiektów, w których zastosowano wyłącznie popiół, torf oraz ich mieszaniny (obiekty III, IV, VI). Zastosowany wyłącznie osad i mieszanina osadowo-popiołowa istotnie wpłynęła na podwyższenie średniej ważonej zawartości Zn w testowanej mieszance roślin.

Zawartość miedzi w poszczególnych pokosach mieszanki traw z komonicą zwyczajną była mało zróżnicowana (tab. 2). Najwyższą istotną zawartość Cu stwierdzono z obiektu, w którym zastosowano wyłącznie osad ściekowy. Zastosowany w doświadczeniu wyłącznie torf (obiekt IV) zahamował pobieranie tego pierwiastka przez mieszankę traw z komonicą zwyczajną. Ponadto nie stwierdzono większego zróżnicowania w zawartości Cu pomiędzy poszczególnymi pokosami. Istotnie wyższe zawartości Cu w poszczególnych pokosach mieszanki roślin zarejestrowano także w obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie mieszaninę osadowo-popiołową. Dodatek do gleby mieszanin osadowo-popiołowych i torfowo-popiołowych w ilości od 10% do 30% w stosunku do ogólnej masy gleby wpłynął na obniżenie zawartości Cu w I i III pokosie mieszanki traw z komonicą

zwyczajną. Średnia ważona zawartości miedzi w płonie trzech pokosów wahała się w granicach od 0,99 do 10,39 mg/kg s.m. (tab. 2). Źródłem miedzi w zebranych płonach, podobnie jak w przypadku cynku, był zastosowany jako podłoże osad ściekowy, natomiast najniższe zawartości tego pierwiastka stwierdzono w materiale zebranym z obiektu wypełnionego torfem (obiekt IV). Z danych zamieszczonych w tabeli 2 wynika, że średnia ważona zawartości Cu w zebranej mieszance traw z komoniką systematycznie malała w wyniku wzrastającego procentowego udziału mieszanin osadowo-popiołowych, a zwłaszcza torfowo-popiołowych w glebie.

Tabela 2

**Zawartość Cu, Zn, Cd w mieszance traw z komoniką zwyczajną (mg/kg s.m.)**  
**Content of Cu, Cd, and Ni in the mixture of grasses with bird's foot trifoil (mg/kg d.m.)**

| Obiekty<br>Objects     |                     | Cu           |       |       |          | Cd           |       |       |          | Ni           |       |       |          |
|------------------------|---------------------|--------------|-------|-------|----------|--------------|-------|-------|----------|--------------|-------|-------|----------|
| numer<br>number        | nazwa<br>name       | pokos<br>cut |       |       |          | pokos<br>cut |       |       |          | pokos<br>cut |       |       |          |
|                        |                     | I            | II    | III   | średnia* | I            | II    | III   | średnia* | I            | II    | III   | średnia* |
| I                      | kontrola<br>control | 5,79         | 2,71  | 5,32  | 4,61     | 0,53         | 0,61  | 0,86  | 0,66     | 3,81         | 3,28  | 5,83  | 4,27     |
| II                     | osad<br>sludge      | 8,70         | 8,90  | 13,28 | 10,40    | 0,14         | 0,14  | 0,23  | 0,17     | 1,73         | 1,32  | 1,42  | 1,45     |
| III                    | popiół<br>ash       | 2,64         | 6,59  | 6,08  | 5,72     | 0,03         | 0,05  | 0,06  | 0,05     | 0,82         | 0,70  | 0,41  | 0,62     |
| IV                     | torf<br>peat        | 1,06         | 1,05  | 0,87  | 0,99     | 0,04         | 0,12  | 0,09  | 0,09     | 0,54         | 0,56  | 0,15  | 0,42     |
| V                      | OP                  | 9,20         | 7,11  | 9,55  | 8,62     | 0,17         | 0,24  | 0,12  | 0,17     | 0,67         | 1,03  | 0,53  | 0,75     |
| VI                     | TP                  | 6,05         | 2,44  | 8,75  | 5,64     | 0,08         | 0,05  | 0,17  | 0,09     | 0,80         | 0,89  | 0,49  | 0,73     |
| VII                    | OP 1%               | 6,15         | 4,56  | 5,55  | 5,43     | 0,44         | 0,75  | 0,87  | 0,68     | 3,29         | 3,79  | 5,29  | 4,09     |
| VIII                   | OP 2%               | 5,52         | 4,89  | 5,41  | 5,27     | 0,52         | 0,96  | 0,95  | 0,81     | 3,87         | 3,07  | 4,65  | 3,85     |
| IX                     | OP 5%               | 5,65         | 4,62  | 5,47  | 5,26     | 0,54         | 1,06  | 1,08  | 0,87     | 2,77         | 2,36  | 3,11  | 2,74     |
| X                      | OP 10%              | 5,24         | 4,51  | 4,78  | 4,86     | 0,58         | 1,16  | 1,32  | 1,00     | 2,72         | 1,31  | 2,83  | 2,29     |
| XI                     | OP 20%              | 4,28         | 4,46  | 4,49  | 4,40     | 0,65         | 1,38  | 1,53  | 1,16     | 1,75         | 0,88  | 1,33  | 1,33     |
| XII                    | OP 30%              | 4,57         | 4,10  | 4,54  | 4,40     | 0,74         | 1,53  | 1,64  | 1,28     | 1,40         | 0,48  | 0,76  | 0,90     |
| XIII                   | TP 1%               | 5,66         | 5,16  | 5,13  | 5,32     | 0,50         | 0,69  | 0,90  | 0,69     | 3,52         | 2,55  | 6,24  | 4,06     |
| XIV                    | TP2%                | 5,44         | 4,49  | 4,19  | 4,74     | 0,55         | 0,81  | 1,05  | 0,79     | 3,69         | 2,12  | 5,32  | 3,68     |
| XV                     | TP 5%               | 4,42         | 3,44  | 4,03  | 3,97     | 0,62         | 1,01  | 1,24  | 0,94     | 2,86         | 1,45  | 2,38  | 2,24     |
| XVI                    | TP 10%              | 4,56         | 3,40  | 3,91  | 3,97     | 0,95         | 1,11  | 1,45  | 1,16     | 2,13         | 1,23  | 1,53  | 1,64     |
| XVII                   | TP 20%              | 4,46         | 3,27  | 3,70  | 3,84     | 1,14         | 1,24  | 1,56  | 1,29     | 1,92         | 0,89  | 1,26  | 1,38     |
| XVIII                  | TP 30%              | 4,01         | 3,19  | 3,16  | 3,49     | 1,69         | 1,60  | 1,64  | 1,64     | 1,26         | 0,45  | 0,87  | 0,88     |
| V%**                   |                     | 35,79        | 41,45 | 50,10 | 39,09    | 75,72        | 63,64 | 61,28 | 63,41    | 52,51        | 65,63 | 84,80 | 66,13    |
| NRI( $\alpha = 0,01$ ) |                     |              |       |       |          |              |       |       |          |              |       |       |          |
| LSD( $\alpha = 0,01$ ) |                     | 1,11         | 1,70  | 0,68  | 0,84     | 0,11         | 0,23  | 0,08  | 0,08     | 0,42         | 0,49  | 0,28  | 0,24     |

\* Średnia ważona; Weighted mean

\*\* Współczynnik zmienności; Variability coefficient

Zawartość kadmu w testowanej mieszance traw w poszczególnych pokosach była bardzo zróżnicowana. Najniższe ilości Cd stwierdzono w obiektach II–VI, w których zastosowano wyłącznie osad, popiół, torf oraz ich mieszaniny (tab. 2). Zawartość tego pierwiastka w materiale roślinnym z obiektu kontrolnego była znacznie wyższa w porównaniu do wyżej wymienionych obiektów. Stwierdzono, że zawartość Cd w testowanych roślinach w poszczególnych pokosach wyraźnie rośnie w miarę wzrostu

procentowego udziału mieszanin osadowo-popiołowych i torfowo-popiołowych w glebie. Średnia ważona zawartości Cd w plonie roślin z trzech pokosów wahała się od 0,05 do 1,64 mg/kg s.m. (tab. 2). Zastosowane do gleby mieszaniny osadowo-popiołowe i torfowo-popiołowe w ilości 5%–30% w stosunku do ogólnej masy gleby wpłynęły istotnie na podwyższenie średniej ważonej zawartości Cd w mieszance traw z komonicą zwyczajną. Stwierdzono, że osad, popiół torf oraz ich mieszaniny wyraźnie hamują pobieranie Cd przez rośliny.

Zawartość niklu w mieszance traw z komonicą w poszczególnych pokosach była również zróżnicowana (tab. 2). Stosunkowo wysokie zawartości Ni stwierdzono w materiale zebrany z obiektu kontrolnego, zwłaszcza z III pokosu, a najniższe z obiektów, w których jako podłoże zastosowano wyłącznie torf, popiół, osad oraz ich mieszaniny. Stwierdzono, że w miarę wzrostu procentowego udziału mieszanin osadowo-popiołowych i torfowo-popiołowych w glebie systematycznie maleje zawartość Ni w plonie. Obniżenie zawartości Ni w materiale zebrany z obiektu, w którym zastosowano 30% dodatek mieszaniny osadowo-popiołowej (obiekt XII) wynosił dla pierwszego pokosu 64%, drugiego 85,5%, trzeciego 86,9% w porównaniu do obiektu kontrolnego. Podobne tendencje odnotowano również w przypadku dodania do gleby mieszanin torfowo-popiołowych. Średnia ważona zawartości Ni w mieszance roślin, z trzech pokosów wahała się w zakresie: 0,42 do 4,27 mg/kg s.m. (tab. 2). Najwyższa średnia ważona zawartości Ni w zebrany plonie została zarejestrowana w obiekcie kontrolnym, w którym zastosowano wyłącznie glebę mineralną. Zastosowane do gleby mieszaniny osadowo-popiołowe i torfowo-popiołowe wpłynęły istotnie na obniżenie średniej ważonej zawartości Ni w plonie testowanej mieszanki. Torf, popiół, osad oraz ich mieszaniny wyraźnie ograniczały pobieranie tego pierwiastka przez mieszankę traw z komonicą zwyczajną.

Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w materiale roślinnym przeznaczonym na pasze wynosi: Cd  $\leq$  0,5 mg; Zn  $\leq$  100,0 mg; Pb  $\leq$  10 mg; Cu  $\leq$  30 mg; Ni  $\leq$  50 mg; Cr  $<$  20 mg/kg s.m. (Kabata-Pendias i in., 1993; Gorlach, 1991). Wyceniając mieszankę traw według powyższego kryterium stwierdzono, że spełniała ona wymogi pod względem zawartości Cr, Pb, Zn, Cu, Ni stawiane paszom dobrej jakości, jedynie zawartość Cd w analizowanym materiale wykluczała ją do wykorzystania na cele paszowe, ponieważ zastosowane mieszaniny osadowo-popiołowe i torfowo-popiołowe jako komponenty glebowe wpłynęły na przekroczenie dopuszczalnej zawartości tego pierwiastka w zebrany plonie. Warto podkreślić, że uzyskana mieszanka traw z komonicą zwyczajną z obiektów, w których jako podłoże zastosowano wyłącznie osad, popiół, torf oraz ich mieszaniny (obiekty II–VI) ograniczały pobieranie Cd przez rośliny w porównaniu do obiektu kontrolnego. Zawartość Cd w mieszance traw z komonicą uzyskana z tych obiektów nie przekroczyła wartości progowych (Kabata-Pendias i in., 1993). Wydaje się, że plon mieszanki traw z komonicą zwyczajną uzyskany z terenów rekultywowanych, gdzie jako podłoże występuje osad ściekowy, popiół paleniskowy, torf oraz ich mieszaniny z glebą może być przeznaczony tylko do produkcji kompostu, a także na cele energetyczne i przemysłowe a nie paszowe.



## DYSKUSJA

W niniejszych badaniach stwierdzono, że mieszaniny osadowo-popiołowe zastosowane w wazonach jako podłoże, wyraźnie wpłynęły na podwyższenie zawartości Cr w mieszance traw z komonicą zwyczajną, natomiast mieszaniny torfowo-popiołowe obniżały pobieranie tego pierwiastka. Uważa się, że ograniczenie pobierania metali ciężkich (Cr, Pb, Zn, Ni) było efektem zmniejszenia ich przyswajalności w wyniku związania przez materię organiczną oraz obniżenia rozpuszczalności w wyniku zobojętnienia torfu popiołem (Curyło, Jasiewicz, 1998). Popioły paleniskowe w swoim składzie chemicznym zawierają metale ciężkie, ale są one niedostępne dla roślin (Staisz i in., 2000). We wcześniejszych badaniach Antonkiewicza i Jasiewicza (2004) również stwierdzono, że mieszaniny osadowo-popiołowe wyraźnie wpływają na obniżenie zawartości Cr, Zn, Pb w materiale roślinnym mieszanki trawiasto-motyłkowej. W niniejszych badaniach stwierdzono wyraźny wpływ mieszanin torfowo-popiołowych i osadowo-popiołowych na obniżenie Cu w mieszance traw z komonicą zwyczajną. Badania Sapek (1980) potwierdzają niniejsze wyniki, że miedź jest silnie sorbowana przez gleby torfowe, oraz tworzą się trudno dostępne dla roślin połączenia miedzi z substancjami humusowymi. W niniejszych badaniach stwierdzono, że zawartość Cd w mieszance traw z komonicą zwyczajną wzrastała pod wpływem zwiększającego się procentowego udziału mieszanin osadowo-popiołowych i torfowo-popiołowych zastosowanych do gleby. Uzyskane w pracy rezultaty wskazują, że rośliny wyrosłe na podłożu mieszanin osadowo-popiołowych i torfowo-popiołowych pobierały więcej Cd. Pod wpływem zastosowanych mieszanin być może nastąpiło zwiększenie rozpuszczalności Cd na przykład w wyniku zobojętnienia kwasowości gleby. Być może większą rolę w pobieraniu Cd przez rośliny odgrywa zmiana odczynu gleby, aniżeli wzrost materii organicznej (Gorlach, Gambuś, 1996). Zastosowane w badaniach własnych mieszaniny osadowo-popiołowe i torfowo-popiołowe spowodowały wyraźne ograniczenie pobierania niklu przez mieszankę traw z komonicą zwyczajną w każdym pokosie. Badania Curyły i Jasiewicza (1998) potwierdzają, że pobieranie niklu i cynku w największym stopniu były hamowane w wyniku związania ich przez materię organiczną.

## WNIOSKI

1. Plon mieszanki traw z komonicą zwyczajną w zależności od pokosu był zróżnicowany, najwyższy stwierdzono w pierwszym pokosie, a najniższy w trzecim.
2. Stwierdzono istotne obniżenie plonu z obiektów, w których zastosowano wyłącznie popiół, torf oraz ich mieszaniny w stosunku do wariantu kontrolnego.
3. Dodatek do gleby mieszanin osadowo-popiołowych wpłynął na podwyższenie wielkości plonu a mieszaniny torfowo-popiołowych na jego obniżenie.
4. Stwierdzono, że w miarę wzrostu procentowego udziału mieszanin osadowo-popiołowych w glebie wzrastała zawartość Cr, Cd w mieszance traw z komonicą zwyczajną.

5. Wyceniając zawartość Cu, Ni, Cr, Zn, Pb w mieszance traw wg liczb granicznych IUNG stwierdzono, że odpowiadała ona normom stawianym paszy dobrej jakości. Natomiast biorąc pod uwagę zawartość Cd w mieszance traw z komonicą zwyczajną stwierdzono przekroczenia dopuszczalnej zawartości tego pierwiastka.
6. Mieszanka traw z komonicą zwyczajną uzyskana na zastosowanych w badaniach podłożach nie może stanowić paszy, zaleca się przeznaczyć ją na cele przemysłowe, energetyczne lub do produkcji kompostu.

#### LITERATURA

- Antonkiewicz J., Jasiewicz Cz. 2004. Wykorzystanie osadów ściekowych do biologicznego zagospodarowania składowiska odpadów paleniskowych. *Uniw. Zielonogórski, Zesz. Nauk.* 131, *Inżynieria Środow.* 12: 17 — 25.
- Curyło T., Jasiewicz Cz. 1998. Wpływ różnych nawozów organiczno-mineralnych na pobieranie metali ciężkich przez warzywa. *Rocz. AR Pozn., 304, Ogrod.* 27: 39 — 49.
- Gorlach E. 1991. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich wartości. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 262, *Sesja Nauk. z.* 34: 13 — 22.
- Gorlach E., Gambuś F. 1996. Badania nad możliwością ograniczenia pobierania kadmu przez rośliny z gleb zanieczyszczonych tym metalem. *Roczn. Glebozn.* 47, 3/4: 31 — 39.
- Gos A. 1999. Wzrost i rozwój niektórych gatunków traw i roślin motylkowatych na popiele z dodatkiem biohumusu. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 197, *Agricultura* 75: 75 — 80.
- 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: 20 ss.
- Kitczak T., Gos A., Czyż H., Trzaskoś M. 1999. Roślinność hałd popioło-żuźli. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 197, *Agricultura* 75: 179 — 186.
- Maciak F. 1996. *Ochrona i rekultywacja środowiska*. Wyd. SGGW, Warszawa, ss. 348.
- Maneck A. 1999. *Aeromineralogia — mineralogia pyłów atmosferycznych (klasyfikacja, metody analityczne, zastosowanie)*. *Pol. Tow. Mineral., Prace Specjalne*, z. 15: 89 — 94.
- Matusiewicz H., Janowicz K. 1983. Fizykochemiczna charakterystyka popiołów lotnych węgla brunatnych elektrowni "Konin" z III stopnia elektrofiltrów i badania nad ich ługowaniem. *Arch. Ochr. Środ.* 3-4: 59 — 81.
- Rogalski M., Kardyńska S., Wieczorek A., Poleszczuk G., Śmietana P. 2001. Przydatność niektórych traw do rekultywacji składowisk popiołów z elektrowni. *Zesz. Probl. PNR*, z. 477: 255 — 259.
- Sapek B. 1980. Zachowanie się miedzi w zmeliorowanych glebach torfowych z użytków zielonych. *Roczn. Nauk. Roln., ser. F*, t. 80, z. 1: 13 — 39.
- Siuta J. 1998. *Rekultywacja gruntów*. Poradnik. Wyd. IOŚ, Warszawa: 204 ss.
- Smołka-Danielowska D. 1999. Badania chemiczno-mineralogiczne frakcji ziarnowych popiołów lotnych z wybranych elektrociepłowni. *Polskie Towarzystwo Mineralogiczne — Prace Specjalne*, z. 15: 111 — 117.
- Staisz J., Pasoń-Konieczńska A., Konieczński J. 2000. Wstępna ocena emisji pierwiastków śladowych w wyniku spalania węgla kamiennego. *Arch. Ochr. Środ.*, 26, 1: 7 — 20.
- Systematyka gleb Polski*. 1989. *PTG. Roczn. Glebozn.*, 40, 3/4: 1 — 150.
- Ulińska M. 1957. *Technika obliczeń przy opracowywaniu wyników doświadczeń rolniczych*. IUNG 59. Wyd. PWRiL, Warszawa: 108 ss.