

Beata Wiśniewska, Stanisław Kalembasa

WPLYW DAWEK OSADU ŚCIEKOWEGO NA ZAWARTOŚĆ I POBRANIE Zn, Cu I Cr PRZEZ BIOMASĘ ŻYCICY WIELOKWIATOWEJ ORAZ NA AKUMULACJĘ TYCH METALI W GLEBIE

Streszczenie. Badano wpływ nawożenia zróżnicowanymi dawkami osadu ściekowego i obornikiem na zawartość i pobranie Zn, Cu i Cr przez życicę wielokwiatową, a także akumulację tych metali ciężkich w utworze glebowym po trzech latach doświadczenia wazonowego.

Zawartość cynku w biomase życicy wielokwiatowej była istotnie zróżnicowana pod wpływem stosowanego nawożenia w każdym roku prowadzenia badań, natomiast zawartość miedzi wykazała istotne zróżnicowanie tylko w roku pierwszym i drugim. Zawartości badanych metali ciężkich w testowanej trawie zwiększała się wraz ze zwiększeniem dawki osadu ściekowego i była większa niż w roślinach nawożonych obornikiem.

Średnia z trzech lat zawartość cynku w glebie wskazuje na zwiększenie kumulacji tego metalu pod wpływem zwiększenia udziału osadu ściekowego, natomiast zawartość miedzi i chromu wskazuje na zmniejszenie ilości tego pierwiastka wraz ze wzrostem udziału osadu ściekowego, co można tłumaczyć większym pobraniem tych metali przez biomasę uprawianej trawy.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, życica wielokwiatowa, osad ściekowy, doświadczenie wazonowe.

WSTĘP

W miarę postępu w oczyszczaniu ścieków, zwiększa się ilość wytwarzanych osadów, których składowanie powoduje zagrożenie dla środowiska. Gospodarka osadowa jest jednym z podstawowych problemów dotyczących współczesnego społeczeństwa. Jest to spowodowane szybkim wzrostem ich masy w wyniku rozbudowy systemów kanalizacji, budowy nowych instalacji oraz ulepszania już istniejących. Według Siuty [21] osady powstające w procesie oczyszczania ścieków są największymi, nie w pełni wykorzystanymi zasobami materii organicznej.

Spośród podstawowych sposobów utylizacji osadów ściekowych, tj. składowania na wysypiskach, spalania po wysuszeniu i przyrodniczego wykorzystania, za najbardziej perspektywiczne uważa się ich zagospodarowanie rolnicze i rekultywacyjne [1-3, 14, 15, 23]. Sposób ten jest najbardziej uzasadniony ekonomicznie ze względu na możliwość wykorzystania znajdujących się w osadach ściekowych znaczących ilości materii organicznej oraz składników biogenych wzbogacających glebę [5, 6, 8, 9]. Rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych posiada pewne ograniczenia ze względu na nadmierną zawartość substancji

Beata WIŚNIEWSKA, Stanisław KALEMBASA – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: kalembasa@uph.edu.pl

toksycznych, tj. metali ciężkich i skażeń sanitarnych [20]. Wprowadzone wraz z osadami ściekowymi metale ciężkie mogą doprowadzić do skażenia środowiska glebowego i wodnego. W sprzyjających warunkach wykazują one zdolność do nagromadzania się w środowisku glebowym, stopniowo pogarszając jego żyzność [11, 16, 17, 22].

Celem pracy była ocena wpływu wzrastających dawek osadu ściekowego na zawartość i pobranie cynku, miedzi i chromu przez biomasę życicy wielokwiatowej oraz akumulację badanych metali ciężkich w glebie.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Trzyletni eksperyment wazonowy przeprowadzono w warunkach szklarni, w latach 2000-2003, w układzie całkowicie losowym. Wazony napełniono 10 kg gleby (utwór glebowy pobrano z poziomu próchnicznego gleby płowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego). Zawartość poszczególnych frakcji wynosiła: piasek (2-0,05 mm) 78%; pył (0,05-0,002 mm) 22%; il (<0,002 mm) 1%, a zawartość Zn, Cu i Cr odpowiednio: 176,4; 10,8; 8,04 mg · kg⁻¹ gleby.

W doświadczeniu do nawożenia zastosowano obornik bydlęcy przefermentowany (jako standard) oraz osad ściekowy z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków komunalnych w Siedlcach. Utworzono następujące obiekty badawcze: O – gleba (obiekt kontrolny); I – gleba + 10 % świeżej masy obornika bydlęcego w stosunku do masy gleby; II – gleba + 10 % św. m. osadu ściekowego; III – gleba + 20 % św.m. osadu ściekowego; IV – gleba + 30 % św. m. osadu ściekowego.

Zawartość ogólna Zn, Cu i Cr w oborniku bydlęcym wynosiła odpowiednio: 114,7; 9,80 i 2,12 mg · kg⁻¹ świeżej masy, (przy zawartości s.m. 25 %) a w osadzie ściekowym odpowiednio: 252,0; 20,2 i 4,18 mg · kg⁻¹, (przy zawartości s.m. 20 %).

Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w trzech powtórzeniach, a rośliną testową była życica wielokwiatowa *Lolium multiflorum* (Lam.). W czasie trzech lat eksperymentu zebrano po 4 odrosty (pokosy) trawy rocznie, w odstępach 30 dniowych (w sumie 12 pokosów). Po zbiorze czwartego odrostu trawy, w każdym roku prowadzenia doświadczenia, pobrano próbki glebowe, które po odpowiednim przygotowaniu posłużyły do analiz.

W próbkach glebowych oraz roślinnych (pobranych z każdego odrostu – pokosu) po odpowiednim przygotowaniu oznaczono całkowitą zawartość Zn, Cu i Cr metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z indukcyjnie wzbudzoną plazmą (ICP- AES), aparatem firmy Perkin Elmer – Optima 3200RL. Wyniki dotyczące plonu suchej masy życicy wielokwiatowej uzyskane w tym doświadczeniu przez Wiśniewską i Kalembasę (w druku) oraz oznaczona zawartość badanych metali pozwoliły na obliczenie pobrania tych pierwiastków przez biomasę testowanej trawy. Istotność różnic dla średnich zawartości badanych metali ciężkich w zebranych plonie oceniono stosując analizę wariancji (test Fishera – Snedecora), a wartość NIR testem Tukey'a.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Zawartość cynku w biomacie życicy wielokwiatowej uprawianej w trzyletnim doświadczeniu wazonowym była istotnie zróżnicowana pod wpływem stosowanego nawożenia w każdym roku prowadzenia badań, o czym świadczą obliczone wartości NIR (tab. 1). Największą zawartość cynku (średnio z czterech pokosów) w pierwszym roku badań zanotowano w plonie biomasy uprawianej trawy na obiekcie nawożonym osadem ściekowym w ilości 20% świeżej masy ($154,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), w drugim i trzecim w trawie z obiektu nawożonego osadem w ilości 30% ś.m. (odpowiednio: $151,2$ i $51,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Najmniejsze ilości cynku w ciągu trzech lat badań stwierdzono w trawie zebranej z obiektu kontrolnego (odpowiednio: $70,4$, $46,4$ i $31,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Średnie zawartości cynku w każdym roku doświadczenia były wyższe w testowanej trawie uprawianej na osadzie ściekowym, niż uprawianej na oborniku.

Najwięcej (sumarycznie z czterech pokosów) cynku (tab. 2) w każdym roku badań pobrała biomasa trawy z obiektu gdzie zastosowano 20% osadu ściekowego (odpowiednio: $7,90$; $6,07$ i $2,06 \text{ mg} \cdot \text{wazon}^{-1}$), najmniej natomiast trawa z obiektu kontrolnego (odpowiednio: $0,59$, $1,29$ i $0,51 \text{ mg} \cdot \text{wazon}^{-1}$).

Znacznie większe ilości cynku pobrała uprawiana trawa z obiektów nawożonych osadem ściekowym niż obornikiem zastosowanym jako standard.

Wzrastające dawki nawożenia powodowały zwiększenie kumulacji tego metalu w życicy wielokwiatowej. Kopeć, Gondek [18], Rogóż [19] uzyskali niższe zawartości cynku w życicy niż wartości uzyskane w niniejszej pracy. Kabata-Pendias, Pendias [13] podają średnią zawartość cynku dla traw mieszczącą się w przedziale $3,7$ - $292 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. W innych badaniach Kabaty-Pendias i in. [12] naturalna zawartość cynku w roślinach mieści się w przedziale 10 - $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, w zależności od gatunku rośliny.

Zawartość miedzi w biomacie życicy wielokwiatowej uprawianej w trzyletnim doświadczeniu wazonowym była istotnie zróżnicowana pod wpływem stosowanego nawożenia w pierwszym i drugim roku prowadzenia badań, czego dowodzą obliczone wartości NIR (tab. 3). Największą zawartość (średnio z czterech pokosów) w każdym roku badań zanotowano w plonie biomasy uprawianej trawy na obiekcie nawożonym osadem ściekowym w ilości 30% świeżej masy (odpowiednio: I – $23,0$; II – $23,4$ i III – $8,32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), najmniejsze ilości cynku w ciągu trzech lat badań stwierdzono w trawie zebranej z obiektu kontrolnego (odpowiednio: $10,8$; $9,03$ i $3,49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

W pierwszym roku prowadzenia eksperymentu zawartość miedzi w biomacie zebranej trawy z obiektu nawożonego obornikiem była większa ($19,9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), niż w trawie z obiektu gdzie zastosowano osad ściekowy w ilości 10% ś.m. w stosunku do masy gleby. W roku drugim i trzecim ilość miedzi oznaczona w trawie nawożonej obornikiem (II – $16,8$ i III – $6,30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), była niższa niż w trawie zebranej z obiektów z 10% udziałem osadu ściekowego (odpowiednio: $20,0$ i $7,09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Zawartości miedzi w biomacie badanej trawy z obiektów nawożonych osadem ściekowym zwiększała się wraz ze wzrostem udziału osadu ściekowego.

Najwięcej miedzi (suma z pokosów) w pierwszym roku badań (tab. 4) pobrała biomasa trawy z obiektu gdzie zastosowano 30% osadu ściekowego ($1,19 \text{ mg} \cdot \text{wazon}^{-1}$); w drugim i trzecim na obiektach z 20% udziałem osadu ściekowego (II – $1,03$ i III – $0,35 \text{ mg} \cdot \text{wazon}^{-1}$). Znacznie większe pobranie miedzi przez biomasę testowanej trawy zanotowano na obiektach gdzie stosowano wzrastające dawki osadu ściekowego, niż w biomacie trawy nawożonej obornikiem.

Zawartość chromu (średnia z pokosów) w biomacie życicy wielokwiatowej uprawianej w trzyletnim doświadczeniu wazonowym nie wykazała istotnego zróżnicowania pod wpływem stosowanego nawożenia, jak również w zależności od zbieranego pokosu w każdym roku prowadzenia badań, o czym świadczą obliczone wartości NIR (tab. 5). Największą zawartość (średnio z czterech pokosów) w pierwszym roku badań zanotowano w plonie biomasy uprawianej trawy na obiekcie nawożonym osadem ściekowym w ilości 30% świeżej masy $0,53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, w drugim ($0,50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) w trawie z obiektu nawożonego osadem w ilości 20% ś.m. a w trzecim ($0,40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) w biomacie trawy z 10% udziałem osadu ściekowego. Najmniejsze ilości chromu w pierwszym roku badań stwierdzono w trawie z obiektu z 10% udziałem obornika ($0,36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), w drugim roku z obiektu gdzie zastosowano 10% osadu ściekowego ($0,38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), a w trzecim w trawie z obiektu kontrolnego ($0,19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Zwiększenie udziału osadu ściekowego w pierwszym roku badań wpłynęło na zwiększenie zawartości chromu w plonie zebranej trawy, w roku drugim i trzecim nie zaobserwowano jednoznacznego wpływu stosowanego osadu ściekowego na zawartość tego metalu w testowanej roślinie.

Średnia z trzech lat zawartości chromu w biomacie testowanej trawy uprawianej na osadzie ściekowym była większa na obiektach nawożonych każdą dawką osadu ściekowego (10%, 20% i 30%), niż uprawianej na oborniku w ilości 10% ś. m.

Najwięcej (sumarycznie z czterech pokosów) chromu (tab. 6) w pierwszym roku badań pobrała biomasa trawy z obiektu gdzie zastosowano 30% osadu ściekowego ($0,0284 \text{ mg} \cdot \text{wazon}^{-1}$), w drugim i trzecim (odpowiednio: $0,0237$ i $0,0133 \text{ mg} \cdot \text{wazon}^{-1}$), z obiektu z 20% udziałem osadu ściekowego; najmniej natomiast trawa z obiektu kontrolnego (odpowiednio: $0,0042$; $0,008$ i $0,0032 \text{ mg} \cdot \text{wazon}^{-1}$). W sumie z trzech lat prowadzenia doświadczenia nieco większe ilości chromu pobrała uprawiana trawa z obiektów nawożonych osadem ściekowym niż obornikiem zastosowanym jako standard.

W próbkach glebowych pobranych w każdym roku po zbiorze ostatniego pokosu trawy oznaczono zawartości cynku, miedzi i chromu, co przedstawia tab. 7.

Największą kumulację cynku w każdym roku badań stwierdzono w próbkach glebowych pobranych z obiektu z 30% udziałem osadu ściekowego (odpowiednio: $189,7$; $162,4$ i $159,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), najmniejszą natomiast z obiektu kontrolnego ($168,5$, $154,5$ i $147,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Średnia z trzech lat zawartość cynku wskazuje na zwiększenie kumulacji tego metalu w glebie pod wpływem zwiększenia udziału osadu ściekowego w porównaniu do obornika.

Tabela 1. Zawartość (mg · kg⁻¹ of s.m.) cynku w biomasie życiicy wielokwiatowej
Table 1. The content (mg · kg⁻¹ of D.M.) of zinc in the biomass of Italian ryegrass

| Lata Pokosy Obiekty nawozowe | I | | | | II | | | | III | | | | Średnia z trzech lat | | | |
|------------------------------------|---|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|---|-------|------|------|----------------------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | Śr. | I | II | III | IV | Śr. | I | II | | III | IV | Śr. |
| | Obiekt kontrolny | 70,3 | 68,5 | 69,5 | 73,5 | 70,4 | 50,5 | 49,8 | 44,9 | 40,6 | 46,4 | 31,2 | | 33,1 | 29,8 | 31,5 |
| Gleba + 10 % obornika | 115,2 | 124,0 | 119,0 | 117,6 | 118,9 | 98,7 | 97,5 | 96,4 | 85,3 | 94,5 | 60,5 | 58,9 | 52,8 | 42,0 | 53,5 | |
| Gleba + 10 % osadu ściek. | 125,0 | 129,5 | 132,7 | 135,1 | 130,6 | 124,1 | 129,0 | 117,9 | 106,7 | 119,4 | 45,9 | 44,9 | 30,5 | 29,7 | 37,7 | |
| Gleba + 20 % osadu ściek. | 156,8 | 142,3 | 174,8 | 143,9 | 154,4 | 139,4 | 131,5 | 129,4 | 118,5 | 129,7 | 56,8 | 55,0 | 46,3 | 38,5 | 49,1 | |
| Gleba + 30 % osadu ściek. | 160,5 | 120,5 | 129,9 | 130,7 | 135,4 | 154,6 | 151,2 | 152,3 | 146,5 | 151,2 | 60,1 | 55,9 | 49,7 | 40,9 | 51,6 | |
| Średnia z obiektów | 125,6 | 116,9 | 125,2 | 120,2 | 121,9 | 113,5 | 11,8 | 108,2 | 99,5 | 108,2 | 50,9 | 49,6 | 41,8 | 36,5 | 44,7 | |
| NIR _{0,05} | A = 26,7 B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = 51,3 B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = 19,2 B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = n.i. B/A = n.i. | | | |

* A – nawożenie; B – pokosy

Tabela 2. Pobranie (mg · kg⁻¹ s.m.) cynku przez biomasę życiicy wielokwiatowej
Table 2. The uptake [g · pot⁻¹ D.M.] of zinc by biomass of Italian ryegrass

| Lata Pokosy Obiekty nawozowe | I | | | | II | | | | III | | | | Suma z trzech lat | | | |
|------------------------------------|---|------|------|------|---|------|------|------|---|------|------|------|---------------------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | Suma | I | II | III | IV | Suma | I | II | | III | IV | Suma |
| | Obiekt kontrolny | 0,34 | 0,18 | 0,05 | 0,01 | 0,59 | 0,34 | 0,52 | 0,26 | 0,17 | 1,29 | 0,15 | | 0,17 | 0,10 | 0,09 |
| Gleba + 10 % obornika | 1,26 | 1,48 | 0,63 | 0,35 | 3,71 | 1,37 | 1,12 | 0,81 | 0,43 | 3,74 | 0,54 | 0,56 | 0,37 | 0,17 | 1,64 | |
| Gleba + 10 % osadu ściek. | 1,82 | 2,14 | 0,94 | 0,32 | 5,23 | 1,63 | 1,44 | 0,95 | 0,52 | 4,55 | 0,43 | 0,36 | 0,19 | 0,12 | 1,09 | |
| Gleba + 20 % osadu ściek. | 2,34 | 2,63 | 2,10 | 0,83 | 7,90 | 2,59 | 1,38 | 1,35 | 0,75 | 6,07 | 0,87 | 0,67 | 0,33 | 0,19 | 2,06 | |
| Gleba + 30 % osadu ściek. | 2,39 | 2,06 | 1,44 | 0,76 | 6,65 | 2,57 | 1,07 | 1,29 | 0,60 | 5,53 | 0,83 | 0,50 | 0,31 | 0,15 | 1,79 | |
| Średnia z obiektów | 1,63 | 1,70 | 1,03 | 0,46 | 4,82 | 1,70 | 1,11 | 0,93 | 0,50 | 4,24 | 0,57 | 0,45 | 0,26 | 0,14 | 1,42 | |
| NIR _{0,05} | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = n.i. B/A = n.i. | | | |

* A – nawożenie; B – pokosy

Tabela 3. Zawartość ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of s.m.) miedzi w biomasie żyłcy wielokwiatowej
Table 3. The content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of D.M.) of copper in the biomass of Italian ryegrass

| Lata Pokosy Obiekty nawozowe | I | | | | II | | | | III | | | | Średnia z trzech lat | | |
|------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|------|------|
| | I | II | III | IV | Śr. | I | II | III | IV | Śr. | I | II | | III | IV |
| Obiekt kontrolny | 13,9 | 10,5 | 9,38 | 9,68 | 10,8 | 10,9 | 9,25 | 8,98 | 7,01 | 9,03 | 4,95 | 3,09 | 3,00 | 2,95 | 3,49 |
| Gleba + 10 % obornika | 20,5 | 21,5 | 19,8 | 17,9 | 19,9 | 18,6 | 17,4 | 15,9 | 15,3 | 16,8 | 6,85 | 7,12 | 5,98 | 5,26 | 6,30 |
| Gleba + 10 % osadu ściek. | 24,6 | 16,9 | 15,6 | 15,3 | 18,1 | 20,9 | 20,2 | 19,8 | 19,1 | 20,0 | 9,59 | 7,78 | 6,52 | 4,47 | 7,09 |
| Gleba + 20 % osadu ściek. | 25,4 | 21,8 | 16,9 | 16,8 | 20,2 | 23,7 | 23,8 | 20,5 | 20,1 | 22,0 | 11,8 | 8,24 | 6,45 | 4,93 | 7,85 |
| Gleba + 30 % osadu ściek. | 26,1 | 27,6 | 19,5 | 18,9 | 23,0 | 24,5 | 23,5 | 23,9 | 21,8 | 23,4 | 12,1 | 8,95 | 7,04 | 5,21 | 8,32 |
| Średnia z obiektów | 22,1 | 19,6 | 16,2 | 15,7 | 18,4 | 19,7 | 18,8 | 17,8 | 16,6 | 18,2 | 9,05 | 7,04 | 5,79 | 4,56 | 6,61 |
| NIR _{0,05} | A = 8,96 B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. A = 3,68 B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | | | | | | | | | | | |

* A – nawożenie; B – pokosy

Tabela 4. Pobranie ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) miedzi przez biomasę żyłcy wielokwiatowej
Table 4. The uptake ($\text{g} \cdot \text{pot}^{-1}$ D.M.) of copper by biomass of Italian ryegrass

| Lata Pokosy Obiekty nawozowe | I | | | | II | | | | III | | | | Suma z trzech lat | | |
|------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|------|------|
| | I | II | III | IV | Suma | I | II | III | IV | Suma | I | II | | III | IV |
| Obiekt kontrolny | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,10 | 0,07 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 0,25 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,06 |
| Gleba + 10 % obornika | 0,22 | 0,26 | 0,10 | 0,05 | 0,64 | 0,26 | 0,20 | 0,13 | 0,08 | 0,67 | 0,06 | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,19 |
| Gleba + 10 % osadu ściek. | 0,36 | 0,28 | 0,11 | 0,04 | 0,78 | 0,27 | 0,23 | 0,16 | 0,09 | 0,75 | 0,09 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 0,21 |
| Gleba + 20 % osadu ściek. | 0,38 | 0,40 | 0,20 | 0,10 | 1,08 | 0,44 | 0,25 | 0,21 | 0,13 | 1,03 | 0,18 | 0,10 | 0,05 | 0,02 | 0,35 |
| Gleba + 30 % osadu ściek. | 0,39 | 0,47 | 0,22 | 0,11 | 1,19 | 0,41 | 0,17 | 0,20 | 0,09 | 0,87 | 0,17 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 0,31 |
| Średnia z obiektów | 0,28 | 0,29 | 0,13 | 0,06 | 0,76 | 0,29 | 0,19 | 0,15 | 0,08 | 0,71 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 0,22 |
| NIR _{0,05} | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | | | | | | | | | | | |

* A – nawożenie; B – pokosy

Tabela 5. Zawartość ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of s.m.) chromu w biomasie życiicy wielokwiatowej
Table 5. The content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of D.M.) of chromium in the biomass of Italian ryegrass

| Lata Pokosy Obiekty nawozowe | I | | | | II | | | | III | | | | Średnia z trzech lat | | | |
|------------------------------------|---|------|------|------|---|------|------|------|---|------|------|------|----------------------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | Śr. | I | II | III | IV | Śr. | I | II | | III | IV | Śr. |
| | Obiekt kontrolny | 0,52 | 0,49 | 0,37 | 0,35 | 0,43 | 0,44 | 0,40 | 0,38 | 0,34 | 0,39 | 0,23 | | 0,19 | 0,21 | 0,13 |
| Gleba + 10 % obornika | 0,39 | 0,41 | 0,35 | 0,31 | 0,36 | 0,49 | 0,48 | 0,52 | 0,34 | 0,46 | 0,29 | 0,31 | 0,22 | 0,19 | 0,25 | 0,36 |
| Gleba + 10 % osadu ściek. | 0,48 | 0,54 | 0,29 | 0,31 | 0,40 | 0,51 | 0,38 | 0,35 | 0,29 | 0,38 | 0,31 | 0,29 | 0,44 | 0,56 | 0,40 | 0,39 |
| Gleba + 20 % osadu ściek. | 0,59 | 0,63 | 0,31 | 0,28 | 0,45 | 0,56 | 0,58 | 0,41 | 0,46 | 0,50 | 0,21 | 0,35 | 0,45 | 0,54 | 0,38 | 0,44 |
| Gleba + 30 % osadu ściek. | 0,65 | 0,71 | 0,42 | 0,33 | 0,53 | 0,55 | 0,54 | 0,33 | 0,31 | 0,43 | 0,35 | 0,41 | 0,33 | 0,46 | 0,39 | 0,45 |
| Średnia z obiektów | 0,53 | 0,56 | 0,35 | 0,32 | 0,44 | 0,51 | 0,47 | 0,39 | 0,35 | 0,43 | 0,28 | 0,31 | 0,33 | 0,38 | 0,32 | 0,39 |
| LSD _{0,05} | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = 0,24 B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | | | | |

* A – nawożenie; B – pokosy

Tabela 6. Pobranie ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) chromu przez biomasę życiicy wielokwiatowej
Table 6. The uptake [$\text{g} \cdot \text{pot}^{-1}$ D.M.] of chromium by biomass of Italian ryegrass

| Lata Pokosy Obiekty nawozowe | I | | | | II | | | | III | | | | Suma z trzech lat | | | |
|------------------------------------|---|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|
| | I | II | III | IV | Suma | I | II | III | IV | Suma | I | II | | III | IV | Suma |
| | Obiekt kontrolny | 0,0025 | 0,0013 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0042 | 0,0030 | 0,0042 | 0,0022 | 0,0015 | 0,0108 | 0,0011 | | 0,0010 | 0,0007 | 0,0004 |
| Gleba + 10 % obornika | 0,0043 | 0,0049 | 0,0019 | 0,0009 | 0,0119 | 0,0068 | 0,0055 | 0,0044 | 0,0017 | 0,0184 | 0,0026 | 0,0029 | 0,0015 | 0,0008 | 0,0078 | 0,0382 |
| Gleba + 10 % osadu ściek. | 0,0070 | 0,0089 | 0,0021 | 0,0007 | 0,0187 | 0,0067 | 0,0043 | 0,0028 | 0,0014 | 0,0152 | 0,0029 | 0,0023 | 0,0027 | 0,0022 | 0,0101 | 0,0440 |
| Gleba + 20 % osadu ściek. | 0,0088 | 0,0117 | 0,0037 | 0,0016 | 0,0258 | 0,0104 | 0,0061 | 0,0043 | 0,0029 | 0,0237 | 0,0032 | 0,0042 | 0,0032 | 0,0026 | 0,0133 | 0,0628 |
| Gleba + 30 % osadu ściek. | 0,0097 | 0,0121 | 0,0047 | 0,0019 | 0,0284 | 0,0091 | 0,0038 | 0,0028 | 0,0013 | 0,0170 | 0,0049 | 0,0036 | 0,0021 | 0,0016 | 0,0122 | 0,0577 |
| Średnia z obiektów | 0,0065 | 0,0078 | 0,0025 | 0,0011 | 0,0178 | 0,0072 | 0,0048 | 0,0033 | 0,0018 | 0,0170 | 0,0029 | 0,0028 | 0,0021 | 0,0015 | 0,0093 | 0,0442 |
| NIR _{0,05} | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | | | | | |

* A – nawożenie; B – pokosy

Tabela 7. Zawartość (mg · kg⁻¹ s.m.) cynku, miedzi i chromu w glebie w ciągu trzech lat doświadczenia wazonowego
Table 7. The content (mg · kg⁻¹ s.m.) zinc, copper and chromium in soil during three years pot experiment

| Pierwiastek Lata Obiekty nawozowe | Zn | | | Cu | | | Cr | | | | | |
|---|---|-------|-------|---|------|------|---|---------|------|---|------|---------|
| | I | II | III | Średnia | I | II | III | Średnia | I | II | III | Średnia |
| Obiekt kontrolny | 168,5 | 154,5 | 147,8 | 156,9 | 9,58 | 8,64 | 6,97 | 8,39 | 7,21 | 6,33 | 6,95 | 6,83 |
| Gleba + 10 % obornika | 179,7 | 160,1 | 148,4 | 162,7 | 9,71 | 7,52 | 8,74 | 8,65 | 6,95 | 7,21 | 5,96 | 6,71 |
| Gleba + 10 % osadu ściek. | 182,5 | 159,7 | 150,6 | 164,3 | 9,41 | 7,98 | 7,54 | 8,31 | 6,28 | 6,85 | 5,26 | 6,13 |
| Gleba + 20 % osadu ściek. | 186,9 | 158,5 | 148,5 | 164,6 | 8,46 | 7,42 | 7,36 | 7,75 | 5,83 | 5,85 | 4,98 | 5,55 |
| Gleba + 30 % osadu ściek. | 189,7 | 162,4 | 159,7 | 170,6 | 8,99 | 6,97 | 6,85 | 7,60 | 5,44 | 5,47 | 4,65 | 5,19 |
| Średnia z obiektów | 181,5 | 159,0 | 151,0 | 163,8 | 9,23 | 7,70 | 7,49 | 8,14 | 6,34 | 6,34 | 5,56 | 6,08 |
| NIR _{0,05} | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | | A = n.i. B = n.i. A/B = n.i. B/A = n.i. | | |

Zawartość ogólna cynku w utworze glebowym (tab. 7) po zakończeniu pierwszego roku eksperymentu, bezpośrednio po zastosowaniu zróżnicowanych dawek osadu ściekowego wzrastała wraz z nawożeniem i była wyższa od wartości podawanych przez Kabatę-Pendias, Pendiasa [13] dla nie zanieczyszczonych gleb Polski. Według Spiak [22], Terelaka i in. [24], Kabaty-Pendias [11], Gambusia i in. [7] oraz Barana i in. [4] znaczącym źródłem zanieczyszczenia gleb cynkiem może być nawozowe stosowanie osadów ściekowych i odpadów. Ogólna zawartość cynku w glebie utrzymywała się na zbliżonym poziomie do końca trwania eksperymentu.

Największą kumulację miedzi (średnia z trzech lat) zanotowano na obiektach z obornikiem ($8,65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), a najmniejszą na obiekcie z 30% udziałem osadu ściekowego ($7,60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Oznaczona zawartość miedzi w utworze glebowym wskazuje na zmniejszenie ilości tego pierwiastka wraz ze wzrostem udziału osadu ściekowego, co można tłumaczyć pobraniem tego pierwiastka przez biomasę uprawianej trawy. Oznaczone ilości miedzi w badanej glebie znajdują odzwierciedlenie w badaniach przeprowadzonych przez Iżewską i in. [10] oraz Terelaka i in. [24].

Podobną tendencję zauważono w przypadku chromu, więcej tego pierwiastka stwierdzono w glebie nawożonej obornikiem ($6,71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), najmniej na obiekcie z 30% dodatkiem osadu ściekowego ($5,19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Otrzymane wyniki badań własnych zamieszczone w niniejszej pracy potwierdzają wyniki podobnych badań prowadzonych przez Terelaka i in. [24] oraz Iżewską i in. [10].

WNIOSKI

1. Stosowane dawki osadów (10, 20 i 30% w stosunku do masy gleby) w doświadczeniu wazonowym spowodowały istotne zróżnicowanie zawartości cynku w trzyletnim cyklu badań, podczas gdy zawartość miedzi była istotnie zróżnicowana tylko w I i II roku badań.
2. Średnie zawartości cynku, miedzi i chromu w roślinie, jak i pobranie tych metali ciężkich przez testowaną trawę w każdym roku doświadczenia zwiększało się wraz ze wzrostem dawki osadu ściekowego.
3. Średnia z trzech lat zawartość cynku w glebie wskazuje na zwiększenie kumulacji tego metalu pod wpływem zwiększenia udziału osadu ściekowego, natomiast zawartość miedzi i chromu wskazuje na zmniejszenie ilości tego pierwiastka wraz ze wzrostem udziału osadu ściekowego, co można tłumaczyć większym pobraniem tego pierwiastka przez biomasę uprawianej trawy.

PIŚMIENNICTWO

1. Baran S. 2001. Metale ciężkie w glebach. [W:] Ocena stanu degradacji i rekultywacji gleb. Wyd. AR w Lublinie: 106-126.
2. Baran S., Flis-Bujak M., Żukowska G., Kwiecień J., Pietrasik W., Kępczyński A. 1998. Zmiany fizykochemicznych właściwości gleby lekkiej użyźnionej osadem ściekowym i wermikompostem osadowym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 456: 515-523.

3. Baran S., Turski R. 1999. Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów. Wyd. AR, Lublin: 336 ss.
4. Baran S., Turski R., Flis – Bujak M., Kwiecień J., Pietrasik W., Żukowska G., Szczepanowska I. 1996. Zmiany zawartości ołowiu i cynku w glebie lekkiej użyźnionej odpadami komunalnymi. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 437: 39-44.
5. Bień J. B., Bień J. D., Matysiak B., Kuzior A. 1997. Zagospodarowanie i utylizacja niektórych osadów ściekowych. [W:] Osady ściekowe, odpad czy surowiec? Konf. Częstoch. 16: 130-138.
6. Czekąła J.: 1999. Osady ściekowe źródłem materii organicznej i składników pokarmowych. Fol. Univ. Agric. Stetin. 200, Agricultura 77: 33-38.
7. Gambuś F., Rak M., Wieczorek J. 2000. Ocena możliwości akumulacji cynku w glebach regionu krakowskiego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 472: 259-265.
8. Grzywnowicz I., Strutyński J. 1999. Zmiany niektórych właściwości chemicznych gleby po zastosowaniu osadów ściekowych do celów nawozowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 467 (I): 299-306.
9. Grzywnowicz I., Strutyński J. 2000. Rolnicze zagospodarowanie osadów ściekowych jako źródło zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 472: 297-304.
10. Iżewska A., Krzywy E., Wołoszyk Cz., Balcer K. 2006. Zawartość metali ciężkich w glebie lekkiej w trzecim roku po zastosowaniu osadu ściekowego i kompostów wyprodukowanych z osadu ściekowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 512: 173-181.
11. Kabata-Pendias A. 2002. Biogeochemia cynku. Cynk w środowisku - problemy ekologiczne i metodyczne. Zesz. Nauk. Komitetu „Człowiek i środowisko”, PAN, Warszawa, 33: 11-18.
12. Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T. 1995. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla środowiska, Puławy, 14 ss.
13. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
14. Kalembsa S., Kalembsa D. 1997. Wybrane chemiczne i biologiczne metody przeróbki osadów ściekowych. Biotechnologia 1 (36): 45-51.
15. Kalembsa S., Kalembsa D., Kania R. 2001. Wartość nawozowa osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni ścieków regionu siedleckiego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 475:279-286.
16. Kalembsa S., Pakuła K., Becher K. 1999. Zawartość makro i mikropierwiastków w osadach ściekowych, produkowanych na wybranych oczyszczalniach regionu siedleckiego. Fol. Univ. Agric. Stetin. 200, Agricultura 77: 125-128.
17. Kalembsa S., Wysokiński A. 2004. Zawartość wybranych mikroelementów w osadach ściekowych świeżych i kompostowanych z dodatkiem popiołu z węgla brunatnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 502: 819-824.
18. Kopeć M., Gondek K. 2000. Dynamika zmian zawartości pierwiastków śladowych w okresie wegetacji runi łąkowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 482:293-299.
19. Rogóż A. 2002. Zawartość i pobranie pierwiastków śladowych przez rośliny przy zmiennym odczynie gleby. Cz. I. Zawartość i pobranie miedzi, cynku oraz manganu przez rośliny. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 482: 439-451.
20. Rozporządzenie 2002. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dn. 1 sierpnia 2002 roku. Dz.U.Nr 134, poz. 1140.
21. Siuta J. 1999. Sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. [W:] Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Konf. Nauk.-Tech., Świnoujście: 9-11.
22. Spiak Z. 1993. Badania nad określeniem szkodliwej dla roślin uprawnych zawartości cynku w glebach. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rozpr. hab. 121, 88 ss.
23. Szulc W., Rutkowska B. 2002. Ocena możliwości wykorzystania w rolnictwie osadu ściekowego z miejskiej oczyszczalni ścieków. Acta Agrophysica, 70 (1): 317-323.

24. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Pietruch Cz. 2000. Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. Bibl. Monitor. Środ. IOŚ, Warszawa, ss. 69.
25. Wiśniewska B., Kalembasa D. 2011. The influence of waste activated doses on the yield of *Lolium multiflorum* lam. And the content of nitrogen in the biomass and soil. Nawozy i Nawożenie (w druku).

THE INFLUENCE OF WASTE ACTIVATED SLUDGE DOSES ON THE CONTENT AND UPTAKE Zn, Cu AND Cr BY ITALIAN RYEGRASS BIOMASS AND ACUMULATIOM THESE METALS IN SOIL

Abstract. The influence of varied sewage sludge doses and FYM on the content and uptake Zn, Cu and Cr of Italian ryegrass, as well as accumulation these metals in a soil after three years of a pot experiment, was investigated.

Fertilization with different doses of waste activated sludge and FYM significantly differentiated the content of Zn in biomass of tested plant during all years of experiment and Cu in first and second year. The content of investigated heavy metals in the biomass of tested grass increased along with the doses of sewage sludge and it was much higher than due to manure. After three experimental years, higher zinc accumulation in the soil was observed, which resulted from elevated doses of sewage sludge. The accumulation of copper and chromium was lowest in objects with 30% waste activated sludge than the object with addition 10%, that was explain bigger uptake these metals by biomass tested grass.

Keywords: heavy metals, *Lolium multiflorum*, waste activated sludge, pot experiment.