

Marzena GIBCZYŃSKA¹, Sławomir STANKOWSKI², Jacek MAZUR³,
Leokadia LEWANDOWSKA¹

ZAWARTOŚĆ CYNKU I MIEDZI W TRAWIE *FESTULOLIUM BRAUNII* I PODŁOŻACH WYKONANYCH Z POPIOŁÓW Z WĘGLA WZBOGACONYCH MATERIĄ ORGANICZNĄ I AKTYWNYMI MIKROORGANIZAMAMI

ZINK AND COPPER CONTENT IN *FESTULOLIUM BRAUNII* GRASS AND IT'S BEDDINGS COMPOSED OF COAL ASH AND ENRICHED WITH ORGANIC MATTER AND ACTIVE MICROORGANISMS

¹ Zakład Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Juliusza Słowackiego 17, 71-434 Szczecin, e-mail: marzena.gibczynska@zut.edu.pl

² Katedra Agronomii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Juliusza Słowackiego 17, 71-434 Szczecin

³ Katedra Inżynierii Sanitarnej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
al. Piastów 50, 70-310 Szczecin

Abstract. The aim of this study was to assess the possibility of recultivation of coal fluidal ashes by combining them with fermented sewage sludge, straw, and active microorganisms (EM-1). In the three-year study with *Festulolium braunii* (v. Felopa) copper and zinc content were investigated in beddings and grass. The following components were used in the experiment: light soils, fluidal ash from CHP Żerań, wheat straw, municipal sewage sludge. As factors activating biochemical processes the following substances were used: active microorganisms EM-1 and ceramic powder EM-X. The addition of sewage sludge in combination with wheat straw to beddings constructed on the basis of soil and ash increased zinc content, especially in the first year of the experiments. The addition of sewage sludge and straw to the beddings with the soil was the main factor responsible for increase copper content in the beddings. The amount of copper was not exceeded of the limit typical for the soil. Introduction EM-1 to the beddings has not impact on the zinc and copper content in the beddings. The results indicate the possibility to use of municipal sewage sludge as a fertilizer or/and for the recultivation purposes.

Słowa kluczowe: aktywne mikroorganizmy, cynk, *Festulolium*, miedź, osad ściekowy, popiół fluidalny.

Key words: active microorganisms, copper and zinc, *Festulolium*, fluidal ash, sewage sludge.

WSTĘP

Osady ściekowe, powstające w procesach oczyszczania ścieków komunalnych, stanowią materiał, który można wykorzystać do rekultywacji terenów zdegradowanych, pod warunkiem, że spełniają wymogi określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Rolnicze użycie osadów ściekowych jest dopuszczalne,

jeśli zawartość cynku i miedzi nie przekroczy odpowiednio 2500 i 1000 mg · kg⁻¹ s.m. osadu. Do rekultywacji terenów wykorzystywanych na cele nierolne wartości te są wyższe i wynoszą odpowiednio 3500 i 1200 mg · kg⁻¹ s.m. osadu (DzU z 2010 nr 137 poz. 924).

Popioły fluidalne, powstałe ze spalania węgla kamiennego, są materiałem bezszkieletowym i charakteryzują się brakiem substancji organicznej i azotu, co wskazuje na konieczność stosowania ich do celów rolniczych w połączeniu z materiałami bogatymi w składniki organiczne, jakimi mogą być osady ściekowe.

Ogólnie osady ściekowe charakteryzują się większą zawartością cynku aniżeli miedzi (Krzywy i Iżewska 2004, Shrivastava i Banerjee 2004). Dopuszczalne rodzaje zanieczyszczeń występujących w nawozach oraz środkach wspomagających uprawę roślin określa Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. (DzU nr 119, poz. 765). Jednakże w rozporządzeniu tym nie podano dopuszczalnych zawartości miedzi i cynku. W przypadku stosowania osadów ściekowych do celów rekultywacyjnych, ważna jest analiza przemian tych metali ciężkich. Jony miedzi w większym stopniu niż cynku adsorbowane są przez materiał glebowy (Evans 1994). Gawdzik (2010) na podstawie badań opartych na specjacji metali ciężkich w osadzie ściekowym podaje, że sumaryczna zawartość jonów danego metalu w osadzie ściekowym nie jest równoznaczna z możliwością jego uwolnienia do środowiska gruntowo-wodnego, natomiast bardzo ważna jest forma jego występowania.

Zawartość cynku w glebie waha się od 10 do 300 mg · kg⁻¹ (Krzywy 2007). Dostępność cynku uzależniona jest od wartości pH oraz jego ogólnego cynku w glebie. Zawartość cynku spada wraz ze wzrostem pH. Zaletą stosowania osadów ściekowych jest to, że powodują obniżenie alkalicznego odczynu, (pH 9–13), co w efekcie zwiększa dostępność cynku dla roślin (Czekala 2009). Zawartość cynku w osadach ściekowych kształtuje się w zakresie 541 ÷ 9824 mg · kg⁻¹ s.m. (Siebielec i Stuczyński 2008). Rośliny przyswajają cynk głównie w postaci jonów Zn²⁺. Cynk aktywuje liczne enzymy bądź jest ich składnikiem, przez co wpływa na przemianę materii roślin. Cynk może być akumulowany w roślinach nawet w dużych ilościach (ponad 1%), bez wyraźnych objawów toksycznego działania (Porębska i Gworek 1999). Średnia koncentracja cynku w trawach wynosi 23,6 mg Zn · kg⁻¹ s.m. (Falkowski i in. 2000).

Dopuszczalna zawartość miedzi wynosi dla gleb lekkich 50 mg · kg⁻¹ suchej masy (Monitor Polski 1986). W glebach najczęściej spotyka się w formie jonów Cu⁺². Podlega ona silnej sorpcji przez substancję organiczną i minerały ilaste. Związki organiczne wprowadzane do gleb z odpadami organicznym zwiększają mobilność miedzi.

Siuta (2002) podaje, że zawartość miedzi w osadach ściekowych jest w granicach 0,3–1340 mg · kg⁻¹ s.m. osadów (średnio około 200 mg). Jednak w większości przypadków zawartość miedzi rzadko przekracza 800 mg Cu · kg⁻¹ s.m., czyli wartość klasyfikującą osad do rolniczego użytkowania (Wilk i Gworek 2009).

Rośliny pobierają miedź za pomocą korzeni oraz części nadziemnych w formie Cu⁺² oraz związków chelatowych. Według Falkowskiego i in. (2000), przeciętna zawartość miedzi w trawach jest wyraźnie uzależniona od rodzaju gleby i ustalonych norm. Za ilość pokrywającą zapotrzebowanie zwierząt na miedź przyjmuje się 10 mg Cu · kg⁻¹ s.m. paszy.

Celem prowadzonych badań była ocena możliwości wykorzystania do rekultywacji popiołów fluidalnych z węgla kamiennego przez połączenie ich z przefermentowanym osadem ściekowym, słomą i preparatem efektywne mikroorganizmy (EM-1). Na podstawie wyników z trzyletniego doświadczenia z *Festulolium braunii* odmiany Felopa analizowano wpływ zastosowanych w doświadczeniu czynników na kształtowanie się zawartości cynku i miedzi w podłożach i trawie.

MATERIAŁ I METODY

Warunki prowadzenia doświadczenia wazonowego

W latach 2007–2009 przeprowadzono doświadczenie wazonowe z trawą (*Festulolium braunii* odmiany Felopa), którą zlokalizowano we wsi Dębina, położonej około 40 km od Szczecina. Doświadczenie jednoczynnikowe założono metodą kompletnej randomizacji w czterech powtórzeniach. Szczegółowy opis doświadczenia, charakterystykę zastosowanych materiałów oraz schemat wariantów nawozowych opisali Gibczyńska i in. (2011). Schemat badań obejmował osiem wariantów nawozowych, podzielonych na dwie części. Jedną podstawę podłoża stanowiła gleba, a drugą bazującą na popiele fluidalnym z węgla kamiennego. Glebę lub popiół fluidalny połączono z osadem ściekowym i słomą – zmieszano w stosunku objętościowym 4 : 2 : 1. Do doświadczenia użyto następujących komponentów: glebę lekką, popiół fluidalny z Elektrociepłowni Żerań, firmy Vattenfall Heat Polska S.A., słomę pszenną, osad ściekowy, pochodzący z komunalnej oczyszczalni ścieków z Przelewic. Zawartość cynku i miedzi w osadzie ściekowym, popiele fluidalnym i glebie zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Zawartość cynku i miedzi w zastosowanych komponentach nawozowych
Table 1. Content of zinc and copper in the fertilizer components applied

Komponent – Components	Cynk	Miedź	Odczyn
	(mg Zn · kg ⁻¹)	(mg Cu · kg ⁻¹)	(pH w H ₂ O)
	Zinc	Copper	Reaction
	(mg Zn · kg ⁻¹)	(mg Cu · kg ⁻¹)	(pH in H ₂ O)
Popiół fluidalny – Fluidal ash	215,5	102,5	12,21
Gleba – Soil	21,3	3,4	5,13
Osad ściekowy – Sewage sludge	889,0	510,2	8,00

Metodyka analiz chemicznych

Po każdym ostatnim pokosie trawy z wazonów pobrano próby podłoża za pomocą laski Egnera i wykonano analizę chemiczną materiału doświadczonego.

W celu oznaczenia ogólnej zawartości cynku i miedzi w glebie i trawie próbki mineralizowano w mieszaninie kwasów azotowego(V) i chlorowego(VII), a następnie wykonano pomiary za pomocą spektrometru absorpcji atomowej SOLAAR AA SERIES (Ostrowska i in. 1991).

Do opracowania uzyskanych wyników wykorzystano wartości półprzedziałów ufności wyliczonych testem Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$, stosując program FR-ANALWAR, opracowany przez prof. dr. hab. Franciszka Rudnickiego.

WYNIKI I DISKUSJA

Zawartość cynku i miedzi w podłożach

Na podstawie ośmioletnich badań Maćkowiak (2001) podaje, że średnia zawartość cynku w komunalnych osadach ściekowych wynosi 1350 mg · kg⁻¹. Ilość cynku w zastosowanym osadzie ściekowym wynosiła 889 mg · kg⁻¹ i była poniżej średniej jego zawartości i nie przekraczała limitu 2500 mg · kg⁻¹ (tab. 2), więc mógłby być zastosowany do celów rolniczych (DzU z 2010 nr 137 poz. 924).

Gleba charakteryzowała się średnią zasobnością cynku (Kabata-Pendias i Pendias 1999). Podłoża na bazie gleby zawierały cynku od 44,1 do 126,9 mg Zn · kg⁻¹ podłoża. W podłożach z popiołem fluidalnym z węgla kamiennego ilość cynku była wyższa aniżeli w podłożach z glebą (180,8–330,1 mg Zn · kg⁻¹ podłoża) – tabela 2.

Tabela 2. Zawartość cynku w podłożach wykonanych na bazie gleby i popiołów ($\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ podłoża)
 Table 2. The total zinc content in the beddings made on the basis of soil and fly ash ($\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ beddings)

Wariant Variant	Podłoża na bazie gleby Beddings on the basis of soil				Wariant Variant	Podłoża na bazie popiołu Beddings on the basis of ash			
	lata doświadczenia years of experiment					lata doświadczenia years of experiment			
	2007	2008	2009	\bar{x}		2007	2008	2009	\bar{x}
1	57,2	44,1	78,9	60,1	5	192,8	184,1	180,8	185,9
2	125,9	116,4	134,3	125,5	6	304,3	285,7	308,3	299,4
3	114,7	101,6	107,5	107,9	7	325,0	248,5	300,6	291,4
4	113,7	99,9	126,9	113,5	8	330,1	288,2	306,8	308,4
\bar{x}	102,9	90,5	111,9	101,8	\bar{x}	288,0	251,6	274,1	271,2
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	35,95	n.s.	n.s.	–		102,80	n.s.	n.s.	–

Wprowadzenie do podłoży z glebą osadów ściekowych i słomy powodowało wzrost zawartości cynku. Obecność w podłożach preparatu mikrobiologicznego EM-1 powodowała obniżenie się w nich ilości cynku, co ewentualnie może wskazywać na zwiększone pobranie cynku przez trawę w wyniku zastosowanego preparatu (tab. 2). W pierwszym roku doświadczenia odnotowano, że największy wpływ na zawartość w nich cynku miały dodane komponenty. W dwóch następnych latach nastąpiło ujednoczenie ilości tego pierwiastka w podłożach wykonanych na bazie gleby.

Zastosowany jako podłoże popiół fluidalny z węgla kamiennego zawierał zbliżoną do maksymalnej ilość cynku, którą charakteryzuje się gleba naturalna (Kabata-Pendias i Pendias 1999) (tab. 2). W pierwszym roku doświadczenia dodanie do tych podłoży osadów ściekowych połączonych ze słomą pszenną spowodowało wzrost ilości cynku. Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono wpływu preparatu mikrobiologicznego EM-1 na zmiany zawartości cynku w podłożach wykonanych na bazie popiołu. W pozostałych dwóch latach doświadczenia nie odnotowano jednoznacznego wpływu dodanych komponentów do podłoży z popiołem.

Po upływie trzech lat doświadczenia podłoża zawierające popiół nadal charakteryzowały się wyższą zawartością cynku niż gleba, pomimo że ilości te uległy zmniejszeniu w porównaniu z okresem początkowym (tab. 2).

Średnia zawartość miedzi dla gleb piaszczystych wynosi 8 miligramów tego pierwiastka w kilogramie gleby (Kabata-Pendias i Pendias 1999) i taką zasobnością charakteryzowała się gleba z doświadczenia (tab. 3).

Tabela 3. Zawartość miedzi w podłożach wykonanych na bazie gleby i popiołów ($\text{mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ podłoża)
 Table 3. The total copper content in the beddings made on the basis of soil and fly ash ($\text{mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ beddings)

Wariant Variant	Podłoża na bazie gleby Beddings on the basis of soil				Wariant Variant	Podłoża na bazie popiołu Beddings on the basis of ash			
	lata doświadczenia years of experiment					lata doświadczenia years of experiment			
	2007	2008	2009	\bar{x}		2007	2008	2009	\bar{x}
1	6,9	6,6	15,5	9,67	5	130,2	76,7	65,6	90,8
2	9,4	12,1	22,9	14,8	6	139,5	104,2	74,9	106,2
3	9,6	14,4	23,9	16,0	7	139,8	88,6	71,8	100,1
4	8,2	13,5	22,5	14,7	8	135,5	79,7	69,1	94,8
\bar{x}	8,5	11,6	21,2	13,8	\bar{x}	136,2	87,3	70,3	98,0
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	2,98	n.s.	n.s.	–		n.s.	5,58	n.s.	–

Dodanie do podłoża z glebą osadów ściekowych i słomy powodowało wzrost ilości miedzi, jednak nie zostały przekroczone graniczne ilości, jakie charakteryzują gleby lekkie. Wprowadzenie preparatu Efektywne Mikroorganizmy (EM-1) nie miało wpływu na zmiany zawartość miedzi w podłożach zastosowanych w doświadczeniu (tab. 3).

W pierwszym roku doświadczenia podłoża z popiołem fluidalnym, w porównaniu z glebą, były prawie dwudziestokrotnie bardziej zasobne w miedź i przekroczone zostało dopuszczalne stężenie jej zawartości, wynoszące $50 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby (Monitor Polski 1986). Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono wpływu wprowadzenia preparatu mikrobiologicznego EM-1 oraz osadu ściekowego na zmiany zawartości miedzi w podłożach wykonanych na bazie popiołu. W miarę upływu czasu stwierdzono sukcesywne zmniejszanie się ilości miedzi w podłożach z popiołem fluidalnym z węgla kamiennego (tab. 3).

Zawartość cynku i miedzi w *Festulolium braunii* odmiany Felopa

Kabata-Pendias i Pendias (1999) podają, że zawartość tego pierwiastka w roślinach wynosi od 10 do $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Kalembasa i Malinowska (2009) w doświadczeniu z trawą *Miscanthus sacchariflorus*, nawożoną osadami ściekowymi, podają, że zawartość w niej cynku była w granicach $34,82\text{--}62,86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.

W pierwszym roku doświadczenia trawa rosnąca na podłożach z glebą i popiołem charakteryzowała się zawartością cynku na niskim poziomie ($17,3\text{--}27,8 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.). W drugim i trzecim roku doświadczenia odnotowano zwiększenie się ilości cynku w trawie do poziomu około $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Podobną zależność zmian zawartości cynku w miarę upływu czasu podają również Kalembasa i Malinowska (2009).

Zawartość cynku w osadzie ściekowym była czterokrotnie wyższa niż w popiele fluidalnym z węgla kamiennego i czterdziestokrotnie w porównaniu z zasobnością gleby. W wyniku powyższych zależności w każdym roku doświadczenia odnotowano zwiększenie ilości cynku w *Festulolium braunii* odmiany Felopa w wyniku dodania do podłoża osadu ściekowego. Uprawiana w doświadczeniu trawa charakteryzowała się zawartością cynku w zakresie od 12,8 do $84,4 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 4 i 5). W większości przypadków nie została przekroczona maksymalna zawartość cynku w trawie (Kabata-Pendias i Pendias 1999).

Tabela 4. Zawartość cynku w *Festulolium braunii* odmiany Felopa ($\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.), podłoża z glebą
Table 4. The content of zinc *Festulolium braunii* var. Felopa ($\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.), beddings with soil

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment										
	2007			2008				2009			
	pokosy – cuts		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokosy – cuts			\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokosy – cuts		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	
	I	II		I	II	III		I	II	III	
1	20,6	27,8	23,8	36,1	46,1	42,7	40,9	35,7	38,0	43,5	39,1
2	40,3	35,0	37,7	42,5	55,0	46,9	48,0	46,7	61,0	62,0	56,6
3	48,4	29,3	39,3	46,7	21,6	46,2	38,2	51,2	51,0	65,5	55,9
4	44,2	32,6	38,7	40,2	84,4	45,4	57,0	46,7	47,0	71,5	55,2
\bar{x} waż. Weig. \bar{x}	40,6	31,7	–	41,3	49,4	45,4	–	47,7	48,7	61,2	–
NIR _{0,05} LSD _{0,05}	4,23	8,87	–	4,49	4,20	4,77	–	5,27	5,10	2,23	–

Tabela 5. Zawartość cynku w *Festulolium braunii* odmiany Felopa ($\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.), podłoża z popiołem fluidalnymTable 5. The content of zinc in *Festulolium braunii* var. Felopa ($\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.), beddings with ash

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment										
	2007			2008				2009			
	pokosy – cuts		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokosy – cuts			\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokosy – cuts			\bar{x} waż. weig. \bar{x}
	I	II		I	II	III		I	II	III	
5	17,3	18,2	17,6	44,6	39,5	43,3	42,8	49,2	35,0	46,2	43,5
6	47,3	40,6	44,5	45,6	28,5	41,2	38,2	69,5	48,0	59,0	58,8
7	48,0	36,5	43,3	41,5	57,0	52,1	49,9	44,5	41,7	58,0	48,2
8	39,0	32,6	36,5	34,4	12,8	43,1	30,8	47,2	33,5	52,7	44,5
\bar{x} waż. Weig. \bar{x}	43,4	36,1	–	40,7	33,3	44,8	–	53,7	39,4	65,2	–
NIR _{0,05} LSD _{0,05}	14,54	n.s.	–	n.s.	n.s.	n.s.	–	5,36	5,20	3,15	–

Uzyskane wyniki, dotyczące zmian ilości cynku w trawie, nie wskazują na ukierunkowany wpływ dodanego preparatu (EM-1) oraz proszku ceramicznego.

Średnia zawartość miedzi w roślinach waha się w granicach $5\text{--}20 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., a w trawie średnio wynosi $6,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (Kabata-Pendias i Pendias 1999). Trawa rosnąca na podłożach tylko z glebą lub popiołem charakteryzowała się zawartością miedzi na stosunkowo niskim poziomie ($2,90\text{--}7,24 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.).

Zawartość miedzi w osadzie ściekowym była pięciokrotnie wyższa niż w popiole fluidalnym z węgla kamiennego i trzydziestokrotnie w porównaniu z ilością jej w glebie. W pierwszym roku doświadczenia odnotowano wzrost ilości miedzi w *Festulolium braunii* odmiany Felopa, jeżeli do podłoża dodany był osad ściekowy. Uprawiana w doświadczeniu trawa charakteryzowała się zawartością miedzi w zakresie od $6,05$ do $11,25 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. W drugim i trzecim roku doświadczenia uzyskano pewne ujednoczenie ilości miedzi w trawie i była ona na poziomie $6 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 6 i 7). Podczas całego czasu trwania doświadczenia średnia zawartość miedzi w analizowanych roślinach nie przekraczała zakresu podawanego w literaturze przedmiotu, wynosząc od $0,52$ do $12,29 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (Kabata-Pendias i Pendias 1999, Dobrzański i in. 2003, Kalembasa i Malinowska 2009).

Wyniki dotyczące zawartości miedzi w trawie nie wskazują na wpływ obecności preparatu (EM-1), co skorelowane jest z brakiem oddziaływania tego preparatu na zmiany zawartości miedzi w podłożach.

Tabela 6. Zawartość miedzi w *Festulolium braunii* odmiany Felopa ($\text{mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.), podłoża z glebąTable 6. The content of copper in *Festulolium braunii* var. Felopa ($\text{mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.), beddings with soil

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment										
	2007			2008				2009			
	pokosy – cuts		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokosy – cuts			\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokosy – cuts			\bar{x} waż. weig. \bar{x}
	I	II		I	II	III		I	II	III	
1	4,33	3,48	3,95	4,60	7,23	4,75	5,55	5,21	4,92	6,83	5,90
2	6,05	7,36	6,69	4,83	6,46	6,13	5,66	6,35	6,40	9,74	7,91
3	7,26	6,40	6,85	5,12	3,20	6,27	4,78	6,91	6,30	7,75	7,15
4	6,55	6,20	6,40	4,72	4,39	6,71	5,15	5,77	6,08	9,50	7,50
\bar{x} waż. Weig. \bar{x}	6,25	6,22	–	4,81	5,49	5,99	–	6,21	5,93	8,45	–
NIR _{0,05} LSD _{0,05}	2,615	1,242	–	n.s.	n.s.	n.s.	–	0,493	0,194	0,318	–

Tabela 7. Zawartość miedzi w *Festulolium braunii* odmiany Felopa (mg Cu · kg⁻¹ s.m.), podłoża z popiołem fluidalnymTable 7. The content of copper in *Festulolium braunii* var. Felopa (mg Cu · kg⁻¹ d.m.), beddings with ash

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment										
	2007			2008				2009			
	pokosy – cuts		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokosy – cuts		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokosy – cuts		\bar{x} waż. weig. \bar{x}		
I	II		I	II	III	I	II	III			
5	3,11	2,90	3,04	7,24	5,73	4,95	6,04	6,49	6,17	6,57	6,45
6	11,25	9,87	10,68	7,60	4,30	5,06	5,69	5,94	5,25	8,03	6,86
7	10,32	8,37	9,52	5,80	4,64	5,35	5,26	5,35	6,68	9,04	7,35
8	7,51	7,28	7,40	4,74	3,03	6,06	4,67	5,60	5,10	7,29	6,28
\bar{x} waż. Weig. \bar{x}	9,37	8,36		6,12	4,11	5,51		5,70	5,80	7,98	
NIR _{0,05} LSD _{0,05}	1,246	2,042	–	n.s.	n.s.	n.s.	–	0,502	0,198	0,323	–

WNIOSKI

1. Dodanie komunalnego osadu ściekowego połączonego ze słomą pszenną do podłoży wykonanych na bazie gleby, jak i popiołu, spowodowało wzrost zawartości cynku szczególnie w pierwszym roku doświadczenia.

2. Dodanie do podłoży z glebą osadów ściekowych i słomy powodowało wzrost ilości w nich miedzi, jednak nie zostały przekroczone graniczne wartości, jakie charakteryzują gleby.

3. Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono wpływu wprowadzenia preparatu mikrobiologicznego EM-1 na zmiany zawartości cynku i miedzi w podłożach wykonanych na bazie popiołu fluidalnego z węgla kamiennego.

4. W każdym roku doświadczenia odnotowano wzrost ilości cynku w *Festulolium braunii* odmiany Felopa w wyniku dodania do podłoży osadu ściekowego.

5. Wprowadzenie do podłoży komunalnego osadu ściekowego spowodowało wzrost zawartości miedzi w *Festulolium braunii* odmiany Felopa, w pierwszym roku doświadczenia.

6. Nie wykazano ukierunkowanego wpływu preparatu (EM-1) oraz proszku ceramicznego na zmiany zawartości cynku i miedzi w *Festulolium braunii* odmiany Felopa.

7. Uzyskane wyniki wskazują na potencjalną możliwość stosowania komunalnych osadów ściekowych do celów nawozowych i rekultywacyjnych.

PIŚMIENNICTWO

Czekała J. 2009. Osady ściekowe – nawóz czy odpad? Wod. Kan. 1/2009. 59.

Dobrzański Z., Kołacz R., Górecka H., Malarz W., Rudnicka A. 2003. Wpływ przemysłu miedziowego na zawartość miedzi, ołowiu i cynku w roślinach paszowych. Acta Agroph. 1 (2) 233–238.

Evans R.E. 1994. The mobility and adsorption of sewage sludge-derived copper and zinc in forest soli. B. Sc. (Hons), University of London.

Falkowski M., Kukułka I., Kozłowski S. 2000. Właściwości chemiczne roślin łąkowych. Wydaw. Nauk. AR. Poznań, 76–84.

Gawdzik I. 2010. Specjacja metali ciężkich w osadzie ściekowym na przykładzie wybranej oczyszczalni komunalnej. Ochr. Śr. 32/4, 15–19.

- Gibczyńska M., Hury G., Romanowski M., Brzostowska-Żelechowska D., Tarasewicz D.** 2011. Zmiany zawartości żelaza i manganu w podkładach wykonanych z osadów ściekowych, słomy pszennej i popiołów fluidalnych z węgla kamiennego w połączeniu z efektywnymi mikroorganizmami (EM) oraz w uprawianej na nich trawie *Festulolium braunii* odmiany Felopa. Folia Pomer. Univ Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zotech. 283 (17), 15–24.
- Kabata-Pendias A., Pendias H.** 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa 1999.
- Kalembasa D., Malinowska E.** 2009. Influence of sewage sludge fertilization on heavy metal content in biomass of silver grass during field experiment. Environment Protection Engineering 35/2, 149–155.
- Krzywy E.** 2007. Żywienie roślin, Wydaw. Nauk. AR. Szczecin.
- Krzywy E., Iżewska A.** 2004. Gospodarka ściekami i osadami ściekowymi, Wydaw. Nauk. AR w Szczecinie, 51–99.
- Maćkowiak Cz.** 2001. Wartość nawozowa osadów ściekowych, Inżynieria Ekologiczna 3, 135–145.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka M.** 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. IOŚ Warszawa.
- Porębska G., Gworek B.** 1999. Ocena przydatności roślin w remediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Ochr. Śr. Zasobów Nat. 17, 81–89.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi** z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Dziennik Ustaw 2008, nr 119, poz. 765.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska** z 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dziennik Ustaw 2010 nr 137 poz. 924.
- Shrivastava S.K., Banerjee D.K.** 2004. Speciation of metals in sewage sludge and sludge – amended soils. Water Air Soil Pollut. 152, 219–232.
- Siebielec G., Stuczyński T.** 2008. Metale śladowe w komunalnych osadach ściekowych wytwarzanych w Polsce. Proc. EC Opole. 2 (2), 479–484.
- Siuta J.** 2002. Przyrodnicze użytkowanie odpadów. Monog. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 6–77.
- Wilk M., Gworek B.** 2009. Metale ciężkie w osadach ściekowych. Ochr. Śr. Zasobów Nat. 39, 40–59
- Zarządzenie Ministra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych** z dnia 7 lipca 1986 w sprawie rolniczego wykorzystania ścieków. Monit. Pols. 1986 nr 23 poz. 170.