

Marzena GIBCZYŃSKA¹, Grzegorz HURY², Marcin ROMANOWSKI¹,
Danuta BRZOSTOWSKA-ŻELECHOWSKA¹, Dorota TARASEWICZ¹

**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-1) ORAZ W UPRAWIANEJ NA NICH TRAWIE
FESTULOLIUM BRAUNII ODMIANY FELOPA**

**CHANGES OF CONTENT OF IRON AND MANGANESE IN THE BEDDING MADE
FROM SEWAGE SLUDGE, WHEAT STRAW AND FLUIDAL ASH FROM COAL
IN CONJUNCTION WITH EFFECTIVE MICROORGANISMS (EM-1) IN
CULTIVATION OF *FESTULOLIUM BRAUNII* VARIETY FELOPA GRASS**

¹Zakład Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Juliusza Słowackiego17, 71-434 Szczecin, marzena.gibczynska@zut.edu.pl

²Katedra Agronomii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Juliusza Słowackiego17, 71-434 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 formulation effective microorganisms (EM-1). Based on the results of the three-year study with *Festulolium braunii*, variety *Felopa*, the influence of factors introduced in the experiment on the iron and manganese content in the soil and grass. The following components were used in the experiment: light soils, fluidal ash - provided by the Vattenfall Heat Poland Company in Warsaw, from CHP Żerań, wheat straw, sewage sludge was collected from commune sewage. As factors activating biochemical processes the following substances were used: formulation of effective microorganisms (EM-1) and ceramic powder EM-X, which were provided by the Greenland Company. Results obtained in the experiment allow formulating the following conclusions. Application of activating substances, in the form of effective microorganisms (EM-1) formulation and EM-X ceramic powder, had no significant effect on the change of the content of exchangeable iron and total manganese in bedding and manganese in grass. After three years of experience bedding containing ash is still characterized by a higher iron content compared to the overall abundance of soil, although these quantities have been reduced compared to the initial period. Weight ratio of Fe/Mn in the grass, *Festulolium braunii Felopa* variety show that over time, reducing the amount of manganese in the grass going down to a greater extent than iron.

Słowa kluczowe: efektywne mikroorganizmy, *Festulolium*, mangan, osad ściekowy, popiół fluidalny, żelazo.

Key words: effective microorganisms, *Festulolium*, fluidal ash, iron, manganese, sewage sludge.

WSTĘP

Żelazo w roślinie jest bardzo istotnym składnikiem procesów oksydoredukcyjnych, jego duże ilości potrzebne są w cytochromach, które spełniają podstawową rolę w transporcie elektronów, podczas procesów fotosyntezy i oddychania. Odgrywa istotną rolę przy powstawaniu chlorofilu, uczestniczy w redukcji związków azotu i uczestniczy w metabolizmie

kwasów tłuszczowych. Gleby uprawne zawierają zwykle niewielkie ilości żelaza w roztworze glebowym oraz w kompleksie sorpcyjnym. Większość żelaza zawarta jest w minerałach. Zawartość żelaza w polskich glebach waha się na poziomie od 8,0 do 18,0 g Fe w 1 kg gleby (Kabata-Pendias i Pendias 1999). Pierwiastek ten jest bardzo ruchliwy i w warunkach niesprzyjających szybko migruje w głąb profilu glebowego, powodując obniżenie ilości form łatwo przyswajalnych dla roślin (Jarociński 2005). Rozpuszczalność związków żelaza wzrasta proporcjonalnie do stopnia zakwaszenia gleby. Kompleksowe połączenia związków żelaza z substancją organiczną mają duże znaczenie w procesach glebotwórczych oraz wpływają na zachowanie się innych pierwiastków, w szczególności śladowych. Organiczne połączenia zwiększają mobilność żelaza, co ułatwia, jego dostępność roślinom. Popioły fluidalne powstałe ze spalania węgla kamiennego są materiałem bezszkieletowym i charakteryzują się dużą zawartością żelaza ogólnego i 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. Dodatkową zaletą stosowania osadów ściekowych jest to, że powodują obniżenie alkalicznego odczynu (pH 9–13), co w efekcie zwiększa dostępność żelaza dla roślinom (Czekala 2009).

Mangan jest niezbędnym dla życia roślin mikroskładnikiem pokarmowym, będącym regulatorem i stymulatorem wzrostu. Spełnia on ważną rolę w przemianach azotowych, zachodzących w roślinie. Mangan ma też duże znaczenie dla wszelkich procesów utleniająco-redukcyjnych. Reguluje on w roślinie poziom związków z żelazem i wywiera wpływ na redukcję azotanów(V) do azotanów(III), a nawet do amoniaku. Zawartość manganu w glebie ulega dużym wahaniom i wynosi od 0,1 do 13,0 g Mn w 1 kg gleby (Kabata-Pendias i Pendias 1999). Mangan występuje w glebie głównie w postaci wolnych tlenków lub krzemianów. Podczas wietrzenia krzemianów uwalniają się jony Mn^{2+} , które przenikają do roztworu glebowego. Mogą się one następnie łączyć z dodatnio naładowanymi kationami. Ważną rolę dla tego procesu odgrywają takie czynniki jak: zawartość minerałów ilastych, wartość pH oraz potencjał oksydacyjno-redukcyjny gleby.

Celem prowadzonych badań była ocena możliwości rekultywacji popiołów fluidalnych z węgla kamiennego poprzez 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 żelaza i manganu oraz ich stosunków wagowych w trawie i w zastosowanych podłożach.

MATERIAŁ I METODY

a) Warunki prowadzenia doświadczenia wazonowego

W latach 2007-2009 przeprowadzono doświadczenie wazonowe z trawą (*Festulolium braunii* odmiany Felopa), które zlokalizowano we wsi Dębina, oddalonej około 40 km od Szczecina. Doświadczenie jednoczynnikowe założono metodą kompletnej randomizacji w czterech powtórzeniach.

Do doświadczenia użyto następujących komponentów: gleba pod względem składu granulometrycznego lekka – została pobrana z pól Hodowli Roślin Strzelce Krajeńskie oddział Małyszyn, popiół fluidalny – dostarczyła firma Vattenfall Heat Polska i pochodził on

z Elektrociepłowni Żerań, słoma pszenna dostarczona była przez gospodarstwo rolne pana Edwarda Kujawy, osad ściekowy pobrano z gminnej oczyszczalni ścieków komunalnych z Przelewic, po roku leżakowania na świeżym powietrzu. Badanie osadu ściekowego przeprowadzono na próbie średniej. Nie stwierdzono w nim obecności bakterii chorobotwórczych z rodzaju *Salmonella* oraz żywych jaj pasożytów jelitowych typu *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* Osad ściekowy charakteryzował się odczynem oznaczonym jako pH w H₂O równym 8,0. Jako substancji aktywujących procesy biochemiczne zastosowano: preparat efektywne mikroorganizmy (EM-1) w dawce odpowiadającej 15 dm³ · ha⁻¹ oraz proszek ceramiczny EM-X w dawce 40 kg · ha⁻¹, które dostarczyła firma Greenland z siedzibą w Janowcu nad Wisłą. Preparat EM-1 zawierający efektywne mikroorganizmy stanowi mieszaninę składającą się z pięciu głównych grup drobnoustrojów, tj. bakterie kwasu mlekowego, bakterie fotosyntetyzujące, drożdże, promieniowce – *Actinomyces* oraz grzyby fermentujące. Efektywne mikroorganizmy są sprzedawane w Polsce pod nazwą EM-1, czyli koncentratu zawierającego ponad 80 różnych mikroorganizmów. W celu aktywacji koncentratu EM-1 i otrzymania formy namnożonej i aktywnej, czyli EM-A, zmieszano razem: wodę, preparat EM-1 oraz preparat A-Plus (melasa z trzciny cukrowej), który jest źródłem pożywienia dla mikroorganizmów znajdujących się w EM-1. Po wymieszaniu komponentów do produkcji podłoży według schematu (tab. 1) wprowadzono nawozy mineralne w ilości odpowiadającej 120 N, 30 P, 100 K · kg · ha⁻¹.

Tabela 1. Numer wariantu nawozowego i zastosowane komponenty nawozowe
Table 1. Number variant of the fertilizer and components fertilizer applied

Wariant Variant	Skład wariantu Composition of the variant
1	kontrola – gleba, control – soil
2	gleba + osad ściekowy + słoma (w stosunku obj. 4:2:1) soil + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1)
3	gleba + osad ściekowy + słoma (w stosunku obj. 4:2:1) + efektywne mikroorganizmy EM-1 [15 dm ³ · ha ⁻¹], soil + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1) + effective microorganisms EM-1 [15 dm ³ · ha ⁻¹]
4	gleba + osad ściekowy + słoma (w stosunku obj. 4:2:1) + efektywne mikroorganizmy EM-1 [15 dm ³ · ha ⁻¹] + proszek ceramiczny EM-X [40 kg · ha ⁻¹] soil + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1) + effective microorganisms EM-1 [15 dm ³ · ha ⁻¹] + ceramic powder EM-X [40 kg · ha ⁻¹]
5	kontrola – popiół fluidalny, control – fluidal ash
6	popiół fluidalny + osad ściekowy + słoma (w stosunku obj. 4:2:1) fluidal ash + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1)
7	popiół fluidalny + osad ściekowy + słoma (w stosunku obj. 4:2:1) + preparat mikrobiologiczny EM-1 [15 dm ³ · ha ⁻¹] fluidal ash + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1) + effective microorganisms EM-1 [15 dm ³ · ha ⁻¹]
8	popiół fluidalny + osad ściekowy + słoma (w stosunku obj. 4:2:1) + preparat mikrobiologiczny EM-1 [15 dm ³ · ha ⁻¹] + EM-X [40 kg · ha ⁻¹] fluidal ash + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1) + effective microorganisms EM-1 [15 dm ³ · ha ⁻¹] + EM-X [40 kg · ha ⁻¹]

Dodatkowo po każdym pokosie zastosowano dawkę azotu w wysokości 60 kg · ha⁻¹. Do wazonów o objętości 20 dm³ i powierzchni 0,1 m² 4 kwietnia wysiano roślinę testową z gatunku *Festulolium* odmiany Felopa w ilości 200 nasion na wazon, co odpowiada ilości 50 kg na hektar. Preparat EM-1 i proszek ceramiczny EM-X zastosowano podczas opadu deszczu 5 czerwca. Podczas realizacji doświadczenia prowadzone były podstawowe zabiegi pielęgnacyjne zgodnie z zasadami agrotechniki. W czasie prowadzenia doświadczenia stosowano automatyczne zraszanie w celu utrzymania prawidłowego uwilgotnienia gleby

w wazonach. W każdym roku doświadczenia dokonywano trzy pokosy uprawianej trawy, która po zebraniu została poddana procesowi suszenia w temp. 105°C. Po zakończeniu każdego okresu wegetacyjnego pobrano próby podłoża za pomocą laski Egnera i wykonano analizę fizykochemiczną materiału doświadczalnego. Schemat badań obejmował osiem wariantów nawozowych, które można podzielić na dwie części: cztery, w których podstawę podłoża stanowiła gleba, i cztery bazujące na popiele fluidalnym.

b) Metodyka analiz chemicznych

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

W celu oznaczenia form wymiennych makroskładników zastosowano następujące roztwory ekstrakcyjne: magnezu – 1M roztwór octanu amonu, żelaza – kwas chlorowodorowy o stężeniu 1M, (Ostrowska i in. 1991). W celu oznaczenia ogólnej zawartości żelaza i manganu 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.

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

c) Charakterystyka osadu ściekowego, popiołu fluidalnego, gleby i słomy zastosowanych w doświadczeniu

Tabela 2. Parametry komponentów podłoża zastosowanych w doświadczeniu

Table 2. The parameters of components of backing s used in the experiment

Nr Nr	Parametr Parameters	Gleba Soil	Popiół fluidalny Fluidal ash
1	odczyn [pH w H ₂ O] – reaction [pH in H ₂ O]	5,13	12,21
2	odczyn [pH w KCl] – reaction [pH in KCl]	4,30	12,32
3	żelazo ogólne [%] – total iron [%]	0,4	4,4
4	mangan ogólny [mg Mn · kg ⁻¹ gleby] total manganese [mg Mn · kg ⁻¹ soil]	225,0	488,4

WYNIKI I DYSKUSJA

a) Zawartość żelaza i manganu w podłożach

Średnia zawartość żelaza ogólnego w glebach lekkich jest na poziomie 5,7 g Fe · kg⁻¹ i gleba użyta w doświadczeniu również charakteryzowała się zasobnością na takim poziomie (tab. 3). Wprowadzenie do podłoża z glebą osadów ściekowych i słomy było czynnikiem wzrostowym. Obecność w podłożach preparatu EM-1 była czynnikiem zmniejszającym zawartość w nich żelaza ogólnego. Natomiast zastosowany jako podłoże popiół fluidalny z węgla kamiennego zawierał duże ilości żelaza ogólnego i ilość ta była zbliżona do maksimum, jakim może charakteryzować się gleba naturalna (tab. 3). W pierwszym roku doświadczenia dodanie do tych podłoża osadów ściekowych w połączeniu ze słomą pszenną spowodowało zmniejszenie się ilości w nich żelaza ogólnego. W pozostałych dwóch latach nie odnotowano jednoznacznego wpływu dodanych nawozów do podłoża z popiołem. Po

upływie trzech lat doświadczenia podłoża zawierające popiół nadal charakteryzowały się wyższą zawartością żelaza ogólnego niż gleba, pomimo że ilości te uległy zmniejszeniu, w porównaniu z okresem początkowym doświadczenia (tab. 3 i 4).

Tabela 3. Zawartość żelaza ogólnego i wymiennego w podłożach wykonanych na bazie gleby
Table 3. The content of total and exchangeable iron in backing made on the basis of soil

Wariant Variant	Żelazo ogólne [g Fe · kg ⁻¹ gleby] Total iron [g Fe · kg ⁻¹ soil]				Żelazo wymienne [mg Fe · kg ⁻¹ gleby] Exchangeable iron [mg Fe · kg ⁻¹ soil]			
	lata doświadczenia – years of experiment							
	2007	2008	2009	\bar{X}	2007	2008	2009	\bar{X}
1	4,9	4,9	6,1	5,3	1576	1731	1164	1491
2	5,8	5,8	6,7	6,1	1237	1840	1817	1631
3	5,1	5,0	6,5	5,5	1254	3063	1416	1911
4	5,7	5,6	7,1	6,1	1161	2227	1502	1630
\bar{X}	5,4	5,3	6,6	5,8	1307	2215	1475	1666
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	0,53	0,35	ns	–	ns	ns	104,3	–

Tabela 4. Zawartość żelaza ogólnego i wymiennego w podłożach wykonanych na bazie popiołu
Table 4. The content of total and exchangeable iron in backing made on the basis of ash

Wariant Variant	Żelazo ogólne [g Fe · kg ⁻¹ gleby] Total iron [g Fe · kg ⁻¹ soil]				Żelazo wymienne [mg Fe · kg ⁻¹ gleby] Exchangeable iron [mg Fe · kg ⁻¹ soil]			
	lata doświadczenia – years of experiment							
	2007	2008	2009	\bar{X}	2007	2008	2009	\bar{X}
5	37,2	27,0	28,7	31,0	3496	3441	4698	3878
6	28,4	27,3	29,1	28,3	3700	5136	4966	4601
7	30,0	22,1	27,7	26,6	3588	3742	4876	4069
8	28,6	27,6	29,9	28,7	3664	4441	4862	4322
\bar{X}	31,1	26,0	28,9	28,7	3612	4190	4850	4217
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	12,90	14,12	ns	–	ns	ns	458,0	–

Żelazo, jak i mangan obecne w glebach występują w różnych połączeniach zarówno w związkach nieorganicznych, jak i organicznych. Przemiany tych związków mają charakter dynamiczny, o czym świadczą między innymi, zmiany ich stężenia w roztworze glebowym, w miarę upływu czasu. Ilość żelaza dostępnego dla roślin lepiej charakteryzuje zawartość w podłożu żelaza wymiennego aniżeli jego ilość ogólna. W pierwszym roku doświadczenia żelaza wymiennego w glebie z wariantu kontrolnego było 1576 mg Fe · kg⁻¹ gleby i jest to zasobność na poziomie zbliżonym do takiego, jaki podaje Czekala (2004) odnośnie gleby płowej. Podłoża wykonane na bazie popiołu fluidalnego charakteryzowały się dwukrotnie większą ilością żelaza wymiennego. Podsumowując wyniki uzyskane w ciągu trzech lat, zastosowane nawozy nie wywarły ukierunkowanego wpływu na zmiany ilości żelaza wymiennego w podłożach (tab. 3 i 4).

Mangan należy do najmniej trujących pierwiastków z grupy mikrośladników. W pierwszym roku doświadczenia ogólna ilość manganu w kontrolnym podłożu z glebą wynosiła 154 mg Mn kg⁻¹ gleby. Wartość ta zawiera się w normach podawanych przez Kabatę-Pendias i Pendias (1999), dotyczących zawartości tego pierwiastka w glebach lekkich i wskazywała na średnią zasobność gleby w ten pierwiastek. Obiekty z zastosowanymi popiołami fluidalnymi charakteryzowały się czterokrotnie większą zasobnością w porównaniu z glebą. Według IUNG Puławy (Kabata-Pendias i in. 1995), zawartość manganu w glebach wynosi 300–600 mg · kg⁻¹, doświadczeniu w obiekcie z samym popiołem wartość ta osiągnęła 864 mg Mn · kg⁻¹ gleby i była znacznie wyższa w stosunku do danych przedstawionych przez

IUNG. Oceniając warianty z popiołem można stwierdzić, że zasobność w ten składnik badanych prób jest wysoka, jednak nie przekracza dopuszczalnej zawartości w glebach dla tego pierwiastka, wynoszącej, jak podaje Krzywy (2007), aż 1500 mg Mn · kg⁻¹ gleby.

W drugim roku doświadczenia po ostatnim pokosie ogólna ilość manganu w glebie z wariantu kontrolnego wynosiła 279 mg Mn kg⁻¹ gleby. Podłoża z doświadczenia, w których zastosowano popioły fluidalne z węgla kamiennego, charakteryzowały się dwukrotnie większą zasobnością w porównaniu z glebą z doświadczenia (tab. 5 i 6).

Tabela 5. Zawartość manganu ogólnego w podłożach wykonanych na bazie gleby [mg Mn · kg⁻¹ gleby]
Table 5. The content of total manganese in backing made on the basis of soil [mg Mn · kg⁻¹ soil]

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment			
	2007	2008	2009	\bar{X}
1	154	279	199	210
2	183	241	210	211
3	158	256	197	204
4	158	240	228	209
\bar{X}	163	254	208	209
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	ns	ns	9,2	–

Tabela 6. Zawartość manganu ogólnego w podłożach wykonanych na bazie popiołu [mg Mn · kg⁻¹ gleby]
Table 6. The content of total manganese in backing made on the basis of ash [mg Mn · kg⁻¹ soil]

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment			
	2007	2008	2009	\bar{X}
5	864	515	351	577
6	815	546	333	565
7	797	511	335	547
8	826	476	341	548
\bar{X}	825	512	340	559
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	ns	ns	ns	–

W wyniku sukcesywnego zmniejszania się, w miarę upływu czasu, ilości manganu w podłożach z popiołem po zakończeniu doświadczenia różnica w zasobności między podłożami wynosiła około 50%. Na podstawie wyników uzyskanych w doświadczeniu nie stwierdzono wpływu zastosowanego nawożenia, jak również wprowadzenia preparatu mikrobiologicznego EM-1 na zmiany zawartości manganu w podłożach.

b) Zawartość żelaza i manganu w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa*

Trawy należą do roślin silnie reagujących na niedobór żelaza, występującego w roślinie w formie różnych związków. Żelazo jest składnikiem biorącym udział w tworzeniu chlorofilu oraz odgrywa podstawową rolę w procesach życiowych roślin.

W pierwszym roku doświadczenia najwyższą zawartością żelaza charakteryzowała się trawa rosnąca na podłożach z glebą i popiołem wzbogaconymi dodatkiem osadu i słomy, jednak na podłożu z popiołem wartość ta była o 20% wyższa niż w analogicznym wariacie z glebą. Dodanie kolejno EM-1 i proszku ceramicznego do wazonów powodowało spadek zawartości analizowanego pierwiastka w roślinie, a przy zastosowaniu wszystkich komponentów wartość ta była najniższa zarówno w roślinach rosnących na glebie, jak i na popiele (tab. 7 i 8).

Tabela 7. Zawartość żelaza w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa* [$\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.], podłoża z glebą
 Table 7. The content of iron in *Festulolium braunii* var. *Felopa* [$\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.], backing with soil

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment										
	2007			2008				2009			
	pokos – swath		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokos – swath			\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokos – swath			\bar{x} waż. weig. \bar{x}
I	II		I	II	III		I	II	III		
1	198	177	189	247	221	228	234	68	98	163	120
2	283	175	230	245	209	270	235	73	125	160	122
3	203	106	157	236	354	214	269	106	135	169	141
4	185	117	151	246	573	270	366	61	128	180	130
\bar{x}	217	144	182	244	339	246	276	77	122	168	128
$\text{NIR}_{0,05} - \text{LSD}_{0,05}$	29,3	10,1	–	99,3	30,1	23,8	–	95,3	10,1	95,3	–

Tabela 8. Zawartość żelaza w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa* [$\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.], podłoża z popiołem fluidalnym
 Table 8. The content of iron in *Festulolium braunii* var. *Felopa* [$\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.], backing with ash

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment										
	2007			2008				2009			
	pokos – swath		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokos – swath			\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokos – swath			\bar{x} waż. weig. \bar{x}
I	II		I	II	III		I	II	III		
5	144	268	184	215	251	215	225	152	160	100	129
6	280	268	275	245	339	242	278	61	95	116	93
7	236	158	204	721	418	232	480	61	134	187	135
8	187	193	190	223	343	185	247	60	88	99	84
\bar{x}	212	222	213	351	338	219	308	84	119	126	110
$\text{NIR}_{0,05} - \text{LSD}_{0,05}$	20,7	19,5	–	99,3	41,8	23,4	–	ns	5,8	7,8	–

W drugim roku doświadczenia uzyskano pewne ujednoczenie ilości żelaza w trawie, i średnia ważona wynosiła od 234 do 480 $\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.

W trzecim roku doświadczenia odnotowano istotne zmniejszenie się ilości żelaza w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa*, osiągającego minimalną wartość średniej ważonej na poziomie 84 $\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. i dopiero w tym roku nie została przekroczona normalna zawartość żelaza w trawie, która wynosi 135 $\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (Falkowski i in. 2000), (tab. 7 i 8). Podobne wyniki przedstawiają Symanowicz i Kalembasa (2009) podając, że w kolejnych latach badań nastąpiło zmniejszenie zawartości żelaza i molibdenu w suchej masie życicy.

Jak podają Gawrońska-Krzywy i Gutkowska (2007), najczęściej podawana zawartość manganu w trawie jest w granicach 45–160 $\text{mg Mn} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., a optymalna zawartość w trawach przeznaczonych na paszę od 50 do 100 $\text{mg Mn} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Zawartość manganu w biomase *Festulolium braunii* odmiany *Felopa* uprawianej w doświadczeniu charakteryzowała się zróżnicowaniem, nieprzekraczając jednak górnej granicy zakresu podawanego w literaturze przedmiotu. *Festulolium braunii* odmiany *Felopa* rosnąca na podłożach wykonanych na bazie gleby, jak i popiołu charakteryzowała się zbliżoną zasobnością manganu. Uzyskane wyniki dotyczące zasobności trawy odnośnie manganu nie wskazują na ukierunkowany wpływ dodanych osadów ściekowych, jak i preparatu (EM-1) oraz proszku ceramicznego. Analogicznie jak w przypadku żelaza w kolejnych latach doświadczenia odnotowano zmniejszenie się ilości manganu w trawie, osiągając w trzecim roku zawartość poniżej wartości optymalnych dla pasz (tab. 9 i 10).

Tabela 9. Zawartość manganu w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa* [mg Mn · kg⁻¹ s.m.], podłoża z glebą
 Table 9. The content of manganese in *Festulolium braunii* var. *Felopa* [mg Mn · kg⁻¹ d.m.], backing with soil

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment											
	2007			2008				2009				
	pokos – swath		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokos – swath			\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokos – swath			\bar{x} waż. weig. \bar{x}	
	I	II		I	II	III		I	II	III		
1	92	73	83,7	104	105	91	102	24	29	63	43	
2	90	78	84,1	58	75	47	63	26	45	31	32	
3	146	91	120	73	153	63	97	21	18	20	20	
4	140	82	112	62	161	42	91	27	19	23	23	
\bar{x}	117	81	100	75	124	61	88	25	28	34	30	
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	11,0	8,2	–	7,4	12,4	6,2	–	4,8	0,9	1,4	–	

Tabela 10. Zawartość manganu w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa* [mg Mn · kg⁻¹ s.m.], podłoża z popiołem fluidalnym
 Table 10. The content of manganese in *Festulolium braunii* var. *Felopa* [mg Mn · kg⁻¹ d.m.], backing with ash

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment											
	2007			2008				2009				
	pokos – swath		\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokos – swath			\bar{x} waż. weig. \bar{x}	pokos – swath			\bar{x} waż. weig. \bar{x}	
	I	II		I	II	III		I	II	III		
5	133	175	147	20	103	76	62	43	30	28	33	
6	114	128	120	58	86	69	71	21	18	20	20	
7	100	98	99	102	68	94	88	29	18	23	24	
8	139	82	112	62	161	42	91	27	19	23	23	
\bar{x}	122	121	120	61	105	70	78	30	21	24	25	
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	8,8	8,9	–	5,8	6,9	2,4	–	2,7	0,5	0,8	–	

c) Stosunek wagowy żelaza do manganu w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa*

Zawartość żelaza w roślinach jest stosunkowo duża w porównaniu z innymi mikroelementami, występując na plus drugim i trzecim stopniu utlenienia. Mangan jest obecny w roślinach w różnym stopniu utlenienia, od plus drugiego, poprzez trzeci i czwarty, do plus siódmego. W określonych warunkach suma kationów w roślinie zmienia się niewiele. Zwiększenie pobrania jednego ze składników powoduje zmniejszenie pobrania innych. W tym kontekście interesujące jest to, że mangan i żelazo mogą działać jako antagoniści biochemiczni i mogą konkurować ze sobą w zakresie absorpcji z gleby i enzymów wiążących (Gudmundsdóttir i in. 2006).

Wobec faktu, że omawiane pierwiastki obecne są w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa* na różnych stopniach utlenienia do porównania ich zawartości możemy stosować tylko stosunek wagowy i jest to prosty iloraz ich ilości w roślinach (tab. 11).

Według Adriano (2001), w zdrowych roślinach stanowiących paszę stosunek Fe/Mn powinien być w przedziale 1,5–2,5. Podczas trwania doświadczenia stosunek wagowy Fe/Mn w trawie rosnącej na glebie kontrolnej utrzymywał się na stosunkowo stałym poziomie i wynosił około 2:1. Skład chemiczny trawy rosnącej na podłożach z pozostałych wariantów nawozowych charakteryzował się wzrostem wartości stosunku wagowego Fe/Mn w miarę upływu czasu. Uzyskane wyniki wskazują, że zmniejszanie się ilości manganu w trawie w kolejnych latach doświadczenia zachodziło w większym stopniu aniżeli żelaza.

Tabela 11. Wartości stosunku wagowego żelaza do manganu w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa*
 Table 11. Weight ratio of iron to manganese in *Festulolium braunii* var. *Felopa*

Wariant Variant	Lata doświadczenia – Years of experiment		
	2007	2008	2009
1	2,26	2,30	2,77
2	2,73	3,71	3,89
3	1,31	2,78	7,04
4	1,34	4,01	5,71
5	1,25	3,61	3,96
6	2,30	3,89	4,58
7	2,05	5,46	5,71
8	1,69	2,70	3,69

Na podstawie wyników uzyskanych w doświadczeniu nie stwierdzono jednoznacznego wpływu dodanych składników nawozowych na wartość stosunku wagowe Fe/Mn.

WNIOSKI

1. Po upływie trzech lat doświadczenia podłoża zawierające popiół nadal charakteryzowały się wyższą zawartością żelaza ogólnego w porównaniu z zasobnością gleby, pomimo, że ilości te uległy zmniejszeniu, w porównaniu z okresem początkowym. Po zakończeniu doświadczenia różnica w zasobności między podłożami wynosiła około 50%.

2. W pierwszym roku doświadczenia dodanie do podłoża z popiołem osadów ściekowych w połączeniu ze słomą pszenną spowodowało zmniejszenie się ilości w nich żelaza ogólnego, w pozostałych dwóch latach nie odnotowano jednoznacznego wpływu dodanych elementów nawozowych.

3. Podłoża wykonane na bazie popiołu fluidalnego, w porównaniu z podłożami z glebą, charakteryzowały się dwukrotnie większą zawartością żelaza wymiennego oraz czterokrotnie większą zasobnością odnośnie manganu.

4. W wyniku sukcesywnego zmniejszania się, z czasem, ilości manganu w podłożach z popiołem po zakończeniu doświadczenia różnica w zasobności wynosiła około 50%.

5. Zastosowane elementy nawozowe nie wywarły ukierunkowanego wpływu na zmiany ilości żelaza wymiennego i manganu ogólnego w podłożach.

6. W kolejnych latach badań odnotowano zmniejszenie się zawartości żelaza i manganu w *Festulolium braunii* odmiany *Felopa*.

7. Uzyskane wyniki nie wskazują na ukierunkowany wpływ dodanych osadów ściekowych, jak i preparatu (EM-1) oraz proszku ceramicznego na zmiany zasobności trawy odnośnie manganu.

8. Wartości stosunku wagowego Fe/Mn w trawie *Festulolium braunii* odmiany *Felopa* wskazują, że w miarę upływu czasu zmniejszanie się ilości manganu w trawie zachodziło w większym stopniu aniżeli żelaza.

PIŚMIENNICTWO

- Adriano D.C.** 2001. Manganese. In Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. 2nd edition. New York, Berlin and Heidelberg: Springer. 547–585.
- Czekała J.** 2004. Wpływ wybranych czynników wieloletniej uprawy roślin na zawartość rozpuszczalnych form manganu i żelaza w poziomie próchnicznym gleby płowej. Roczn. Państw. Zakł. Hig. 55, 143–148
- Czekała J.** 2009 Osady ściekowe – nawóz czy odpad? Wodociągi – Kanalizacja 1/2009. 59.

- Falkowski M., Kukułka I, Kozłowski S.** 2000. Własności chemiczne roślin łąkowych. Wydaw. AR. Poznań, 76–84
- Gawrońska-Krzywy E., Gutkowska I.** 2007. Zawartość makro- i mikrośladników w życicy trwałej po zastosowaniu kompostów z wycierki ziemniaczanej i komunalnego osadu ściekowego. Woda Śr. Obsz. wiejskie 7. 2a, 231–244.
- Gudmundsdóttir K.B., Sigurdarson S., Kristinsson J., Eiríksson T., Jóhannesson T.** 2006. Iron and iron/manganese ratio in forage from Icelandic sheep farms: relation to scrapie. Scand. Vet. Acta 48, 16–21.
- Jarociński B.Z.** 2005. Ocena zasobności gleb użytkowanych sadowniczo w niezbędne składniki mineralne. Zesz. Nauk. Ins. Sadow. Kwiac. Skiern. 13, 17–29.
- Kabata-Pendias A., Pendias H.** 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa 1999.
- Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Maliszewska B., Filipiak K., Krakowiak A., Pietruch C.** 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb metale ciężkie, siarka i WWA, IUNG Puławy, Warszawa.
- Krzywy E.** 2007. Żywnienie roślin, Wydaw. Nauk. AR. Szczecin.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka M.** 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. IOŚ, Warszawa.
- Symanowicz B., Kalembasa S.** 2009. Wpływ stosowania odpadowych materiałów organicznych i ich mieszanin na zmiany zawartości żelaza i molibdenu w glebie i życicy wielokwiatowej (*LOLIUM MULTIFLORUM* Lam). Ochr. Śr. i Zasobów Nat. 40, 660–668.