

WPLYW MIESZANIN POPIOŁOWO-OSADOWYCH I POPIOŁOWO-TORFOWYCH NA PLON MIESZANKI TRAW Z KOMONICĄ ZWYCZAJNĄ I ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH PIERWIASTKÓW W MIESZANCE

Jacek Antonkiewicz

Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. Badania miały na celu poznanie wpływu różnych dawek mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych na plon mieszanki traw z komonicą zwyczajną i na zawartość żelaza, kobaltu, manganu, glinu i krzemu w mieszance. Doświadczenie wazonowe przeprowadzono na glebie mineralnej, do której dodawano mieszaniny popiołowo-osadowe i popiołowo-torfowe w ilości 1–30% w stosunku do ogólnej masy gleby. W doświadczeniu uwzględniono również obiekty obejmujące jedynie komponenty wchodzące w skład mieszanin. Uzyskany plon mieszanki roślin był zróżnicowany w zależności od obiektu i roku badań i kształtował się w zakresie 9,61–135,38 g s.m. na wazon. Największy plon uzyskano w trzecim roku doświadczenia, a najmniejszy – w pierwszym. W obiektach, w których zastosowano wyłącznie popiół, torf lub ich mieszaniny, plon był istotnie niższy niż w uprawie na glebie mineralnej. Dodatek do gleby mieszanin popiołowo-osadowych wpłynął istotnie na podwyższenie plonu, a mieszanin popiołowo-torfowych – na jego obniżenie. Zawartość pierwiastków w mieszance traw była zróżnicowana, zależała od obiektu i roku badań, a mieściła się w zakresie: 49,57–104,99 mg Fe, 0,04–0,58 mg Co, 20,67–713,87 mg Mn, 20,81–42,69 mg Al i 28,78–64,07 mg Si na 1 kg suchej masy. W miarę zwiększania się udziału procentowego mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych w glebie wzrastała systematycznie zawartość krzemu, a malała zawartość żelaza, kobaltu, manganu i glinu w roślinach.

Słowa kluczowe: mieszanka traw, *Lotus corniculatus* L., plon, Fe, Co, Mn, Al, Si, osad ściekowy, popiół, torf

WSTĘP

Opady paleniskowe i osady ściekowe stanowią potencjalne źródło metali ciężkich oddziałujących fitotoksycznie, ale zawierają również pierwiastki potrzebne roślinom.

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Jacek Antonkiewicz, Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków,
e-mail: rrantonk@cyf-kr.edu.pl

nom, korzystne z punktu widzenia rolnictwa, takie jak m.in. żelazo, kobalt, mangan, glin i krzem [Maciak i in. 1976, White i Case 1990, Woolard i in. 2002]. Trawy mogą akumulować do 3% krzemionki w stosunku do suchej masy roślin [Takahashi i Miyake 1976, Sawant i in. 1997]. Funkcja krzemu nie została do końca wyjaśniona. Wielu badaczy, m.in. Brogowski [2000] oraz Badora i Grenda [2001], uważa, że krzem pobierany z podłoża pełni szereg funkcji w roślinach. Na przykład, wchodząc w skład ścian komórkowych, powoduje sztywność źdźbeł ryżu i innych roślin z rodziny traw. Krzemionka ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) pośredniczy w pobieraniu składników z roztworów glebowych i zapobiega toksycznemu działaniu na rośliny pierwiastków takich jak mangan, żelazo, glin, cynk i inne, gdy występują w glebie w nadmiernym stężeniu [Brogowski 2000].

Popiół jest materiałem niejednorodnym, a jego skład chemiczny i właściwości zależą od jakości spalonego węgla i sposobu składowania. Z tych względów zastosowanie go w rolnictwie lub rekultywacji gleb wymaga ustalenia składu chemicznego popiołu z poszczególnych partii użytego węgla [Bogacz i in. 1995, Bender i Gilewska 2004, Gilewska 2004]. Dodając do gleby popioły paleniskowe lub mieszaniny popiołowo-osadowe i popiołowo-torfowe, polepsza się stan odżywienia roślin makro- i mikroelementami [Kalembasa i Wysokiński 2002b, Antonkiewicz 2005].

Celem badań było poznanie wpływu osadu, popiołu i torfu oraz mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych dodawanych do gleby we wzrastającej dawce na plon uprawianych roślin i zawartość w nich żelaza, kobaltu, manganu, glinu i krzemu.

MATERIAŁ I METODY

Badania wykonano w latach 2003–2005 w warunkach doświadczenia wazonowego. Użyto gleby mineralnej o składzie granulometrycznym pyłu ilastego (tab. 1). Gleba zawierała 18% piasku, 8% pyłu grubego, 36% pyłu drobnego, 24% łu pyłowego grubego, 9% łu pyłowego drobnego i 5% łu koloidalnego [Systematyka... 1989]. Pozostałymi materiałami zastosowanymi w doświadczeniu były osad, popiół i torf. Komunalny osad ściekowy, ustabilizowany w procesie mezofilnej fermentacji metanowej, pochodził z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Oświęcimiu. Popiół paleniskowy był mieszaniną popiołowo-żużłową z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych ze spalania węgla kamiennego (numer 10 01 80 w Katalogu odpadów [2001]).

Zawartość żelaza i manganu w glebie mineralnej była mniejsza niż w osadzie i popiele, a zawartość w nich krzemu była porównywalna. Najwięcej kobaltu zawierał popiół paleniskowy. Torf użyty w doświadczeniu cechował się najniższą zawartością wszystkich badanych pierwiastków, tj. żelaza, kobaltu, manganu, glinu i krzemu (tab. 1).

Doświadczenie przeprowadzono w czterech powtórzeniach, w wazonach polietylenowych o pojemności 6 kg napełnionych mieszaninami popiołowo-osadowymi i popiołowo-torfowymi, samymi komponentami wchodzącymi w skład mieszanin oraz glebą z dodatkiem mieszanin.

Tabela 1. Charakterystyka fizykochemiczna materiałów zastosowanych w doświadczeniu
 Table 1. Physicochemical characteristics of materials used in experiment

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Gleba Soil	Osad Sludge	Popiół Ash	Torf Peat
pH_{KCl}		4,60	6,67	9,85	4,82
pH_{H_2O}		4,73	6,82	10,06	5,26
Skład granulometryczny gleby Soil texture		pli	psp	gpp	-
Fe		11 525,00	28 250,00	39 950,00	797,50
Co		9,40	7,80	16,30	0,20
Mn	mg · kg ⁻¹ s.m.	459,50	251,75	857,50	39,18
Al	mg · kg ⁻¹ d.m.	11 900,00	6 525,00	13 775,00	617,50
Si		752,50	722,50	884,75	394,50

pli – pył ilasty – clayey silt, psp – piasek słabo gliniasty pylasty – weakly loamy silty sand,

gpp – glina piaszczysta pylasta – sandy loam silt

Doświadczenie obejmowało następujące obiekty (patrz tab. 2, s. 65):

- I – obiekt kontrolny (gleba mineralna),
- II – osad ściekowy miejski (O),
- III – popiół paleniskowy pochodzący ze spalania węgla kamiennego (P),
- IV – torf niski (T),
- V – mieszaninę popiołowo-osadową o stosunku wagowym P:O = 1:1 (PO),
- VI – mieszaninę popiołowo-torfową o stosunku wagowym P:T = 1:1 (PT),
- VII–XVIII – glebę z dodatkiem mieszanin PO i PT w ilości stanowiącej od 1 do 30% ogólnej masy gleby.

We wszystkich wazonach stosowano corocznie stałe nawożenie NPK w ilości: 0,3 g N, 0,08 g P i 0,2 g K na 1 kg gleby, w formie NH_4NO_3 , KH_2PO_4 i KCl. W pierwszym roku na dwa tygodnie przed wysianiem roślin zastosowano nawozy mineralne w formie roztworów i dokładnie wymieszano z podłożem. W drugim i trzecim roku badań nawozy stosowano wczesną wiosną przed ruszeniem vegetacji mieszanki roślin.

Mieszanekę traw z komoniką zwyczajną wysiano 25 kwietnia 2003 r. w ilości 85 nasion na wazon. W skład testowanej mieszanki weszły: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) – 47%, kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea* Schreb.) – 17,5%, wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.) – 23,5% i komonica zwyczajna (*Lotus corniculatus* L.) – 12%. W czasie vegetacji rośliny podlewano wodą redestylowaną, utrzymując wilgotność gleby na poziomie 60% maksymalnej pojemności wodnej. Zbiór mieszanki roślin przeprowadzano corocznie w trzech pokosach. Rośliny zbierano z każdego wazonu (powtórzenia).

Po zbiorze i wysuszeniu w suszarce w temperaturze 75°C określano wielkość plonu suchej masy (w gramach na wazon). Do analizy chemicznej pobierano próbkę (5 g s.m.) materiału roślinnego z każdego wazonu i pokosu. W materiale roślinnym po mineralizacji na sucho oznaczano zawartość Fe, Co, Mn, Al i Si metodą atomowej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-AES).

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 $\alpha = 0,01$. Obliczono współczynniki zmienności opisujące zmienność zawartości badanych pierwiastków w plonie roślin.

WYNIKI

Plon

Wielkość plonu mieszanki traw z koniczą zwyczajną była zróżnicowana i w zależności od obiektu i roku badań kształtowała się w zakresie 9,61–135,38 g na wazon. Sumaryczny plon z trzech lat badań (2003–2005) wynosił od 36,26 do 375,89 g na wazon (tab. 2). W obiektach, w których do gleby dodano mieszaniny popiołowo-osadowe w ilości od 1 do 30% w stosunku do jej ogólnej masy (obiekty VII–XII), sumaryczny plon mieszanki traw był istotnie większy niż w obiekcie kontrolnym (gleba mineralna) – o 3 do 44% zależnie od obiektu. Również w obiekcie zawierającym wyłącznie mieszaninę popiołowo-osadową (obiekt V) plon testowanej mieszanki roślin był wyższy (o ponad 35%) w porównaniu z obiektem kontrolnym. Spośród badanych wariantów nawozowych istotnie najwyższy plon uzyskano w obiekcie, w którym zastosowano dodatek 30% mieszaniny popiołowo-osadowej. Użycie wyłącznie osadu, popiołu, torfu oraz mieszaniny popiołowo-torfowej (obiekty II–IV i VI) spowodowało istotne obniżenie plonu suchej masy mieszanki w stosunku do obiektu kontrolnego, największe – o ponad 86% – w obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie torf. W przypadku samego popiołu paleniskowego plon był niższy o 40%, a mieszaniny popiołowo-torfowej – o 31,41% niż w obiekcie kontrolnym. Najślabszy niekorzystny wpływ na plon mieszanki roślin wywarł osad ściekowy (zmniejszenie o 16,71%). Dodatek do gleby mieszanin popiołowo-torfowych w ilości od 5 do 30% (obiekty XV–XVIII) wywołał obniżenie plonu w stosunku do obiektu kontrolnego o 5–20% zależnie od obiektu.

Wyższe zbiory uzyskano w drugim i trzecim roku badań (tab. 2), z wyjątkiem obiektu IV (sam torf), w którym najwyższe plony zarejestrowano w pierwszym roku badań. W przypadku dodatku mieszanin popiołowo-torfowych do gleby wielkość plonu w poszczególnych latach była wyrównana. Warto nadmienić, że skład botaniczny testowanej mieszanki był stabilny w całym okresie badań.

Pierwiastki

Wyniki badań przedstawiono jako średnią ważoną z trzech pokosów z poszczególnych lat oraz średnią ważoną z całego okresu badań (2003–2005). Zawartość wybranych pierwiastków w mieszance traw z koniczą zwyczajną była zróżnicowana i zależała od rodzaju materiału, na którym prowadzono uprawę (obiektu), i roku doświadczenia (tab. 2, 3). Spośród badanych pierwiastków największym zróżnicowaniem charakteryzował się kobalt ($V = 100,91\%$), a najmniejszym – żelazo ($V = 14,48\%$).

Tabela 2. Plon mieszanki traw z komonica zwyczajną ($g \cdot wazon^{-1}$) oraz zawartość żelaza i kobaltu w mieszance ($mg \cdot kg^{-1}$ s.m.)
 Tabela 2. Yield of grass mixture with birdsfoot trefoil ($g \cdot pot^{-1}$) and iron and cobalt contents of mixture ($mg \cdot kg^{-1}$ d.m.)

nr - No	nazwa name	Plon - Yield					Fe					Co						
		2003	2004	2005	suma total	2003	2004	2005	2004	2005	2003	2004	2005	srednia wazona weighted mean	2003	2004	2005	srednia wazona weighted mean
I	kontrola control	84,61	88,68	87,49	260,78	85,71	70,57	73,17	76,37	0,82	0,46	0,46	0,58					
II	O	66,33	81,74	69,13	217,19	105,50	88,28	124,06	104,99	0,10	0,09	0,09	0,09					
III	P	34,61	68,00	54,05	156,66	93,94	61,59	89,06	78,21	0,05	0,04	0,06	0,05					
IV	T	16,90	9,75	9,61	36,26	41,41	59,14	54,11	49,57	0,05	0,05	0,05	0,05					
V	PO	103,31	126,04	123,54	352,89	91,20	62,40	86,03	79,10	0,02	0,05	0,05	0,04					
VI	PT	43,69	70,26	64,91	178,86	94,53	67,42	71,63	75,66	0,04	0,04	0,04	0,04					
VII	PO 1%	83,71	95,61	89,98	269,29	107,22	75,34	91,24	90,57	0,79	0,49	0,46	0,57					
VIII	PO 2%	85,76	104,25	95,80	285,80	100,27	72,79	82,85	84,40	0,68	0,35	0,33	0,44					
IX	PO 5%	88,89	113,38	106,61	308,88	97,16	71,06	76,43	80,40	0,28	0,21	0,21	0,23					
X	PO 10%	99,16	119,71	116,26	335,12	89,15	67,74	73,76	76,17	0,17	0,13	0,14	0,14					
XI	PO 20%	102,69	127,97	124,50	355,17	80,57	65,61	71,43	72,00	0,10	0,07	0,06	0,08					
XII	PO 30%	107,16	135,38	133,36	375,89	81,67	62,51	67,68	69,79	0,07	0,06	0,05	0,06					
XIII	PT 1%	83,29	92,02	88,92	264,23	89,64	75,08	81,82	81,91	0,60	0,39	0,42	0,47					
XIV	PT 2%	85,94	86,47	88,07	260,48	84,24	71,99	80,04	78,74	0,37	0,22	0,25	0,28					
XV	PT 5%	85,61	82,04	80,48	248,13	82,20	67,89	73,91	74,80	0,15	0,15	0,16	0,15					
XVI	PT 10%	80,22	79,39	75,67	235,27	84,15	62,44	70,15	72,34	0,06	0,08	0,08	0,07					
XVII	PT 20%	75,30	74,91	72,23	222,44	83,05	60,95	66,19	70,14	0,04	0,06	0,07	0,05					
XVIII	PT 30%	67,91	71,59	67,26	206,76	77,75	56,92	63,02	65,76	0,02	0,05	0,04	0,04					
V%		31,28	32,42	34,39	32,17	16,35	11,09	19,19	14,48	114,67	92,69	91,27	100,91					
NRI _{g=0,01} - LSD		3,36	3,32	3,35	6,55	10,73	11,24	7,42	5,74	0,08	0,04	0,02	0,03					

I (kontrola) – gleba mineralna – I (control) – mineral soil; O – osad – sludge, P – popiół – ash, T – torf – peat; PO, PT – mieszanina P z O lub T w stosunku wagowym 1 : 1 – blend of P with O or T at weight ratio 1 : 1; PO 1–30%, PT 1–30% – gleba z dodatkiem mieszaniny w ilości 1–30% ogólnej masy gleby – soil with addition of blend in proportion of 1–30% of total weight of soil
 V% – współczynnik zmienności – coefficient of variation

Tabela 3. Zawartość manganu, glinu i krzemu w mieszance traw z komonicą zwyczajną ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)
 Table 3. Manganese, aluminium and silicon contents of grass mixture with birdsfoot trefoil ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)

nr - No	nazwa name	Mn			Al			Si			średnia ważona weighted mean		
		2003	2004	2005	średnia ważona weighted mean	2003	2004	2005	2003	2004		2005	
I	kontrola control	647,50	767,72	455,13	623,63	39,82	32,25	35,17	35,70	23,07	72,67	41,20	46,02
II	O	110,59	237,82	203,77	187,98	33,14	29,94	30,19	31,00	15,60	72,45	32,62	42,42
III	P	21,47	24,06	28,91	25,16	48,18	24,15	24,57	29,59	34,60	72,27	53,27	57,40
IV	T	69,58	73,31	39,44	62,59	23,39	21,39	17,39	21,28	17,85	51,02	25,37	28,78
V	PO	22,74	19,94	19,68	20,67	34,21	27,31	22,26	27,56	45,25	81,21	43,19	57,37
VI	PT	31,94	31,00	15,44	25,56	39,41	24,60	17,67	25,70	44,56	79,66	38,54	56,25
VII	PO 1%	865,03	829,50	450,19	713,87	56,57	38,44	34,33	42,69	23,02	61,28	40,77	42,53
VIII	PO 2%	711,33	715,73	397,72	607,86	43,44	34,83	31,90	36,44	26,14	63,52	41,87	45,05
IX	PO 5%	503,89	630,33	358,43	500,05	38,50	33,60	28,50	33,26	29,56	73,75	42,91	50,36
X	PO 10%	449,41	459,96	234,12	378,52	33,05	28,94	23,84	28,39	39,62	76,33	44,43	54,41
XI	PO 20%	249,88	254,93	145,72	215,25	31,72	22,77	20,30	24,49	49,49	77,55	46,52	58,55
XII	PO 30%	192,31	150,28	60,65	130,45	31,18	21,46	17,49	22,82	62,81	80,06	48,83	64,07
XIII	PT 1%	687,74	760,60	423,43	624,23	50,12	37,33	32,16	39,61	30,02	56,31	41,47	43,03
XIV	PT 2%	617,89	519,91	347,55	493,96	35,21	33,84	29,44	32,80	33,50	62,75	42,39	46,22
XV	PT 5%	290,20	350,86	173,54	272,25	33,60	29,47	26,94	30,07	41,41	65,85	44,97	50,70
XVI	PT 10%	72,35	164,04	90,44	109,12	31,50	27,31	21,90	27,00	45,42	74,73	45,78	55,42
XVII	PT 20%	60,18	96,95	63,41	73,64	28,80	22,33	18,20	23,18	46,76	77,73	46,85	57,19
XVIII	PT 30%	32,95	54,80	45,65	44,61	26,00	21,59	14,76	20,81	50,12	79,73	47,81	59,61
V%		92,66	86,05	83,67	87,24	23,48	19,91	26,04	21,20	34,83	12,51	14,51	16,97
NRI _{0,01} - LSD _{0,01}		52,62	65,43	18,61	30,96	5,96	4,86	1,83	2,53	6,24	13,25	2,16	5,39

Objasnienia jak w tabeli 2 – See Table 2 for explanation of symbols

Żelazo. Średnia ważona (2003–2005) zawartość żelaza w mieszance traw kształtowała się w zakresie 49,57–104,99 mg·kg⁻¹ s.m. Niewielki dodatek mieszaniny popiołowo-osadowej, 1–2% w stosunku do ogólnej masy gleby, spowodował istotny wzrost (w porównaniu z obiektem kontrolnym) zawartości żelaza w mieszance. Kolejne wrażliwe dawki tej mieszaniny wywoływały sukcesywne zmniejszanie się zawartości żelaza. Istotny spadek zawartości tego pierwiastka w roślinach zarejestrowano w obiekcie z 30-procentowym dodatkiem mieszaniny popiołowo-osadowej (obiekt XII). Dodatek do gleby mieszanin popiołowo-torfowych w ilości 20–30% w stosunku do ogólnej masy gleby (obiekty XVII i XVIII) spowodował istotne obniżenie się zawartości żelaza w mieszance roślin. Mieszaniny popiołowo-torfowe w większym stopniu niż popiołowo-osadowe hamowały pobieranie żelaza przez rośliny. Istotnie najwyższą zawartość żelaza stwierdzono w mieszance roślin uprawianych wyłącznie na osadzie (obiekt II), a najniższą – na torfie (obiekt IV). Zastosowanie w doświadczeniu wyłącznie popiołu oraz wymieszanie popiołu z osadem lub torfem (obiekty III, V i VI) nie miało istotnego wpływu na wzrost lub spadek zawartości żelaza w mieszance roślin. Zawartość żelaza w poszczególnych latach badań była zróżnicowana, największa – w pierwszym roku, a najmniejsza – w drugim roku badań.

Kobalt. Średnia ważona (2003–2005) zawartość kobaltu w mieszance traw mieściła się w przedziale 0,04–0,58 mg·kg⁻¹ s.m. W przypadku uprawy na glebie z dodatkiem mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych zawartość kobaltu w mieszance była istotnie niższa niż w obiekcie kontrolnym: w obiekcie XII, w którym zastosowano 30-procentowy dodatek mieszaniny popiołowo-osadowej – o 89,87%, a w obiekcie XVIII, w którym zastosowano 30-procentowy dodatek mieszaniny popiołowo-torfowej – o ponad 93%. Użycie samych komponentów oraz ich mieszanin (obiekty II–VI) również istotnie wpłynęło na zmniejszenie zawartości kobaltu w mieszance roślin w stosunku do obiektu kontrolnego. Z badań wynika, że źródłem kobaltu w testowanej mieszance roślin była gleba mineralna. W pierwszym roku wegetacji zawartość kobaltu była znacznie wyższa niż w drugim i trzecim roku uprawy.

Mangan. Średnia ważona (2003–2005) zawartość manganu w mieszance traw kształtowała się w granicach 20,67–713,87 mg·kg⁻¹ s.m. Zastosowanie dodatku mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych do gleby w ilości 2–30% jej ogólnej masy wpłynęło istotnie na zmniejszenie zawartości tego mikroelementu w mieszance roślin. W przypadku obiektu XII z 30-procentowym dodatkiem mieszaniny popiołowo-osadowej obniżenie w stosunku do obiektu kontrolnego wynosiło 79,08%, a w obiekcie XVIII z takim samym dodatkiem mieszaniny popiołowo-torfowej – ponad 92%. Użycie wyłącznie osadu, popiołu, torfu oraz ich mieszanin (obiekty II–VI) spowodowało istotny spadek zawartości manganu w mieszance roślin. Był on największy – ponad 95% w stosunku do obiektu kontrolnego – w obiektach, w których zastosowano wyłącznie popiół, mieszaninę popiołowo-osadową i mieszaninę popiołowo-torfową (III, V i VI). Obniżenie zawartości manganu w obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie torf, wynosiło ok. 90%, a w obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie osad – ok. 70% w porównaniu z obiektem kontrolnym. W pierwszych dwóch latach wegetacji zawartość manganu w mieszance roślin była w miarę wyrównana, natomiast w trzecim roku wegetacji znacznie się zmniejszyła.

Glin. Średnia ważona (2003–2005) zawartość glinu w materiale roślinnym wynosiła od 20,81 do 42,69 mg·kg⁻¹ s.m. Dodatek do gleby mieszanin popiołowo-osadowych w ilości

10–30% w stosunku do jej ogólnej masy spowodował zmniejszenie się zawartości glinu w mieszance roślin. Przy najwyższej dawce mieszaniny obniżenie zawartości glinu wynosiło 36,07% w stosunku do obiektu kontrolnego. Niekorzystny wpływ na zawartość glinu w mieszance roślin miał także dodatek mieszanin popiołowo-torfowych w ilości 2–30% w stosunku do ogólnej masy gleby. Stwierdzono, że mieszaniny popiołowo-torfowe w większym stopniu hamowały pobieranie glinu przez rośliny niż mieszaniny popiołowo-osadowe. Mieszanka traw z komoniką zwyczajną uprawiana wyłącznie na osadzie, popiele, torfie oraz ich mieszaninach (obiekty II–VI) charakteryzowała się mniejszą zawartością glinu niż mieszanka uprawiana na glebie mineralnej. Zawartość glinu w mieszance była największa w pierwszym roku, a najmniejsza – w trzecim roku badań.

Krzem. Średnia ważona (2003–2005) zawartość krzemu w mieszance roślin wynosiła od 28,78 do 64,07 mg · kg⁻¹ s.m. Dodatek do gleby mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych w ilości 10–30% w stosunku do ogólnej masy gleby powodował istotny wzrost zawartości krzemu w mieszance. Przy 30-procentowym dodatku mieszanin wzrost ten wynosił odpowiednio 39,20 i 29,53% w stosunku do obiektu kontrolnego. Zastosowanie wyłącznie popiołu, torfu oraz mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych (obiekty III–VI) również istotnie wpływało na wzrost zawartości krzemu w materiale roślinnym. Największą zawartość krzemu stwierdzono w drugim roku wegetacji.

Optymalna zawartość żelaza i manganu w roślinach przeznaczonych na pasze wynosi (mg · kg⁻¹ s.m.): Fe – 50, Mn – 50–60 [Preś i Kinal 1996, Trzaskoś 1996]. Według tego kryterium, zawartość żelaza w mieszance roślin uprawianej na glebie z dodatkiem wzrastającego udziału mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych znajdowała się na poziomie optymalnym, natomiast zawartość manganu przekraczała optymalną wartość. Według Bergmanna [1966], wyróżnia się trzy klasy zawartości kobaltu w roślinach przeznaczonych na paszę: poniżej 0,07 mg · kg⁻¹ s.m. – zasobność niedostateczna, 0,07–0,12 mg · kg⁻¹ s.m. – zasobność średnia, ponad 0,12 mg · kg⁻¹ s.m. – zasobność wystarczająca. Jeżeli otrzymane wyniki odnieść do niemieckich norm stosowanych przy wycenie wartości paszowej siana [Bergmann 1966], to mieszanka roślin uprawiana w warunkach kontrolnych, a także na mieszaninach popiołowo-osadowych dodanych do gleby w ilości od 1 do 10% oraz na mieszaninach popiołowo-torfowych dodanych do gleby w ilości od 1 do 5% w stosunku do ogólnej masy gleby miała wystarczającą zawartość Co. W przypadku większego udziału mieszanin – powyżej 10% popiołowo-osadowych i powyżej 5% popiołowo-torfowych – w mieszance roślin występował niedobór kobaltu.

DYSKUSJA

Badając wpływ mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych na plon i zawartość Fe, Co, Mn, Al i Si w mieszance traw z komoniką zwyczajną stwierdzono, że dodatek do gleby mieszanin popiołowo-osadowych powoduje wzrost plonu mieszanki traw, natomiast użycie mieszanin popiołu z torfem przyczynia się do jego obniżenia. Badania Kalembasy i Wysokińskiego [2002a] potwierdzają korzystny wpływ dodatku popiołu do osadu na wzrost plonu roślin. Nowak i Ciećko [1983] wykazali, że wymieszanie popiołu z korą powoduje obniżenie plonu kukurydzy i owsa. Wprowadzenie do gleby

zbyt dużej masy popiołu może doprowadzić do zalkalizowania środowiska i zachwiania istniejącej w nim równowagi jonów oraz odbić się niekorzystnie na plonowaniu roślin [Terelak i Żórawska 1979]. Dodawanie w wysokich dawkach mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych do gleb może wiązać się z osłabieniem zdolności roślin do adaptacji do niekorzystnych warunków podłoża, a w konsekwencji prowadzić do zachwiania ich składu chemicznego [Antonkiewicz i Rapacz 2006].

Dodatek do gleby mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych powodował zmniejszenie się zawartości Fe, Co, Mn i Al i zwiększenie zawartości krzemu w mieszance traw z konicą zwyczajną. Mieszaniny popiołowo-torfowe w większym stopniu niż mieszaniny popiołowo-osadowe hamowały pobieranie żelaza przez rośliny, ponieważ torf ma silne właściwości sorbujące [Sapek 1980]. Zawartość manganu w mieszance roślin uprawianej wyłącznie na popiele była niższa niż zawartość oznaczona przez innych autorów w mieszance traw uprawianej na składowisku popiołów paleniskowych elektrowni Konin [Maciak i in. 1976]. Pod wpływem wzrastającego udziału mieszanin w glebie obniżała się zawartość kobaltu w mieszance roślin. Przyczynę tego stanu rzeczy stanowiło zwiększanie się wartości pH podłoża. Zawartość kobaltu w roślinach wzrasta przy obniżaniu się pH gleby, gdyż w środowisku kwaśnym większa jest rozpuszczalność tego pierwiastka. W glebach obojętnych i zasadowych kobalt ulega silnej sorpcji i przechodzi w formę trudno rozpuszczalną [Greinert 1972, Curyło 1981]. Badania Kaniuczak i innych [2004] wykazały, że zwiększenie wartości pH gleby (wapnowanie) powoduje spadek zawartości kobaltu w roślinach uprawnych. Poziom kobaltu w trawach jest niższy niż w roślinach motylkowych i dwuliściennych [Curyło 1982]. Gericke [1962] podaje, że zawartość kobaltu w trawach, motylkowych i dwuliściennych układa się w stosunku 1 : 2 : 3. Oznacza to, że rośliny dwuliścienne są zasobniejsze w kobalt niż trawy.

Niektórzy autorzy zauważyli, że obecność jonów krzemowych w środowisku wpływa antagonistycznie na pobieranie Mn, Fe i Al przez rośliny [Cocker i in. 1998, Badora 2001]. Wyniki badań omawianych w niniejszej pracy wskazują na wzrost zawartości krzemu i spadek zawartości manganu, żelaza i glinu w roślinach pod wpływem wzrastającego udziału mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych w glebie. W badaniach nad pszenicą Malik i Epstein [1999] stwierdzili, że 90% krzemu obecnego w roztworze w postaci rozpuszczalnych związków jest bardzo łatwo absorbowane przez korzenie roślin i bardzo szybko transportowane do części nadziemnych. Popioły paleniskowe zastosowane w niniejszym doświadczeniu były dla roślin potencjalnym źródłem przyswajalnej krzemionki (tab. 1, 3). Badora i Grenda [2001] stwierdzają, że obecność jonów krzemianowych w pożywce powoduje znaczące obniżenie zawartości glinu w roślinach. Z kolei Marschner i inni [1990] dowodzą, że obecność krzemu w środowisku sprzyja pojawianiu się w roślinach nadmiaru lub niedoboru niektórych pierwiastków, w tym Mn, Fe i Al.

PODSUMOWANIE

Dodatek do gleby mieszanin popiołowo-osadowych we wzrastającej dawce spowodował istotne zwiększenie się plonu mieszanki traw z konicą zwyczajną, natomiast dodatek mieszanin popiołowo-torfowych przyczynił się do zmniejszenia plonu w stosunku do uprawy na glebie mineralnej.

Gdy stosowano samą mieszaninę popiołowo-osadową, plon mieszanki roślin był istotnie wyższy od uzyskanego z uprawy na glebie mineralnej, a w przypadku użycia samego popiołu, torfu, osadu lub mieszaniny popiołowo-torfowej był istotnie niższy.

W miarę wzrostu procentowego udziału mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych w glebie systematycznie malała zawartość żelaza, kobaltu, manganu i glinu, a wzrastała zawartość krzemu w mieszance roślin.

Osad ściekowy wpłynął na zwiększenie się zawartości żelaza i zmniejszenie zawartości kobaltu, manganu i glinu w mieszance traw, podczas gdy popiół paleniskowy przyczynił się do wzrostu zawartości krzemu i spadku zawartości kobaltu, manganu i glinu.

Użycie samych mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych spowodowało zwiększenie się zawartości krzemu i zmniejszenie zawartości kobaltu, manganu i glinu w mieszance traw.

PIŚMIENNICTWO

- Antonkiewicz J., 2005. Wpływ osadów ściekowych i popiołów paleniskowych oraz ich mieszanin na plonowanie i zawartość azotu w mieszance traw i roślin motylkowych. *Fragm. Agron.* 22, 1 (85), 336–345.
- Antonkiewicz J., Rapacz M., 2006. Ocena aktywności fotosyntetycznej roślin uprawianych na osadach ściekowych i popiołach paleniskowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 509, 187–196.
- Badora A., Grenda A., 2001. Niektóre aspekty obecności krzemu w środowisku. *Zesz. Nauk. AR Krak.*, Sesja Nauk. 76, 339–349.
- Bender J., Gilewska M., 2004. Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń. *Rocz. Glebozn.* 55, 2, 29–46.
- Bergmann W., 1966. Die Mineralstoffernährung von Pflanze und Tier. *Tagungs-Berichte* 85, 11.
- Bogacz A., Chodak T., Szerszeń L., 1995. Badania nad przydatnością popiołów lotnych z elektrowni Opolo do zagospodarowania rolniczego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418, 671–676.
- Brogowski Z., 2000. Krzem w glebie i jego rola w żywieniu roślin. *Post. Nauk Rol.* 6, 9–16.
- Cocker K.M., Evans D.E., Hodson M.J., 1998. The amelioration of aluminium toxicity by silicon in wheat (*Triticum aestivum* L.): malate exudation as evidence for an *in planta* mechanism. *Planta* 204, 318–323.
- Curyło T., 1981. Wpływ niektórych właściwości gleby i poziomu nawożenia NPK na pobieranie kobaltu przez rośliny. Cz. I. Wyniki badań nad zależnością między zawartością kobaltu w glebach i roślinach. *Acta Agr. Silv., Ser. Agraria* 20, 57–80.
- Curyło T., 1982. Wpływ niektórych właściwości gleby i poziomu nawożenia NPK na pobieranie kobaltu przez rośliny. Cz. II. Wpływ wieloletniego zróżnicowanego nawożenia NPK na zawartość kobaltu w runi łąkowej. *Acta Agr. Silv., Ser. Agraria* 21, 3–30.
- Gericke S., 1962. Wirkung der Thomasphosphatdüngung auf den Kobaltgehalt von Wiesenheu. *Phosphorsäure* 22, 48.
- Gilewska M., 2004. Rekultywacja biologiczna składowisk popiołowych z węgla brunatnego. *Rocz. Glebozn.* 55, 2, 103–110.
- Greinert H., 1972. Zagadnienia kobaltu w glebach murszowych. *WSR Szczecin, Rozprawy* 28.
- Kalembasa S., Wysokiński A., 2002a. Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem węgla brunatnego lub z CaO na plon i skład chemiczny roślin. Cz. I. Plon roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 482, 251–256.
- Kalembasa S., Wysokiński A., 2002b. Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem węgla brunatnego lub z CaO na plon i skład chemiczny roślin. Cz. III. Zawartość wybranych mikroskładników. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 482, 263–268.

- Kaniuczak J., Nowak M., Kisiel E., 2004. Wpływ wapnowania i nawożenia mineralnego na zawartość kobaltu w roślinach uprawianych w zmianowaniu. Cz. II. Zawartość kobaltu w ziarnie pszenicy ozimej i jęczmienia jarego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 502, 117–123.
- Katalog odpadów, 2001. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. Nr 112, poz. 1206.
- Maciak F., Liwski S., Biernacka E., 1976. Rekultywacja rolnicza składowisk odpadów paleniskowych (popiołów) z węgla brunatnego i kamiennego. Cz. II. Skład chemiczny roślin ze składowisk popiołu po węglu brunatnym i kamiennym. Roczn. Glebozn. 27, 4, 171–187.
- Malik M.R., Epstein E., 1999. Silicon absorption by wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Soil 211, 223–230.
- Marschner H., Oberle H., Cakmak I., Romheld V., 1990. Growth enhancement by silicon in cucumber (*Cucumis sativus*) plants depends on imbalance in phosphorus and zinc supply. [W:] Plant nutrition – physiology and applications. Red. M.L. van Beusichem. Kluwer Academic Publisher London, 241–249.
- Nowak G.A., Ciecko Z., 1983. Działanie popiołu z węgla kamiennego i kory drzewnej na plonowanie roślin i właściwości gleby. Zesz. Nauk. ART Olszt., Rolnictwo 36, 59–68.
- Preś J., Kinal S., 1996. Aktualne spojrzenie na sprawę zaopatrzenia zwierząt w mikroelementy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434, 1043–1061.
- Sapek B., 1980. Zachowanie się miedzi w zmeliorowanych glebach torfowych z użytków zielonych. Roczn. Nauk Rol., Ser. F Melior. Użyt. Ziel. 80, 1, 13–39.
- Sawant N.K., Snyder G.H., Datnoff L.E., 1997. Silicon management and sustainable rice production. Adv. Agron. 58, 151–159.
- Systematyka gleb Polski, 1989. PTG, Roczn. Glebozn. 40 (3/4).
- Takahashi E., Miyake J., 1976. Distribution of silica accumulator plants in the plant kingdom. (1) Monocotyledons. J. Sci. Soil Manure 47, 296–300.
- Terelak H., Żórawska B., 1979. Wpływ popiołów z węgla brunatnego i odpadów paleniskowych z węgla kamiennego oraz torfu na właściwości gleb lekkich i plonowanie roślin. Roczn. Glebozn. 30 (3), 109–122.
- Trzaskoś M., 1996. Rola ziół łąkowych w ograniczaniu niedoboru mikroelementów w paszy z trwałych użytków zielonych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434, 395–399.
- White S.C., Case E.D., 1990. Characterization of fly ash from coal-fired power plants. J. Mater. Sci. 25, 5215–5219.
- Woolard C.D., Strong J., Erasmus C.R., 2002. Evaluation of the use of modified coal ash as a potential sorbent for organic waste streams. Appl. Geochem. 17, 1159–1164.

EFFECT OF ASH-AND-SLUDGE AND ASH-AND-PEAT BLENDS ON YIELD OF GRASS-BIRDSFOOT TREFOIL MIXTURE AND LEVELS OF SELECTED ELEMENTS IN MIXTURE

Abstract. The studies were designed to examine the influence of varying rates of ash-and-sewage and ash-and-peat blends on the yield of a grass mixture with birdsfoot trefoil and the levels of iron, cobalt, manganese, aluminium and silicon in the mixture. A pot experiment was conducted on mineral soil to which ash-and-sewage and ash-and-peat blends were added at a rate of 1–30% of the total weight of soil. The experimental design included also treatments comprising only individual components of the blends. The yields of plants depended on the treatment and study year, ranging from 9.61 to 135.38 g d.m. · pot⁻¹. The highest yield was obtained in the third year, and the lowest in the first year of experiment. In treatments with ash, peat or their blends the yield was significantly lower than in the control

treatment (mineral soil). Ash-and-sewage blends added to the soil significantly increased the yield, whereas ash-and-peat blends had a decreasing effect. The element contents of the grass mixture varied according to the treatment and study year, and were in the following ranges: 49.57–104.99 mg Fe; 0.04–0.58 mg Co; 20.67–713.87 mg Mn; 20.81–42.69 mg Al; 28.78–64.07 mg Si per kg d.m. The silicon content systematically increased, and the levels of iron, cobalt, manganese and aluminium decreased with the increasing proportion of ash-and-sludge and ash-and-peat blends.

Key words: grass mixture, *Lotus corniculatus* L., yield, Fe, Co, Mn, Al, Si, sewage sludge, ash, peat

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 2.01.2007