



zmie kompostowej następuje wzrost stężenia makroelementów. Procesy obróbki osadów świeżych, polegające na dodawaniu CaO lub innych wypełniaczy alkali-zujących, i składowanie tak otrzymanych mieszanin może mieć znaczący wpływ na możliwość pobierania składników pokarmowych przez rośliny.

Celem przeprowadzonych badań było określenie zawartości potasu, sodu, wapnia i magnezu w roślinach nawożonych kompostowanymi osadami z dodatkiem CaO i popiołu z węgla brunatnego.

#### METODY

Świeże osady ściekowe z mechaniczno-biologicznych oczyszczalni ścieków w Siedlcach i w Łukowie mieszano z CaO lub z popiołem z węgla brunatnego w stosunku 2:1 suchej masy. Popiół o pH 12,1 w 1 mol dm<sup>-3</sup> KCl pochodził z elektrowni Pątnów, spalającej węgiel brunatny z kopalni w Belchatowie. Tak przygotowane mieszaniny kompostowano przez trzy miesiące. W I dekadzie sierpnia otrzymane komposty mieszano z glebą w stosunku wagowym 1:9 i wprowadzono do wazonów w ilości 10 kg. Wykorzystany utwór glebowy o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego pylastego zawierał 9,20 g kg<sup>-1</sup> węgla i 0,63 g kg<sup>-1</sup> azotu oraz wykazywał pH w 1 mol dm<sup>-3</sup> KCl 4,0. Doświadczenie wazonowe prowadzono przez trzy lata, uprawiając w I roku rajgras włoski, natomiast w II i III roku kukurydzę i słonecznik. Corocznie do wazonów wprowadzano 0,44 g P w postaci superfosfatu potrójnego oraz 1,25 g K w postaci siarczanu potasu.

Osady i ich mieszaniny oraz materiał roślinny, wysuszone w 105°C, mineralizowano na sucho w temperaturze 450°C, następnie otrzymany popiół rozpuszczano w 6 mol dm<sup>-3</sup> HCl, odparowywano i w roztworze 10% HCl przenoszono ilościowo do kolb miarowych. Zawartość potasu, sodu, wapnia i magnezu w otrzymanych roztworach podstawowych oznaczono metodą ICP-AES.

#### WYNIKI

Wykorzystane w doświadczeniu materiały organiczne wykazywały zróżnicowaną zawartość potasu, sodu, wapnia i magnezu (tabela 1). Dane literaturowe wskazują na niską zawartość potasu i sodu w osadach ściekowych [Kalembasa i in. 1999; Maćkowiak 2000]. Osady ściekowe z Siedlec i Łukowa zawierały również małą ilość tych pierwiastków, która uległa dodatkowo zmniejszeniu w wyniku dodatku CaO lub popiołu z węgla brunatnego. Obornik i jego mieszaniny z CaO i popiołem były nawozem o wyższej zawartości potasu i sodu

Tabela 1. Zawartość wybranych makroelementów w suchej masie kompostowanych osadów ich mieszanin, g kg<sup>-1</sup>

Table 1. The content of some macroelements in dry matter of composted waste activated sludges and their mixtures, g kg<sup>-1</sup>

Wyszczególnienie Specification		Potas (K) Potassium	Sód (Na) Sodium	Wapń (Ca) Calcium	Magnez (Mg) Magnesium
Osad z Siedlec Waste from Siedlec	bez dodatku without addition	3,15	0,89	43,59	7,85
	CaO	2,28	0,65	239,70	5,10
	popiół ash	2,38	0,66	64,55	6,90
Osad z Łukowa Waste from Łuków	bez dodatku without addition	2,67	1,31	35,21	4,10
	CaO	1,42	0,72	194,10	3,29
	popiół ash	1,80	0,88	58,80	4,60
Obornik FYM	bez dodatku without addition	20,10	3,00	19,21	4,16
	CaO	11,96	1,69	210,50	3,09
	popiół ash	12,56	2,25	46,66	4,01
Popiół z węgla brunatnego Ash from brown coal		0,82	0,02	102,50	5,59

Tabela 2. Zawartość wapnia (Ca) w suchej masie roślin, g kg<sup>-1</sup>

Table 2. The content of calcium in dry matter of tested plants, g kg<sup>-1</sup>

Wyszczególnienie Specification		w I roku 1 <sup>st</sup> year of experiment		w II roku 2 <sup>nd</sup> year of experiment		w III roku 3 <sup>rd</sup> year of experiment	
		rajgras ryegrass	rajgras ryegrass	kukurydza maize	słonecznik sunflower	kukury- dzamaize	słonecznik sunflower
Obiekt kontrolny Control object		7,27	8,64	3,45	11,32	3,47	19,76
CaO		10,56	10,78	4,42	14,80	3,99	22,43
Popiół Ash		7,33	8,17	4,09	13,52	3,52	22,25
Osad z Siedlec Waste from Siedlec	bez dodatku without addition	5,44	6,41	4,76	14,74	3,56	22,50
	CaO	5,71	7,94	5,39	20,72	3,69	24,57
	popiół ash	5,10	5,80	4,75	18,07	3,61	24,08
Osad z Łukowa Waste from Łuków	bez dodatku without addition	4,69	6,29	3,83	13,88	3,21	22,00
	CaO	6,36	8,65	4,37	18,41	3,93	24,58
	popiół ash	4,90	7,69	3,89	15,64	3,30	23,44
Obornik FYM	bez dodatku without addition	3,83	3,30	3,77	16,71	3,44	19,68
	CaO	4,52	4,59	5,60	18,34	3,75	24,10
	popiół ash	5,52	5,33	4,74	17,51	3,74	24,04

Tabela 3. Zawartość magnezu (Mg) w suchej masie roślin, g kg<sup>-1</sup>  
 Table 3 The content of magnesium in dry matter of tested plants, g kg<sup>-1</sup>

Wyszczególnienie Specification		w I roku 1 <sup>st</sup> year of ex- periment		w II roku 2 <sup>nd</sup> year of experiment		w III roku 3 <sup>rd</sup> year of experiment	
		rajgras ryegrass	rajgras ryegrass	kukurydza maize	słonecznik sunflower	kukury- dzamaize	słonecznik sunflower
Obiekt kontrolny Control object		1,55	3,11	1,98	5,65	1,59	5,83
CaO		1,39	1,72	1,47	4,78	1,69	5,21
Popiół Ash		1,51	2,49	2,01	6,15	1,84	6,06
Osad z Siedlec Waste from Siedlce	bez dodatku without addition	3,69	5,06	2,86	5,27	2,08	7,30
	CaO	1,71	2,82	2,15	3,90	1,81	5,70
	popiół ash	2,80	3,08	2,28	5,17	1,75	6,35
Osad z Łukowa Waste from Łuków	bez dodatku without addition	1,30	2,08	2,29	5,33	1,89	7,46
	CaO	1,78	2,71	1,83	3,96	1,69	4,71
	popiół ash	1,95	3,19	1,92	4,55	1,70	5,20
Obornik Fym	bez dodatku without addition	0,26	0,54	2,10	5,65	1,96	7,04
	CaO	1,21	1,96	2,66	4,99	1,61	6,24
	popiół ash	0,81	2,03	2,77	5,22	1,77	6,55

w porównaniu z osadami ściekowymi, co potwierdzają wyniki Maćkowiaka i Żebrowskiego [2000]. W wyniku dodatku popiołu o wysokiej zawartości wapnia i magnezu otrzymano mieszaniny o zbliżonej zawartości magnezu do osadów bez dodatku i przewyższającej osady zawartością wapnia. Osady ściekowe zawierały znaczne ilości magnezu i wapnia, przewyższając pod tym względem obornik. Dodatek CaO do osadów rozcieńczył koncentrację magnezu, ale znacznie wzbogacił mieszaniny w wapń.

Zawartość badanych pierwiastków w roślinach testowych przedstawiono w tabelach 2, 3, 4 i 5. Zawartość wapnia w roślinach nawożonych osadami ściekowymi z dodatkiem CaO była wyższa w porównaniu z roślinami uprawianymi na osadach bez dodatku lub z dodatkiem popiołu. Podobny wpływ nawapnianych osadów ściekowych na zawartość wapnia wykazał Kalembasa i Wysokiński [2002]. Rośliny nawożone osadami z dodatkiem popiołu wykazywały znaczne zróżnicowanie pod względem zawartości wapnia, a uzyskane wartości były zarówno niższe, jak i wyższe w porównaniu z ilością wapnia w roślinach zbieranych z obiektów nawożonych osadami bez dodatków. Rajgras nawożony osadem ściekowym z Siedlec z dodatkiem popiołu zawierał mniej wapnia niż

rajgras nawożony samym osadem. Dodatek popiołu do osadu z Łukowa spowodował wzrost zawartości wapnia w rajgrasie nawożonym tą mieszaniną w porównaniu z koncentracją wapnia w roślinach zbieranych z obiektów, gdzie stosowano osad bez dodatku. Zawartość wapnia w kukurydzy była zbliżona na obiektach nawożonych osadami bez dodatku i po zastosowaniu mieszanin osadów z popiołem. Słonecznik nawożony osadami z dodatkiem popiołu zawierał większą ilość wapnia niż słonecznik uprawiany na osadach bez dodatku. Nawożenie organiczne w I roku po zastosowaniu wyraźnie obniżyło zawartość wapnia w roślinach w porównaniu z obiektem kontrolnym, natomiast w II i III roku doświadczenia nie stwierdzono tego typu zależności.

Tabela 4. Zawartość potasu (K) w suchej masie roślin, g kg<sup>-1</sup>  
Table 4. The content of potassium in dry matter of tested plants, g kg<sup>-1</sup>

Wyszczególnienie Specification		w I roku 1 <sup>st</sup> year of experiment		w II roku 2 <sup>nd</sup> year of experiment		w III roku 3 <sup>rd</sup> year of experiment	
		rajgras ryegrass	rajgras ryegrass	kukurydza maize	słonecznik sunflower	kukury- dzamaize	słonecznik sunflower
Obiekt kontrolny Control object		32,78	26,22	29,05	30,59	15,79	20,72
CaO		36,10	25,07	27,50	40,42	18,59	13,95
Popiół Ash		38,86	32,54	31,98	31,82	28,23	21,57
Osad z Siedlec Waste from Siedlce	bez dodatku without addition	42,32	26,63	20,30	35,92	20,51	11,79
	CaO	54,30	44,96	20,74	35,88	14,26	26,11
	popiół ash	58,38	37,21	22,77	25,20	10,60	26,24
Osad z Łukowa Waste from Łuków	bez dodatku without addition	22,30	33,87	30,37	36,58	11,78	12,88
	CaO	41,60	35,50	20,53	34,14	29,78	22,91
	popiół ash	52,72	24,97	15,67	30,86	21,99	15,65
Obornik FYM	bez dodatku without addition	50,32	49,19	21,97	23,46	14,64	18,75
	CaO	64,41	55,36	25,06	30,12	14,51	19,65
	popiół ash	38,93	49,82	12,76	26,37	10,71	17,51

Ilość magnezu oznaczona w roślinach była niewielka i nie przekraczała 6 g kg<sup>-1</sup> w suchej masie rajgrasu, 3 g kg<sup>-1</sup> w suchej masie kukurydzy i 8 g kg<sup>-1</sup> w suchej masie słonecznika. Dodatek CaO i popiołu wyraźnie obniżył zawartość magnezu w nawożonych roślinach w porównaniu z roślinami zbieranymi z obiektów, gdzie stosowano osady bez dodatków. Wyjątek stanowił rajgras nawożony osadem z Łukowa z dodatkiem CaO i popiołu, zawierający większą

ilość magnezu niż rajgras uprawiany na tym osadzie bez dodatków. Rośliny uprawiane w I roku na osadach zawierały więcej magnezu niż uprawiane na oborniku. W II i III roku doświadczenia rośliny nawożone osadami i obornikiem cechowały się podobną zawartością magnezu.

Tabela 5. Zawartość sodu (Na) w suchej masie roślin,  $\text{g kg}^{-1}$   
Table 5. The content sodium in dry matter of tested plants,  $\text{g kg}^{-1}$

Wyszczególnienie Specification		w I roku 1 <sup>st</sup> year of ex- periment		w II roku 2 <sup>nd</sup> year of experiment		w III roku 3 <sup>rd</sup> year of experiment	
		rajgras ryegrass	rajgras ryegrass	kukurydza maize	słonecznik sunflower	kukury- dzamaize	słonecznik sunflower
Obiekt kontrolny Control object		1,18	1,68	0,78	1,29	0,79	1,78
CaO		1,02	2,94	0,71	1,05	1,05	1,94
Popiół Ash		1,10	2,44	0,58	0,87	1,03	1,74
Osad z Siedlec Waste from Siedlce	bez dodatku without addition	3,40	2,90	1,04	1,53	0,64	2,10
	CaO	2,05	2,77	1,14	1,18	1,17	1,63
	popiół ash	1,45	2,15	1,26	1,00	1,32	1,73
Osad z Łukowa Waste from Łuków	bez dodatku without addition	2,15	3,45	1,20	1,63	0,60	1,73
	CaO	2,58	3,12	1,08	1,21	1,59	1,00
	popiół ash	1,95	2,88	1,16	1,11	1,59	1,23
Obornik FYM	bez dodatku without addition	1,14	0,83	1,43	1,32	1,13	1,57
	CaO	0,99	1,01	1,27	1,08	1,42	1,56
	popiół ash	1,94	1,47	1,46	1,33	1,18	1,66

Zawartość potasu w rajgrasie uprawianym w I roku wynosiła od 25,07 do 64,41  $\text{g kg}^{-1}$  w suchej masie. W I roku doświadczenia rośliny nawożone osadami ściekowymi z dodatkiem CaO zawierały więcej potasu niż rośliny uprawiane na osadach bez dodatków. Dodatek popiołu do osadów w sposób niejednoznaczny różnicował koncentrację potasu w roślinach kukurydzy i słonecznika. Podobny brak jednoznacznego wpływu na zawartość potasu w roślinach odnotowano w II i III roku badań na obiektach nawożonych osadami z dodatkiem CaO.

Zawartość sodu w roślinach uprawianych na obiektach, gdzie stosowano nawożenie organiczne, była wyższa niż na obiektach kontrolnych. Dodatek popiołu do osadów spowodował wzrost zawartości sodu w rajgrasie i kukurydzy oraz zmniejszenie jego zawartości w słoneczniku w porównaniu z obiektami nawo-

żonymi osadami bez dodatków. Rośliny z obiektów, gdzie stosowano nawożenie kompostami osadowo-wapniowymi, zawierały na ogół mniej sodu niż rośliny uprawiane na osadach bez dodatków. Wyjątek stanowi I odrost rajgrasu uprawianego na osadzie z Łukowa z dodatkiem CaO i kukurydza w II roku doświadczenia, nawożone mieszaniną osadów z Siedlec i Łukowa z CaO, zawierające więcej sodu niż rośliny uprawiane na tych osadach bez dodatków.

#### WNIOSKI

1. Dodatek CaO i popiołu z węgla brunatnego do osadów ściekowych zwiększył koncentrację wapnia i obniżył zawartość magnezu w nawożonych roślinach.
2. Dodatek CaO i popiołu z węgla brunatnego w sposób niejednoznaczny różnicuje zawartość potasu i sodu w nawożonych roślinach.

#### PIŚMIENNICTWO

- Baran S., Martyn W. 1996. Transformacja odpadów organicznych w komposty. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 429, 33–36.
- Czekala J., Jakubus M. 2002. Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne osadów ściekowych z oczyszczalni województwa wielkopolskiego. Cz. I. Materia organiczna, sucha masa i makroskładniki. Materiały III Międzynarodowej Konferencji Naukowej, Lublin 11–13 czerwca, 32–33.
- Kalembasa S., Pakuła K., Becher M. 1999. Zawartość makro i mikropierwiastków w osadach ściekowych, produkowanych na wybranych oczyszczalniach regionu siedleckiego. Fol. Univ. Agric. Stetin. 200 Agricultura 77, 125–128.
- Kalembasa S., Kalembasa D., Kania R. 2001. Wartość nawozowa osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni ścieków regionu siedleckiego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 475, 279–286.
- Kalembasa S., Wysokiński A. 2002. Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem z węgla brunatnego lub CaO na plon i skład chemiczny roślin. Cz. II. Zawartość wybranych makroelementów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482, 257–262.
- Maćkowiak Cz. 2000. Skład chemiczny osadów ściekowych i odpadów przemysłu spożywczego o znaczeniu nawozowym. Nawozy i Nawożenie 4, 131–143.
- Maćkowiak Cz., Żebrowski J. 2000. Skład chemiczny obornika w Polsce. Nawozy i Nawożenie 4, 119–130.

