



Wpływ nawożenia popiołem ze spalania komunalnych osadów ściekowych na właściwości chemiczne gleby lekkiej

*Anna Iżewska, Czesław Wołoszyk
Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny, Szczecin*

1. Wstęp

Po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej ustalono, że osad ściekowy powinien być ponownie wykorzystany w każdym przypadku, gdy jest to właściwe, a sposoby jego usuwania powinny do minimum ograniczać negatywne skutki oddziaływania na środowisko [4]. Spowodowało to zakaz składowania osadów ściekowych na składowiskach odpadów, gdyż zawierają one dużą ilość substancji organicznej przekraczającą 40% [3, 8, 9, 14, 15]. Przez to nastąpił wzrost problemów ekologicznych, technicznych i ekonomicznych w ich zagospodarowaniu.

Przeróbka osadów ściekowych stanowi około 70% kosztów pracy oczyszczalni. W celu poprawy opłacalności pracy oczyszczalni (gdzie $Q_{\text{śc}}$ wynosi około $500 \text{ m}^3/\text{d}$) osady ściekowe stabilizuje się w procesie fermentacji metanowej, a następnie poddaje dalszym procesom przerobu. Między innymi poddanie osadów ściekowych dezintegracji metodą termiczną, chemiczną oraz hybrydową, stanowiącą połączenie w/w metod samodzielnych wpływa na znaczną intensyfikację procesów metanowych [16]. Według Pająka [11] właściwa jest strategia termicznej utylizacji komunalnych osadów ściekowych.

Podczas termicznego przekształcania osadów ściekowych poprzez spalanie powstaje nowy rodzaj odpadu jakim jest popiół, który należy zagospodarować. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska

z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów [12], popioły ze spalania osadów ściekowych należą do grupy: 19 Odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych, 19 01 Odpady z termicznego przekształcania odpadów 19 01 12 Żużle i popioły paleniskowe inne niż wymienione w 19 01 11, czyli Żużle i popioły rusztowe ze spalania komunalnych osadów ściekowych.

W zależności od składu chemicznego komunalnych osadów, jak i rozwiązań technologicznych w termicznej ich utylizacji, otrzymuje się popiół o różnej zawartości makro- i mikroskładników, w tym metali ciężkich.

W niniejszej pracy podjęto próbę oceny wpływu nawożenia popiołem ze spalania komunalnych osadów ściekowych na właściwości chemiczne gleby lekkiej. Popiół pochodził ze spalania w piecu rusztowym komunalnych osadów ściekowych w Oczyszczalni „Pomorzany” w Szczecinie. W badaniach popiół potraktowano, jako substytut fosforu z nawozów fosforowych.

2. Materiał i metoda

W latach 2011–2012 w Rolniczej Stacji doświadczalnej w Lipniku koło Stargardu Szczecińskiego przeprowadzono badania z wykorzystaniem do nawożenia roślin popiołu ze spalania komunalnego osadu ściekowego. Doświadczenie polowe zlokalizowano na glebie brunatno-rdzawej, niecałkowitej, wytworzonej z piasku gliniastego lekkiego pylastego, średnio głęboko podścielonego gliną lekką (klasa bonitacyjna IVb, kompleks żytni dobry - 5, kategoria agronomiczna – gleba lekka). Przed założeniem doświadczenia odczyn gleby był lekko kwaśny (5,8 pH w 1 mol KCl·dm⁻³), całkowita zawartość węgla wynosiła 8,59 g·kg⁻¹, azotu 0,84 g·kg⁻¹, form przyswajalnych fosforu była wysoka, a potasu i magnezu niska.

Zawartość całkowita pierwiastków śladowych w glebie wynosiła: Cd – 0,554; Cu – 6,439; Mn – 254,7; Ni – 8,320; Pb – 5,215; Zn – 62,31 mg·kg⁻¹s.m.

Schemat badań obejmował pięć wariantów nawożenia nawozami mineralnymi i popiołem ze spalania komunalnego osadu ściekowego: NK, NPK, NK+P1 (P1 – 1 dawka popiołu - 50 kg·ha⁻¹), NK+P2 (P2 – 2

dawka popiołu – $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), NK+P3 (P3 – 3 dawka popiołu – $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) miskantusa olbrzymiego (*Miscanthus giganteus*). Nawożenie azotem stosowano w postaci saletry amonowej (34% N) w dawce $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, fosforem w formie superfosfatu wzbogaconego (40% P_2O_5) w dawce $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$, a potasem – solą potasową (60% K_2O) w dawce $120 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$. Popiół ze spalania komunalnych osadów ściekowych, który stanowił substytut nawozu fosforowego, pochodził z Oczyszczalni Ścieków „Pomorzany” w Szczecinie. W obu latach badań zastosowano ten sam popiół, a jego skład chemiczny zamieszczono w tabeli 1.

Całkowitą zawartość metali ciężkich w glebie oznaczono metodą ASA, po poprzedniej mineralizacji próbek w mieszaninie (1:1) kwasu azotowego(V) i chlorowego(VII), natomiast formy rozpuszczalne po ekstrakcji w $1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ HCl}$.

Zawartość metali ciężkich w glebie poddano analizie wariancji zgodnie ze schematem doświadczenia (warianty nawożenia: NK, NPK, NK+P1, NK+P2, NK+P3 i lata badań 2011, 2012). Istotność różnic była oceniana na standardowym poziomie 5%, jako źródło błędu w ocenie zmienności przyjęto interakcję badanych czynników. Średnie różniące się istotnie porównano następnie przy pomocy testu Tukeya.

3. Wyniki i dyskusja

Nawożenie nawozami mineralnymi i popiołem ze spalania komunalnych osadów ściekowych, w porównaniu z wyłącznym nawożeniem nawozami mineralnymi, w większości przypadków nie różnicowało całkowitą zawartość analizowanych metali ciężkich (kadmu, miedzi, manganu, niklu, ołowiu i cynku) w warstwie ornej (0–20 cm) i podornej (21–40 cm) (tabela 2 i 3). Całkowita zawartość omawianych metali ciężkich nie przekraczała norm zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [13]. Glebę zaliczono do grupy B.

Tabela 1. Skład chemiczny popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych

Table 1. The chemical composition of ash from the incineration of municipal sewage sludge

Zawartość form rozpuszczalnych P_2O_5 [%]			Zawartość całkowita [%]			Zawartość całkowita [$mg \cdot kg^{-1}$]					
w mocnych kwasach mineralnych	w 2% kwasie cytrynowym	w wodzie	K	Ca	Mg	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
22,05	12,08	7,64	4,26	6,22	3,87	4,16	476,2	411,4	74,7	93,0	745,1

Tabela 2. Całkowita zawartość metali ciężkich w glebie w warstwie 0–20 cm po dwóch latach stosowania popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych

Table 2. The total content of heavy metals in the soil in a layer 0–20 cm after two years of ash from the incineration of municipal sewage sludge

Obiekty	Lata badań												Średnia					
	2011 r.						2012 r.											
	mg·kg ⁻¹ s.m.																	
	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
NK	0,56	6,45	259,1	8,29	5,20	62,5	0,56	6,46	259,9	8,33	5,19	62,0	0,56	6,45	259,5	8,31	5,20	62,30
NPK	0,56	6,50	258,7	8,31	5,28	62,0	0,56	6,52	259,2	8,37	5,34	62,8	0,56	6,51	259,0	8,34	5,30	62,43
NK-P1	0,56	6,55	263,1	8,45	5,28	62,7	0,56	6,56	264,8	8,52	5,29	62,8	0,56	6,56	264,0	8,48	5,29	62,78
NK-P2	0,56	6,51	271,7	8,52	5,44	63,0	0,56	6,53	284,7	8,60	5,48	63,2	0,56	6,52	278,2	8,56	5,46	63,11
NK-P3	0,56	6,60	284,7	8,64	5,56	63,1	0,57	6,65	289,8	8,75	5,78	63,8	0,57	6,62	287,3	8,69	5,67	63,47
Średnia	0,56	6,52	267,5	8,44	5,35	62,7	0,56	6,54	271,7	8,51	5,42	62,9	0,56	6,53	269,6	8,48	5,38	62,81
NIR _{0,05}													r.n.	r.n.	r.n.	0,03	r.n.	r.n.

Tabela 3. Całkowita zawartość metali ciężkich w glebie w warstwie 21–40 cm po dwóch latach stosowania popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych

Table 3. The total content of heavy metals in the soil layer of 21–40 cm after two years of ash from the incineration of municipal sewage sludge

Obiekty	Lata badań												Średnia					
	2011 r.						2012 r.											
	mg·kg ⁻¹ s.m.																	
	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
NK	0,54	3,40	219,9	8,10	5,09	48,0	0,56	3,46	223,4	8,22	5,22	49,5	0,55	3,36	221,6	8,16	5,16	48,8
NPK	0,53	3,30	211,2	8,25	5,34	50,8	0,56	3,52	230,4	8,28	5,32	50,4	0,55	3,39	220,8	8,26	5,33	50,6
NK-P1	0,53	3,30	213,8	8,30	5,29	50,1	0,56	3,56	224,5	8,40	5,37	50,5	0,55	3,75	219,2	8,35	5,33	50,3
NK-P2	0,54	3,30	214,7	8,45	5,48	50,7	0,57	3,53	244,8	8,62	5,74	51,7	0,55	3,09	229,8	8,54	5,61	51,2
NK-P3	0,57	3,35	210,8	8,75	5,78	52,8	0,60	3,65	240,2	8,82	5,95	54,7	0,59	3,75	225,5	8,78	5,87	53,8
Średnia	0,54	3,33	214,1	8,37	5,79	50,5	0,57	3,54	232,6	8,47	5,52	51,4	0,56	3,67	223,4	8,42	5,66	50,9
NIR _{0,05}													r.n.	0,11	r.n.	0,06	r.n.	r.n.

W omawianych badaniach w obu latach uzyskano zwiększenie całkowitej zawartości metali ciężkich w warstwie ornej na obiektach nawożonych nawozami mineralnymi i popiołami z komunalnych osadów ściekowych w porównaniu z zawartością przed założeniem doświadczenia. Największą istotną zawartość niklu zaobserwowano na obiektach nawożonych azotem i potasem w postaci nawozów mineralnych, a fosforem w formie popiołów w trzeciej dawce. Na pozostałych obiektach zawartość metali ciężkich była mniejsza (tabela 2). Zastosowane nawożenie nawozami mineralnymi i popiołem (P-3) ze spalania osadów również istotnie różnicowało średnią z dwóch lat całkowitą zawartość w warstwie 21–40 cm kadmu, miedzi i niklu w porównaniu z nawożeniem NK (tabela 3).

W tabeli 4 i tabeli 5 przedstawiono zawartość form rozpuszczalnych w 1 mol $\text{HCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ metali ciężkich w glebie pobranej z warstwy 0–20 cm i 21–40 cm z obiektów nawożonych nawozami mineralnymi i popiołem w dwóch latach badań uprawy miskanta olbrzymiego. W analizowanych tabelach średnia zawartość form rozpuszczalnych w 1 mol $\text{HCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ w glebie metali ciężkich w większości przypadków nie była istotnie różnicowana w porównaniu z wyłącznym nawożeniem nawozami mineralnymi w stosunku do obiektów z NK + popiół.

Natomiast średnia z dwóch lat zawartość form manganu rozpuszczalnych w 1 mol $\text{HCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ w warstwie 21–40 cm ($62,27 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{s.m.}$) w glebie z obiektów z NK + trzecia dawka popiołu ($150 \text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$) była istotnie większa w porównaniu z obiektami nawożonymi NK + pierwsza dawka popiołu ($50 \text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$) – $56,83 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{s.m.}$

Średnia zawartość form cynku rozpuszczalnych w 1 mol $\text{HCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ w warstwie 21–40 cm gleby z poszczególnych obiektów nawożenia wynosiła była (od 7,73 do $12,26 \text{ mg Ni}\cdot\text{kg}^{-1}\text{s.m.}$). Odnotowano istotny wzrost zawartości tego pierwiastka w glebie nawożonej NK i drugą dawką popiołu ($100 \text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$) w porównaniu z nawożeniem NPK i NK-P3.

Literatura dotycząca możliwości wykorzystania popiołów rusztowych do nawożenia roślin jest bardzo uboga. Wielu autorów pisze natomiast o możliwości wykorzystania osadów ściekowych, kompostów z osadów ściekowych do celów nawozowych i ich korzystnym wpływie na właściwości fizyko-chemiczne gleby [1, 5, 10, 14].

Tabela 5. Zawartość form rozpuszczalnych w $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl metali ciężkich w glebie w warstwie 21–40 cm po dwóch latach stosowania popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych

Table 5. The content of soluble forms $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl heavy metals in the soil in the layer 21–40 cm after two years of ash from the incineration of municipal sewage sludge

Obiekty	Lata badań												Średnia					
	2011 r.						2012 r.											
	mg·kg ⁻¹ s.m.																	
	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
NK	0,20	0,94	6,31	0,81	1,31	9,41	0,22	1,20	107,7	0,50	0,55	6,92	0,21	1,07	57,02	0,65	0,93	8,17
NPK	0,17	1,03	6,27	0,40	1,37	9,56	0,23	1,25	107,9	0,53	0,54	5,98	0,20	1,14	57,11	0,46	0,96	7,77
NK-P1	0,14	1,23	6,55	0,77	1,24	14,70	0,22	1,17	107,1	0,58	0,56	5,96	0,18	1,20	56,83	0,67	0,90	10,33
NK-P2	0,24	1,13	6,24	0,99	1,27	16,87	0,25	1,22	109,8	0,61	0,63	7,65	0,24	1,18	58,04	0,80	0,95	12,26
NK-P3	0,22	1,08	6,95	0,86	1,29	9,71	0,23	1,41	117,6	0,56	0,66	5,76	0,22	1,24	62,27	0,71	0,98	7,73
Średnia	0,19	1,08	6,46	0,77	1,29	12,05	0,23	1,25	110,0	0,56	0,59	6,46	0,21	1,17	58,25	0,66	0,94	9,25
NIR _{0,05}													r.n.	r.n.	5,12	r.n.	r.n.	3,90

Przydatność do rolniczego wykorzystania popiołów ze spalania komunalnych osadów ściekowych, w literaturze oceniana jest na podstawie ich właściwości fizykochemicznych i składu chemicznego. Z informacji tych wynika, że popioły fluidalne ze spalania komunalnych osadów ściekowych ubogie są w azot, zasobne w fosfor, wapń i magnez, mogą jednak zawierać podwyższoną zawartość metali ciężkich [2, 6]. Szczególne znaczenie nawozowe może mieć zawarty w popiołach fosfor, którego zużycie w postaci nawozów w ostatnich latach jest zbyt małe. Jak podaje Lisbeth i in. [7] zawartość fosforu w popiołach z osadów ściekowych może wynosić do 16% P.

4. Wnioski

W przeprowadzonym doświadczeniu badano wpływ nawożenia popiołem ze spalania komunalnych osadów ściekowych na właściwości chemiczne gleby lekkiej. Uzyskane wyniki badań wskazują, że:

1. Zastąpienie w dawce NPK fosforu z superfosfatu wzbogaconego fosforem z popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych nie spowodowało istotnych różnic w całkowitej zawartości kadmu, miedzi, manganu, ołowiu i cynku w warstwie ornej gleby.
2. Nawożenie mineralne azotem i potasem w postaci nawozów mineralnych i trzecią dawką popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych po dwóch latach nawożenia powodowało istotny wzrost całkowitej zawartości miedzi i niklu w warstwie podornej gleby w porównaniu z wyłącznym nawożeniem mineralnym.
3. Nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości form rozpuszczalnych w $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ HCl}$ metali ciężkich w glebie w warstwie 0–20 cm nawożonej popiołem z komunalnych osadów ściekowych w porównaniu z wyłącznym nawożeniem mineralnym.
4. Średnia zawartość z dwóch lat wskazuje, że nastąpił istotny wzrost zawartości form rozpuszczalnych w $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ HCl}$ manganu w glebie na obiektach nawożonych największą dawką popiołu oraz cynku po zastosowaniu 100 kg popiołu na hektar w porównaniu z wyłącznym nawożeniem nawozami mineralnymi w warstwie 21–40 cm.

*Praca finansowana była z środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa
Wyższego w ramach projektu badawczego nr: NN 305 1723 40*

Literatura

1. **Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Żukowska G., Milczarek T.:** *Wpływ dodatku kompostu osadowego i osadowo-popiołowego na właściwości sorpcyjne utworu bezglebowego.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 533, 49–58 (2008).
2. **Białowiec A., Janczukowicz W., Krzemieniewski M.:** *Możliwości zagospodarowania popiołów po termicznym unieszkodliwieniu osadów ściekowych w aspekcie regulacji prawnych.* http://ros.edu.pl/text/pp_2009_069.pdf (dostęp 28.05.2013 r.) (2009).
3. **Czekała J.:** *Osady ściekowe źródłem materii organicznej i składników pokarmowych.* Fol. Univ. Agric. Stetin. 200 Agricultura (77), 33–39 (1999).
4. Dz. U. L. 135 z 30 maja 1991 r. (Polskie Wydanie Specjalne, Rozdział 15, Tom 02, P. 26–30).
5. **Iżewska A.:** *Wpływ nawożenia obornikiem, osadem ściekowym i kompostem z osadów ściekowych na właściwości gleby.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 518, 85–92 (2007).
6. **Kosior-Kazberuk M., Karwowska J.:** *Wybrane problemy zagospodarowania popiołów pochodzących ze spalania osadów ściekowych w technologii materiałów cementowych.* Inżynieria Ekologiczna 25, 110–123 (2011).
7. **Lisbeth M. Ottosen, Gunvor M. Kirkelund, Pernille E. Jensen:** *Extracting phosphorus from incinerated sewage sludge ash rich in iron or aluminum.* J. Chemosphere 91, 963–969 (2013).
8. **Maćkowiak Cz.:** *Skład chemiczny osadów ściekowych ich wartość nawozowa,* “Charakterystyka i zagospodarowanie osadów ściekowych” Bydgoskie Towarzystwo Naukowe. Prace Wydziału Nauk Technicznych seria A 2000, 30, 16–21 (2000).
9. **Ndaji F.E., Ellyatt W.A.T., Malik A.A., Thomas K.M.:** *Temperature programmed combustion studies of coal and waste materials.* Fuel 78, 301–307 (1999).
10. **Ociepa A., Pruszek K., Lach J., Ociepa E.:** *Wpływ długotrwałego nawożenia gleb obornikiem i osadem ściekowym na wzrost zawartości metali ciężkich w glebach.* Ecological Chemistry and Engineering S, vol.15, no 1, 103–109 (2008).
11. **Pająk T.:** *Projekty spalarni odpadów komunalnych i osadów ściekowych w strategii zagospodarowania odpadów.* Inżynieria i Ochrona Środowiska 13(1), 53–66 (2010).
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 w sprawie Katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206).

13. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, Dz.U. Nr 165 poz. 1358 i 1359.
14. **Stańczyk-Mazanek E., Piątek M., Kępa U.:** *Wpływ następczy osadów ściekowych stosowanych na glebach piaszczystych na właściwości kompleksu sorpcyjnego.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection) 15, 2437–2451 (2013).
15. **Stelmach S., Wasielewski R.:** *Co-combustion of dried sewage and coal in a pulverized coal boiler.* J. Mater Cycles Waste Manag. 10, 110–115 (2008).
16. **Zawieja I., Wolski P.:** *Wpływ chemiczno-termicznej modyfikacji osadów ściekowych nadmiernych na generowanie lotnych kwasów tłuszczowych w procesie fermentacji metanowej.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 15, 2054–2070 (2013).

Effect of Fertilization with Ash from Incineration of Municipal Sewage Sludge on Chemical Properties of Light Soil

Abstract

Conducted two-years study indicate that phosphorus fertilization with mineral fertilizers can be replaced by ash from municipal sewage sludge. As a result of application of the ash from the incineration of municipal sewage sludge, there were no significant differences in the total content of cadmium, copper, manganese, lead and zinc in arable soil layer after two years of use. Mineral fertilization with nitrogen and potassium in the form of mineral fertilizers and third doses of ash from the incineration of municipal sewage sludge after two years of fertilization resulted in a significant increase in the total content of cadmium, copper and nickel in the subsoil layer of soil in comparison to the exclusive mineral fertilization. In most variants of fertilization with ashes of municipal sewage sludge the content of heavy metals forms soluble in $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl in the soil layer 0–21 cm increased compared with exclusive mineral fertilization.

Słowa kluczowe: spalanie, osady ściekowe, popiół, nawożenie

Key words: incineration, sewage sludge, ash, fertilization