

ANNA IŻEWSKA*, CZESŁAW WOŁOSZYK**

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNE GLEBY LEKKIEJ NAWOŻONEJ POPIOŁEM ZE SPALANIA KOMUNALNYCH OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Streszczenie

Schemat badań obejmował pięć wariantów nawożenia kukurydzy I rzepaku jarego nawozami mineralnymi (NK, NPK) oraz nawozami mineralnymi i wzrastającymi dawkami popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych (NK+P1, NK+P2, NK+P3). Popiół potraktowano jako substytut fosforu z nawozów fosforowych. Stwierdzono, że 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 węgla i azotu w glebie w porównaniu z wyłęcznym nawożeniem mineralnym i pierwszą dawką popiołu. Zastąpienie w dawce NPK fosforu z superfosfatu wzbogaconego fosforem z popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych spowodowało w obiektach po zbiorze kukurydzy zmianę klasy zasobności gleby w przyswajalny fosfor z wysokiej na bardzo wysoką. Zawartość przyswajalnego magnezu po dwóch latach stosowania popiołu z komunalnych osadów ściekowych wzrosła z klasy zasobności niskiej do klasy średniej w obu badanych obiektach.

Słowa kluczowe: popiół z komunalnych osadów ściekowych, gleba lekka, przyswajalny fosfor, przyswajalny potas, całkowita zawartość azotu i węgla

WSTĘP

Szacuje się, że liczba ludności na świecie wzrośnie o 2,9 miliarda w nadchodzących latach i osiągnie 9 miliardów w 2050 roku. W związku z niesłabnącym wzrostem populacji, potrzeby żywieniowe ludności można będzie zapewnić jedynie poprzez dalszy rozwój produkcji żywności na już istniejących gruntach rolnych, gdyż na świecie powierzchnia upraw nie może znacznie wzrosnąć.

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Inżynierii Sanitarnej,

** Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Gleboznawstwa, Łąkarstwa i Chemii Środowiska

Bardziej intensywne rolnictwo, przyjęcie wysoko wydajnych upraw będzie w stanie zwiększyć plony roślin. Uprawy, te będą wymagały intensywnego nawożenia mineralnego.

Odpadem, który można wykorzystać jako źródło fosforu są popioło-żuźle powstałe ze spalania komunalnych osadów ściekowych. W krajach rozwiniętych jeden mieszkaniec wydała w ciągu doby 1,2-1,4 g fosforu [Smil 2000]. Jak wykazały badania Smila [2000] w 2000 r do kanalizacji w Europie (15 krajów UE) zostało skierowane 146000 ton fosforu. Także stosowanie w detergentach $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ stanowi istotne źródło fosforu trafiającego do kanalizacji, który w roku 2000 wyniósł 76000 ton.

Proponuje się ponowne wykorzystanie popioło-żużli powstałych ze spalania komunalnych osadów ściekowych do nawożenia roślin, gdyż posiadają one dużą zawartość fosforu od 15 % dla popiołu fluidalnego do 26% [Cyr i in. 2007, Donatello i in. 2010]. Natomiast zawartość fosforu w popiołach pochodzących ze spalania biomasy wynosi ponad 40% [Alotaibi in. 2013].

W zależności od składu chemicznego komunalnych osadów ściekowych, 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 fizykochemiczne gleby lekkiej. Popiół pochodził ze spalania w piecu rusztowym komunalnych osadów ściekowych w Oczyszczalni „Pomorzany” w Szczecinie.

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 komunalnych osadów ściekowych. 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 $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$), całkowita zawartość węgla wynosiła $8,59 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, azotu $0,84 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, form przyswajalnych fosforu była wysoka, a potasu i magnezu niska.

Schemat badań obejmował pięć wariantów (w 4 powtórzeniach) nawożenia nawozami mineralnymi i popiołem ze spalania komunalnych osadów ściekowych : NK, NPK, NK+P1 (P1 – 1 dawka popiołu), NK+P2 (P2 – 2 dawka popiołu), NK+P3 (P3 – 3 dawka popiołu) kukurydzy na ziarno i rzepaku jarego. Kolejne warianty nawozowe opisano poniżej, odrębnie dla każdej z roślin testowych.

Nawożenie azotem przedsięwzię pod obie rośliny stosowano w postaci siarczanu amonowego (20% N), a pogłównie saletrą amonową (34%N), fosforem w formie superfosfatu wzbogaconego (40% P₂O₅), a potasem – solą potasową (60% K₂O). 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 tab. 1.

Tab. 1. Skład chemiczny popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych [Izewska, Wołoszyk 2013]

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

Zawartość form rozpuszczalnych P ₂ O ₅ [%]			Zawartość całkowita [%]		
w mocnych kwasach mineralnych	w 2% kwasie cytrynowym	w wodzie	K	Ca	Mg
22,05	12,08	7,64	4,26	6,22	3,87
Zawartość całkowita [mg·kg ⁻¹ s.m.]					
Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
4,16	476	411	74,7	93,0	745

Roślinami testowymi w obu latach badań były kukurydza i rzepak jary, które w pierwszym roku uprawiano po pszenicy ozimej, a w drugim roku po kukurydzy rzepak jary, a po rzepaku kukurydzę. Przedsięwzię pod kukurydzę zastosowano następujące nawożenie: N – 40 kg, P₂O₅ – 50 kg, K₂O – 110 kg·ha⁻¹, a z kolejnymi dawkami popiołu wniesiono 50, 100 i 150 kg P₂O₅·ha⁻¹. Pogłównie (w fazie 6-7 liścia) zastosowano 40 kg N·ha⁻¹. Rzekpak jary (odm. Larissa – 2011 r., odm. Markus – 2012 r.) nawożono przedsięwzię: N – 50 kg, P₂O₅ – 50 kg, K₂O – 120 kg·ha⁻¹, a z kolejnymi dawkami popiołu wniesiono 50, 100 i 150 kg P₂O₅·ha⁻¹. Pogłównie (w fazie zielonego pąka) zastosowano 50 kg N·ha⁻¹. Porównanie wielokrotne średnich przeprowadzono za pomocą procedury Tukeya, przy p = 0,05. Istotność różnic w zawartości pierwiastków pomiędzy zróżnicowanym nawożeniem określono za pomocą testu Tukeya, a wartość NIR testu Newmana-Keulusa stosując program Statistica 10.

Całkowitą zawartość azotu i węgla oznaczono na analizatorze elementarnym firmy Coastech. Analizę chemiczną gleby wykonano zgodnie z:

- PN-R-040223:1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych
- PN-R-04020:1994. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu. Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych.
- PN ISO 10390:1997. Jakość gleby. Oznaczanie pH.

Wyniki prezentowane w pracy stanowią średnią z dwóch lat prowadzenia badań.

WYNIKI I Dyskusja

Nawożenie nawozami mineralnymi i popiołem ze spalania komunalnych osadów ściekowych w porównaniu z wyłącznym nawożeniem mineralnym (NK) w większości przypadków różnicowało właściwości fizykochemiczne gleby lekkiej. pH w 1 mol·dm⁻³ KCl oraz całkowitą zawartość węgla i azotu podano jako średnią arytmetyczną z dwóch lat prowadzenia badań - po zbiorze kukurydzy, (gdzie pierwszego roku uprawiany był rzepak jary a w roku następnym kukurydza) i po zbiorze rzepaku jarego, (gdzie w pierwszym roku uprawiana była kukurydza a po niej rzepak jary) (tab. 2).

Tab. 2. Właściwości fizykochemiczne gleby lekkiej po dwóch latach stosowania popiołu z komunalnych osadów ściekowych

Tab. 2. Physicochemical properties of light soil after two years of ash from municipal sewage sludge

NAWOŻENIE	PO ZBIORZE KUKURUDZY*				PO ZBIORZE RZEPAKU JAREGO*			
	pH _{KCl}	C	N	C:N	pH _{KCl}	C	N	C:N
		g·kg ⁻¹				g·kg ⁻¹		
NK	6,16	8,539	0,893	9,567	5,84	7,620 a,b	0,733 a,b	10,39
NPK	6,27	8,285	0,876	9,458	5,74	8,369 b	0,788 a	10,62
NK + P1	6,11	8,646	0,897	9,644	6,02	6,715 a	0,641 b	10,48
NK + P2	6,21	8,124	0,854	9,513	5,66	7,921 b	0,756 a,b	10,49
NK + P3	6,12	8,256	0,847	9,753	5,62	8,364 b	0,828 a	10,11
Średnia	6,17	8,369	0,873	9,587	5,75	7,798	0,749	10,41
Odchylenie standardowe	0,06	0,193	0,020	0,103	0,15	0,611	0,063	0,173
NIR _{0,05}	r.n. N.S.	r.n. N.S.	r.n. N.S.	r.n. N.S.	r.n. N.S.	0,945*	0,119*	r.n. N.S.

Objaśnienia do tabeli – Explanations for table: a, ab, b – grupy jednorodnie wyznaczone na podstawie obliczeń statystycznych – homogeneous groups determined on the basis of statistical calculations; *NIR_{0,05} – różnice istotne przy p = 0,05 – LSD_{0,05} – significant differences at p = 0,05; ** r.n. – różnice nieistotne – n.s. – not significant differences

W omawianych badaniach w obu latach i w obu wariantach uprawy roślin nie zaobserwowano wyraźnych zmian pH gleby w porównaniu z pH przed założeniem doświadczenia (pH w 1 mol·dm⁻³ KCl 5,8). W obiekcie po zbiorze kukurydzy średnia wartość pH w drugim roku wyniosła 6,17, a po zbiorze rzepaku jarego 5,75 (tab.2). Także w badaniach Piekarczyka [2013] po zastosowaniu popiołu ze spalania biomasy w okresie dwóch lat nie było istotnych zmian pH gleby. Natomiast w badaniach Mellera i Billendy [2012] wzrastające dawki popiołu powodowały wzrost odczynu gleby i zmniejszenie kwasowości hydroli-

tycznej. Nawożenie odpadami – osadami ściekowymi gleby lekkiej w badaniach Stańczyk-Mazanek i in. [2013] powodowało wzrost kwasowości hydrolitycznej gleby.

Zastosowane nawożenie nawozami mineralnymi i popiołem ze spalania osadów ściekowych nie miało istotnego wpływu na całkowitą zawartość węgla i azotu w glebie po zbiorze kukurydzy, choć zaobserwowano wzrost zawartości tych pierwiastków w porównaniu przed założeniem doświadczenia. Natomiast w obiektach po zbiorze rzepaku jarego nastąpił istotny wzrost zawartości całkowitego węgla w wariantach nawożonych NK, NPK, NK+P2 i NK+P3 w porównaniu z wariantem nawożonym pierwszą dawką popiołu ($50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Średnia całkowita zawartość azotu w glebie wyniosła $0,749 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. W wyniku stosowania przez dwa kolejne lata pojedynczej dawki popiołu ($50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) zawartość tego pierwiastka ($6,715 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) była najmniejsza w porównaniu z dawką drugą ($100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) – $0,756 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ i trzecią ($150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) – $0,828 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W tabeli 3 przedstawiono średnią zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu w glebie. W analizowanej tabeli średnia zawartość fosforu przyswajalnego w obiekcie po zbiorze kukurydzy wynosiła $100,28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a po zbiorze rzepaku była o 14,43% mniejsza. W wyniku zastosowanego nawożenia w obiektach po kukurydzy nastąpiła zmiana klasy zasobności gleb na bardzo wysoką, po rzepaku jarym pozostała w klasie wysokiej.

Średnia zawartość potasu przyswajalnego z dwóch lat badań kształtowała się w zakresie od 47,86 do $51,53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Po dwóch latach stosowania popiołu największa zawartość potasu wystąpiła w wariantcie nawożonym drugą dawką popiołu ($60,26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a najmniejsza dawką trzecią ($42,13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Natomiast po zbiorze rzepaku jarego zaobserwowano istotne zmniejszenie zawartości potasu przyswajalnego w wariantach nawożonych NK w porównaniu z wariantem nawożonym drugą dawką popiołu.

Analiza statystyczna średnich z dwóch lat zawartości przyswajalnego magnezu w warstwie ornej w obiektach po zbiorze kukurydzy i po zbiorze rzepaku jarego nie wykazała istotnych różnic pomiędzy wariantami nawozowymi. Zawartość przyswajalnego magnezu wzrosła z klasy zasobności niskiej do klasy średniej w obu badanych obiektach i po dwóch latach badań wyniosła średnio $38,44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (po zbiorze kukurydzy) i $40,78 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (po zbiorze rzepaku jarego).

W eksperymencie przeprowadzonym na glebie lekkiej przez Piekarczyka [2013], który aplikował popiół ze słomy z pszenicy ozimej w ilości do $1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ nie zaobserwowano istotnych zmian zasobności gleby w przyswajalne dla roślin makroskładniki. Natomiast w badaniach Mellera i Biledy [2012], wzrastające dawki popiołu z biomasy wyraźnie podwyższyły zawartość przyswajalnego potasu, fosforu i magnezu w glebie. Zasobność gleby w przyswajalny potas zwiększyła się ze średniej do bardzo wysokiej.

W pracy obliczono także oczekiwane średnie brzegowe zawartości makroskładników w glebie po dwóch latach stosowania popiołów ze spalania komunalnych osadów ściekowych. Obliczenia, te wykonano dla całkowitego węgla i azotu oraz przyswajalnego potasu dla obiektów po zbiorze rzepaku jarego.

Dwuletnie wyniki badań wskazują, że po zastosowaniu pierwszej dawki popiołu (NK+50 kg·ha⁻¹) można oczekiwać największego wzrostu zawartości całkowitego węgla do 8,6 g·kg⁻¹ przy zakresie od 7,5 do 9,7 g·kg⁻¹. Dwa pozostałe warianty nawożenia popiołem były na zbliżonym poziomie i wyniosły dla dawki drugiej 8,2 g·kg⁻¹, a dla trzeciej 8,3 g·kg⁻¹ (rys. 1).

Tab. 3. Średnie zawartości przyswajalnych makroskładników w glebie po dwóch latach stosowania popiołu z komunalnych osadów ściekowych

Tab. 3. Average content of available microelements in the soil after two years of ash from municipal sewage sludge

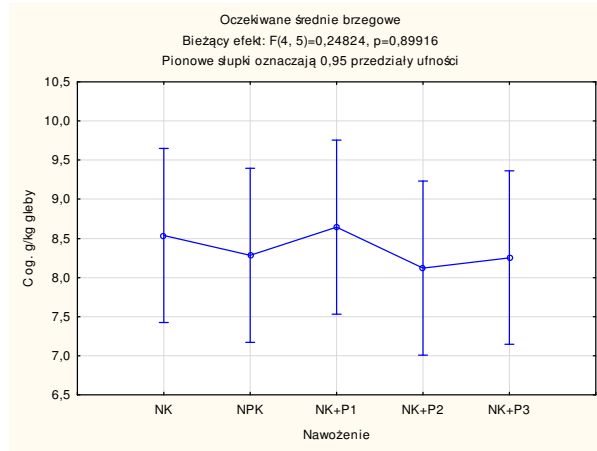
Nawożenie	Po zbiorze kukurudzy*			Po zbiorze rzepaku jarego*		
	P	K	Mg	P	K	Mg
	mg·kg ⁻¹					
NK	94,62	49,56	40,8	83,71	37,14	39,3
NPK	98,97	56,13	37,2	83,275	50,32 a	39,7
NK + P1	102,46	49,59	37,3	93,74	46,24 a	40,5
NK + P2	106,82	60,26	37,5	86,33	60,27 a	44,1
NK + P3	98,535	42,13	39,4	81,97	45,35 a	40,3
Średnia	100,28	51,535	38,44	85,805	47,86	40,78
Odchylenie standardowe	1,84	4,108	6,219	2,66	4,213	7,54
NIR _{0,05}	r.n.** N.S.	r.n.** N.S.	r.n.** N.S.	r.n.** N.S.	18,55*	r.n.** N.S.

Objaśnienia do tabeli – Explanations for table: a – grupa jednorodna wyznaczona na podstawie obliczeń statystycznych – homogeneous group determined on the basis of statistical calculations; *NIR_{0,05} – różnice istotne przy p = 0,05 – LSD_{0,05} – significant differences at p = 0,05; ** r.n. – różnice nieistotne – n.s. – not significant differences

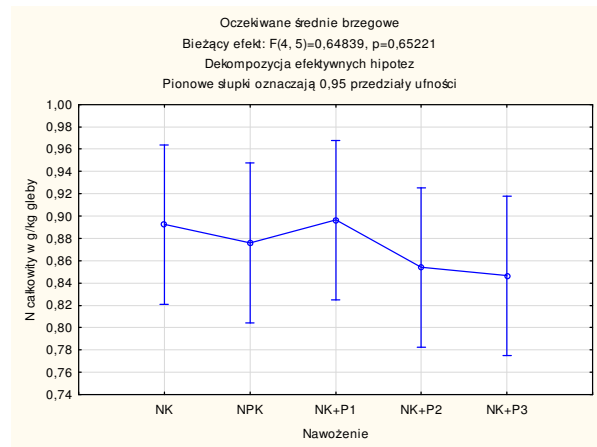
Na rys. 2 przedstawiono oczekiwaną średnią brzegową całkowitą zawartość azotu po zbiorze rzepaku jarego. Określono, że w wyniku zastosowania nawożenia azotowo-potasowego oraz pierwszej dawki popiołu (NK+P1) może zostać osiągnięta w glebie lekkiej całkowita zawartość azotu na poziomie 0,89 g·kg⁻¹ z rozstępem od 0,82 do 0,97 g·kg⁻¹ (rys. 2).

Analiza oczekiwanej średniej brzegowej zawartości przyswajalnego potasu w rozpatrywanym doświadczeniu po dwóch latach stosowania popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych wykazała, że najmniejszą istotną zawartość tego pierwiastka można osiągnąć w glebie na wariantach nawożonych trzecią dawką popiołu (NK+P3) i będzie ona wynosić 41 mg·kg⁻¹, w zakresie od 18 do 68 mg·kg⁻¹. Największe zawartości tego pierwiastka osiągnięte się w glebie

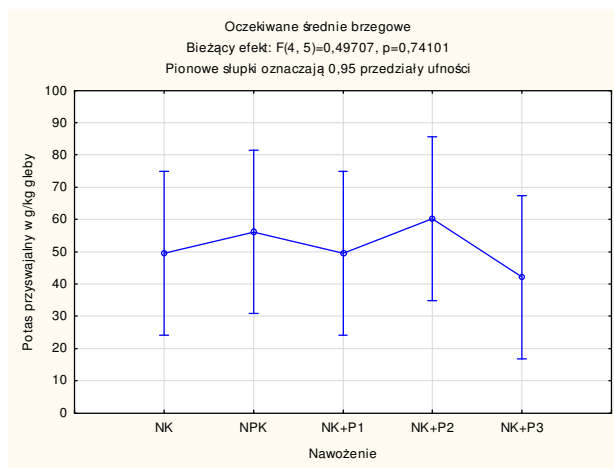
nawożonej drugą dawką popiołu ($100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) i wyniesie ona $60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, w zakresie od 35 do $85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.



Rys. 1. Oczekiwana średnia brzegowa zawartość całkowitego węgla w glebie lekkiej po dwóch latach stosowania popiołu z komunalnych osadów ściekowych
Fig. 1. The expected average total carbon content of coastline general light soil after two years of ash from municipal sewage sludge



Rys. 2. Oczekiwana średnia brzegowa zawartość całkowitego azotu w glebie lekkiej po dwóch latach stosowania popiołu z komunalnych osadów ściekowych
Fig.2. The expected average total nitrogen content coastline in sandy soil after two years of ash from municipal sewage sludge



Rys. 3. Oczekiwana średnia brzegowa zawartość przyswajalnego potasu w glebie lekkiej po dwóch latach stosowania popiołu z komunalnych osadów ściekowych
Fig. 3. The expected average shoreline available potassium content in sandy soil after two years of ash from municipal sewage sludge

WNIOSKI

- Nawożenie mineralne azotem i potasem w postaci nawozów mineralnych i trzecią dawką popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych po dwóch latach nawożenia spowodowało istotny wzrost całkowitej zawartości węgla i azotu w glebie w porównaniu z wyłącznym nawożeniem mineralnym i pierwszą dawką popiołu.
- Zastąpienie w dawce NPK fosforu z superfosfatu wzbogaconego fosforem z popiołu ze spalania komunalnych osadów ściekowych spowodowało w obiektach po zbiorze kukurydzy zmianę klasy zasobności gleby w przyswajalny fosfor z wysokiej na bardzo wysoką.
- Zawartość przyswajalnego magnezu po dwóch latach stosowania popiołu z komunalnych osadów ściekowych wzrosła z klasy zasobności niskiej do klasy średniej w obu badanych obiektach.

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

LITERATURA

1. ALOTAIBI K.D., SCHOENAU J.J., FONSTAD T., 2013. Possible utilization of ash from meat and bone meal and dried distillers grains gasification as a phosphorus fertilizer: crop growth response and changes in soil chemical properties. *J. Soils Sediments* 13, 1024-1031.
2. CYR M., COUTAND M., CLASTRES P., 2007. Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (SSA) in cement-based materials. *Cement and Concrete Research* 37 (8), 1278-1289.
3. DONATELLO S., TONG D., CHEESEMAN C.R. 2010. Production of technical grade phosphoric acid from incinerator sewage sludge ash (ISSA). *Waste Management* 30, 1634-1642.
4. IŻEWSKA A., WOŁOSZYK CZ., 2013. Wpływ nawożenia popiołem ze spalania komunalnych osadów ściekowych na właściwości chemiczne gleby lekkiej. Praca w druku.
5. MELLER E., BILENDA E., 2012. Wpływ popiołów ze spalania biomasy na właściwości fizykochemiczne gleb lekkich. *Polityka Energetyczna*, Tom 15, Z. 3, 287-292.
6. PIEKARCZYK M. 2013. Zawartość przyswajalnych form niektórych makro- i mikroelementów w glebie lekkiej nawożonej popiołem ze słomy pszennej ozimej. *Fragm. Agron.* 30(1), 92-98.
7. SMIL V., 2000. Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annual Review of Energy and the Environment* 25, 53-88.
8. STAŃCZYK-MAZANEK E., PIĄTEK M., KĘPA U., 2013. Wpływ następczy osadów ściekowych stosowanych na glebach piaszczystych na właściwości kompleksu sorpcyjnego. *Rocznik Ochrona Środowiska* 15, 2437-2451.

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SOIL WITH LIGHT ASH FERTILIZED BURNING OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE

S u m m a r y

Schematic of study included five variants of fertilization of maize and spring oilseed rape with mineral fertilizers (NK, NPK) and mineral fertilizers and increas - stającymi doses of ash from the incineration of municipal sewage sludge (NK + P1 NK + P2, NK + P3). The ash was treated as a substitute for phosphorus - phosphorus cars . It was found that mineral fertilizers with nitrogen and potassium in the form of mineral fertilizers and third doses of ash from the incineration of municipal sewage sludge fertilization after two years resulted in a significant increase in the

total carbon and nitrogen content in the soil in comparison with the sole mineral fertilization and the first dose of ash. Replacement at a dose of NPK phosphorus from superphosphate enriched with phosphorus from the ash from the incineration of municipal sewage sludge resulted in objects after the maize class change in the soil available phosphorus from high to very high. The content of available magnesium after two years of ash from municipal sewage sludge increased from a low -class wealth to the middle class in both places .

Key words: ash from municipal sewage sludge, soil, light, available phosphorus, available potassium, total nitrogen and carbon