

Obecnie w krajach Unii Europejskiej 38% osadów ściekowych stosuje się w rolnictwie (od 5% w Luksemburgu do 70% w Holandii), a 37% do wypełniania zagłębień terenu, wyrobisk [Disposal and recycling routes for sewage sludge. Part 3. Scientific and technical report European Communities, 2001]. W Polsce rolnicze zagospodarowanie osadów ściekowych budzi kontrowersje i jest mniej powszechne, choć w ostatnich latach notuje się pewien jego wzrost (do 15% w 2002 roku [Ochrona Środowiska, GUS 2003]). Sposobem na przełamanie uprzedzeń może być użycie osadów stabilizowanych wapnem. Częściowo odwodnione osady mieszane są w oczyszczalni z wapnem (palonym, hydratyzowanym) lub innymi materiałami alkalicznymi, np. z różnymi popiołami [Logan, Harrison 1995a, Christie i in. 2001]. Uwalniająca się w tym procesie energia (temperatura dochodzi do ok. 70°C) i wysokie pH (ok. 12) niszczą organizmy odpowiedzialne za rozkład organicznych związków, przez co zmniejsza się odór, następuje dezynfekcja i dalsze odwodnienie osadu. Powstaje nowy nawóz, którego ostateczne właściwości zależą od osadu ściekowego i rodzaju oraz ilości materiału alkalizującego. Najbardziej celowe jest stosowanie go jako substytutu obornika i wapna rolniczego na gleby kwaśne, do których nie można wносить innych osadów ściekowych. Należy tylko pamiętać, że materia organiczna takiego osadu ulega silnej mineralizacji po zmieszaniu z glebą [Rhew, Barlaz 1995], co w utworach lekkich może prowadzić do zanieczyszczenia wód gruntowych uwalniającymi się składnikami. Stąd też powstał pomysł równoczesnego dodawania szlamu z osadników cukrowni – odpadu bogatego w części spławialne. Natomiast właściwe osadom ściekowym braki potasu miał uzupełnić popiół z pieca na słomę. Obecnie w Ameryce Pn. mieszanina osadu ściekowego z popiołem ze słomy wykorzystanej do celów energetycznych zalecana jest jako doskonały zrównoważony nawóz jesienny [Williams 2003].

Celem niniejszej pracy, będącej kontynuacją wcześniej opublikowanych rezultatów, jest przedstawienie reakcji kukurydzy pastewnej, uprawianej w trzyletniej monokulturze, na melioracyjne dawki odpadów, które poprawiły szereg parametrów gleby [Reszel i in. 2001, 2003].

METODY

Działanie samego higienizowanego wapnem osadu ściekowego z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni w Zamościu oraz połączonego z dwoma innymi odpadami oceniono w latach 1996–1998 w Instytucie Nauk Rolniczych w Zamościu AR w Lublinie. Eksperyment przeprowadzono w polietylenowych wazonach napełnionych 8 kg piasku gliniastego lekkiego, kwaśnego ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5,1$), o wadliwym kompleksie sorpcyjnym, ubogiego w węgiel organiczny (6 g kg^{-1}),

azot (537 mg kg^{-1}), przyswajalny potas (47 mg K kg^{-1}) i magnez (5 mg Mg kg^{-1}), zasobnego w fosfor (69 mg P kg^{-1}), o zawartości metali ciężkich znacznie poniżej poziomu naturalnego. Zastosowano dwie dawki osadu 2% (równoważne $56 \text{ Mg s.m. ha}^{-1}$) i 5% (odpowiadające $140 \text{ Mg s.m. ha}^{-1}$). Te same dawki osadu uzupełniono ziemią spławiakową (szlamem z osadników cukrowni, w ilości 10%, odpowiednik $280 \text{ Mg s.m. ha}^{-1}$) i popiołem z pieca na słomę ($2,5 \text{ g/wazon}$, odpowiednik $0,9 \text{ Mg ha}^{-1}$). Dla porównania wprowadzono wariant kontrolny (bez żadnych dodatków) i NPK – z przeciętnym, corocznie wnoszonym nawożeniem mineralnym. Doświadczenie realizowano w trzech powtórzeniach.

Osad ściekowy z oczyszczalni w Zamościu spełniał wszystkie wymogi konieczne przy rolniczym zagospodarowaniu. Miał odczyn zasadowy ($\text{pH}_{\text{KCl}} 9,0$), 25% suchej masy, zawartość pierwiastków w g kg^{-1} s.m. była następująca: $C_{\text{org}} - 250$; $N - 35,3$; $P - 15,8$; $K - 3,0$; $Mg - 5,1$; $Ca - 68,1$; natomiast poziom metali ciężkich był wielokrotnie niższy niż dopuszczony w Rozporządzeniu MŚ [z 1 sierpnia 2002 r. Dz. U. Nr 134, poz. 1140]. Ziemia spławiakowa z cukrowni w Werbkowicach, o składzie granulometrycznym pyłu ilastego, $\text{pH}_{\text{KCl}} 7,4$ zawierała 70% suchej masy i następujące ogólne ilości składników w g kg^{-1} s.m.: $C_{\text{org}} - 15$; $N - 1,5$; $P - 0,4$; $K - 3,8$; $Mg - 1,3$; $Ca - 3,9$; koncentracja metali ciężkich również nie przekraczała tu poziomu naturalnego gleb. Całkowite stężenie makroelementów w popiele ze słomy wynosiło w g kg^{-1} s.m.: $N - 2,7$; $P - 9,6$; $K - 66,1$; $Mg - 6,2$; $Ca - 20,1$.

Do każdego wazonu, zabezpieczonego przed deszczem i podlewanego wyłącznie wodą dejonizowaną, wysiewano 4 nasiona kukurydzy (odmiana Ola), z których po wschodach pozostawiano dwie rośliny. Od trzeciego tygodnia wegetacji co 7 dni mierzono wysokość roślin aż do fazy dojrzałości mleczno-woskowej. Wtedy kukurydzę ścinano, oddzielano kolby od łodyg i oznaczono ich suchą masę. Następnie wysuszone części roślin łączono, rozdrabniano i pobierano próbkę do analiz. Oznaczano zawartość N, P, K, Mg i Ca metodami przyjętymi w stacjach chemiczno-rolniczych. Wyniki poddano analizie wariancji (NIR pomiędzy średnimi liczono z ryzykiem błędu $\leq 5\%$). Obliczono też współczynniki korelacji prostej pomiędzy badanymi cechami, zamieszczając tylko rodzaj zależności i poziom ryzyka błędu.

WYNIKI

Odpady najsilniej oddziaływały na kukurydzę w pierwszym roku po wniesieniu. W tym sezonie rosła ona dłużej średnio o 12 dni w porównaniu z pozostałymi i wytworzyła połowę sumarycznej masy części nadziemnych, uzyskanej w trzyletnim doświadczeniu (przeciętnie z wazonu uzyskano $71,2 \text{ g}$ w roku

1996; 37,0 g w r. 1997; 33,8 g w r. 1998; NIR=7,5). Głównie dlatego, że bezpośrednie działanie osadów jest znacznie silniejsze niż następne, co związane jest z ilością dostępnych składników pokarmowych. Evanylo [1999] podaje, że z wapnowanych osadów ściekowych w pierwszym roku dostępne dla roślin jest średnio 30% N, w następnym – 15% pozostającego w glebie, a w trzecim zaledwie 7%. Mniejsza masa kukurydzy w dwóch kolejnych sezonach, we wszystkich wariantach, w tym NPK, mogła też być następstwem niekorzystnego oddziaływania na rośliny resztek korzeniowych, pozostających każdorazowo w wazonach, gdyż zasobność podłoża z odpadami nadal pozostawała wysoka [Reszel i in. 2003]. W dalszej części pominięto więc zrozumiałe zmiany sezonowe, prezentując przeciętne dane doświadczenia, by skupić się na wpływie odpadów.

Kukurydza w wazonach zasilonych wyłącznie osadem ściekowym, szczególnie jego większą dawką, początkowo rosła nieco wolniej niż w pozostałych (dane niepublikowane). W doświadczeniu Vasseura i in. [1998] rośliny testowe w porównaniu z kontrolą wykazywały także tym wolniejsze tempo wzrostu, im większa była dawka wapnowanego osadu ściekowego. Mogło to być spowodowane inhibicyjnym działaniem wydzielającego się z osadu wolnego amoniaku, na co wskazali Logan i Harrison [1995b].

Wszystkie odpady zwiększyły wysokość kukurydzy i jej masę podobnie jak nawożenie mineralne, jednak silniej niż NPK sprzyjały zawiązywaniu kolb (tab. 1). Wprawdzie sama dawka 5% osadu ściekowego była z nich najmniej korzystna, ale jej skuteczność poprawiło dodanie ziemi szałwiakowej oraz popiołu i to do tego stopnia, że w tej kombinacji uzyskano efekt najlepszy, istotnie przewyższający coroczne nawożenie mineralne. Analiza prac dotyczących wpływu alkalizowanych osadów ściekowych na uprawy [Vasseur i in. 1998; Little i in. 1991; Akrivos i in. 2000] wykazała systematyczny przyrost masy roślin wraz ze wzrostem dawki osadu, ale wnoszonych w ilościach mniejszych niż zastosowane w doświadczeniu. Często natomiast, po przekroczeniu pewnej dawki (zależnej od wielu czynników), także i u nich następował spadek plonu w stosunku do dawki poprzedniej, ale nie do poziomu niższego niż w obiekcie kontrolnym.

Osad ściekowy, silniej niż NPK i proporcjonalnie do wniesionej ilości, zwiększył koncentrację N, Ca i Mg w nadziemnych częściach kukurydzy. Łączenie go z pozostałymi odpadami spowodowało obniżenie poziomu tych pierwiastków w tkankach. Spodziewano się natomiast, że w tych wariantach rośliny będą lepiej zaopatrzone w potas, ze względu na dodatek popiołu, na co wskazują badania Bubenheima i Wignarajaha [1997]. Prawdopodobnie zastosowano jednak zbyt małą ilość popiołu, co przy jego słabej rozpuszczalności okazało się niewystarczające do zaopatrzenia roślin. Zawartość fosforu nie zmieniała się aż

tak wyraźnie z powodu wysokiej zasobności gleby kontrolnej w ten pierwiastek. Poziom P w tkankach był najwyższy w obiekcie kontrolnym, choć tam rośliny osiągnęły najmniejszą masę.

Tabela 1. Wysokość i sumaryczna masa części nadziemnych roślin uzyskana w latach 1996–1998 oraz udział kolb i zawartość makroelementów w kukurydzy
Table 1. Height and summary mass of the above-ground plant obtained in the years 1996–1998 and the percentage of corn-cobs and macroelements content in maize

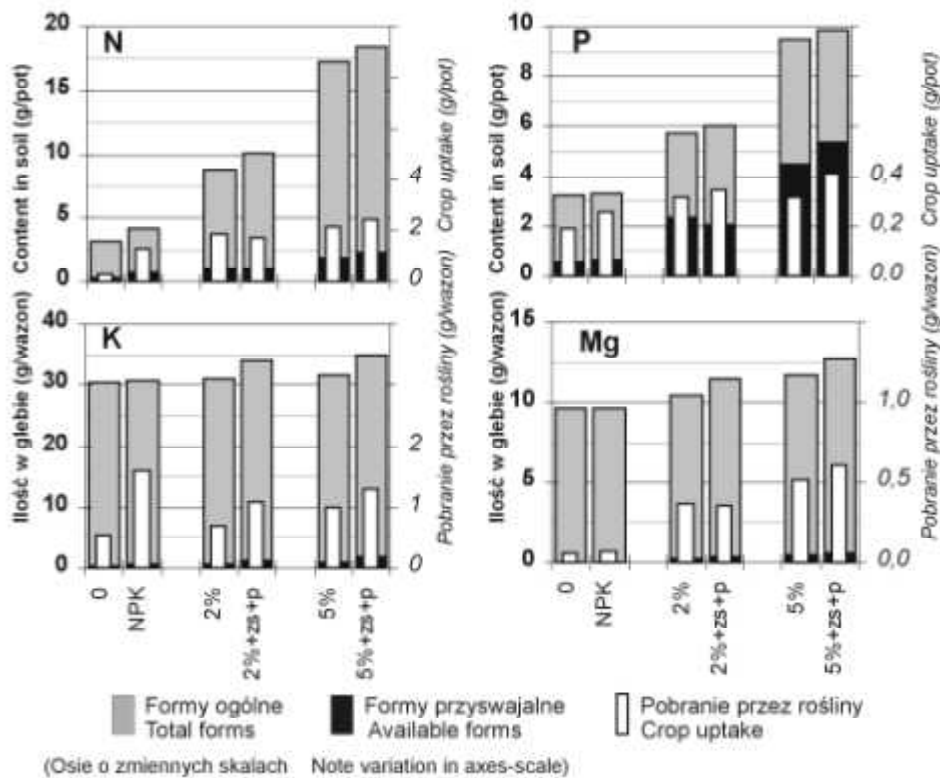
Obiekt Treatment	Wysokość roślin Plant height cm	Sucha masa roślin g/wazon Plant dry mass g/pot	Udział kolb Participation of cobs %	Pierwiastek Element				
				N	P	K	Ca	Mg
Gleba soil	54	57	17	0,46	0,33	0,96	0,22	0,10
NPK	89	142	29	0,91	0,18	1,13	0,20	0,05
2%	92	157	43	1,20	0,20	0,44	0,25	0,23
2% + zs + p*	95	171	42	1,03	0,20	0,63	0,22	0,21
5%	91	131	38	1,67	0,24	0,76	0,35	0,39
5% + zs + p	100	195	39	1,27	0,21	0,66	0,23	0,31
NIR LSD p=0,05	13	32	7	0,17	0,03	0,16	0,04	0,03

*Ziemia splawiakowa + popiół ze słomy Sugar-beet washing earth from a sugar plant sediment tanks + ash from straw-fired boiler

Należy zwrócić uwagę na fakt, że kukurydza w wariacie kontrolnym, a szczególnie nawożonym NPK, miała jak na roślinę paszową zbyt mało magnezu (tab. 1). Także za wąski był jonowy stosunek wapnia do fosforu (0,5 w wariacie kontrolnym, 1,0 średnio dla kombinacji z odpadami). Tym większego znaczenia nabiera użyźnianie jej wapnowanym osadem, poprawiającym te parametry.

Plon kukurydzy, jego struktura jak i skład chemiczny wiązały się z właściwościami i zasobnością podłoża. Zawartości przyswajalnych form P, K i Mg oraz całkowita azotu dodatkowo korelowały z masą roślin ($p < 0,01$), natomiast z udziałem kolb wiązały się ilości ogólnego N ($p < 0,01$) oraz przyswajalnego P i Mg ($p < 0,05$). Bardzo wysoka ($p < 0,001$) dodatnia zależność wystąpiła pomiędzy poziomem w glebie i roślinie azotu oraz magnezu.

Przy stosowaniu dużych dawek osadu ściekowego istnieje niebezpieczeństwo przenikania do wód składników pokarmowych, głównie azotu i fosforu. Użycie wapnowanych osadów nie powinno jednak budzić takich obaw z kilku powodów. W prezentowanym doświadczeniu pobranie przez kukurydzę tych pier-



Rycina 1. Początkowa zawartość ogólnych i przyswajalnych ilości P, K i Mg oraz N-mineralnego w glebach oraz całkowite pobranie ich przez rośliny (g/wazon)
 Figure 1. The initial content of total and available P, K, Mg and mineral N in soils, and their total nutrient uptake by plants from a pot (g/pot)

wiastków z osadów było większe niż w powszechnie stosowanym NPK (ryc. 1). Ponadto azot występował w osadach głównie w postaci organicznej, a w nawożonej nimi glebie jego formy mineralne stanowiły tylko ok. 11% całkowitego N, z przewagą jonów amonowych (średnio w glebie z osadami na początku doświadczenia stwierdzono $175 \text{ mg kg}^{-1} \text{ N-NH}_4^+$ i $4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$). Rhew i Barlaz [1995], którzy stosowali jeszcze wyższy dodatek do gleby osadu ściekowego stabilizowanego wapnem (nawet 70%) zauważyli, że ilość jonów amonowych i fosforanowych obniżała się w czasie rozkładu materii organicznej. Dzieje się tak dlatego, że NH_4^+ tworzy kompleksy z fosforanami, jest też częściowo wiązany przez kompleks sorpcyjny lub przechodzi w wolny NH_3 . Nie powinien też niepokoić bardzo wysoki początkowo udział fosforu przyswajalnego, wprowadzonego wraz z osadem (ryc. 1), ponieważ rozpuszczalność fosforanów z czasem maleje [Rhew, Barlaz 1995].

WNIOSKI

1. W ciągu trzech lat, plonotwórcza wartość jednorazowo wniesionego 2 i 5% dodatku wapnowanego osadu ściekowego jest porównywalna z corocznie wnoszonym nawożeniem mineralnym odpowiednim dla kukurydzy uprawianej na zielonkę. W uzyskanej w tych warunkach paszy wzrasta udział kolb oraz ilość N, P, Ca i Mg proporcjonalnie do zastosowanej dawki osadu.

2. Dodatek ziemi sflawiakowej i popiołu ze słomy wzmacnia działanie osadu i jest szczególnie korzystny w połączeniu z większą – pięcioprocentową dawką osadu ściekowego.

3. Rolnicze zagospodarowanie wapnowanych osadów ściekowych jest godne zalecenia nawet wtedy, gdy ich działanie plonotwórcze nie przekracza efektów uzyskiwanych w wyniku nawożenia mineralnego. Pozwala bowiem nie tylko pozbyć się uciążliwego odpadu, ale także poprawić właściwości gleb, przywrócić do obiegu pobrane ze środowiska pierwiastki i ograniczyć stosowanie nawozów mineralnych. Łącząc je zaś z innymi odpadami można dodatkowo wzmocnić ich właściwości, zwiększyć efektywność i poszerzyć zakres stosowania.

PIŚMIENNICTWO

- Akrivos J., Mamais D., Katsara K., Andreadakis A. 2000. Agricultural utilisation of lime treated sewage sludge. *Water Science and Technology* 42, 9, 203–210.
- Bubenheim D.L., Wignarajah K. 1997. Recycling of inorganic nutrients for hydroponic crop production following incineration of inedible biomass. *Adv. Space Res.* 20, 10, 2029–2035.
- Christie P., Eason D.L., Picton J.R., Love S.C.P. 2001. Agronomic value of alkaline-stabilized sewage biosolids for spring barley. *Agron. J.* 93, 144–151.
- Evanylo G.K. 1999. Agricultural Land Application of Biosolids in Virginia: Managing Biosolids for Agricultural Use. *Virginia Cooperative Extension Publication*, 452–303
- Little D.A., Reneau R.B., Martens D.C. 1991. Lime-stabilized and chemically-fixed sewage sludges as lime amendments. *Bioresource Technology* 37, 93–102.
- Logan T.J., Harrison B. J. 1995. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N-Viro Soil) and their effects on soil physical properties. *J. Environ. Qual.* 24, 153–164.
- Logan T.J., Harrison B. J. 1995. Soil substitute from alkaline stabilization. *BioCycle* 36, 9, 80.
- Reszel R., Reszel H., Głowacka A. 2001. Changes in the contents of organic carbon in light soil fertilised with sewage sludge, sugar-beet washing earth, and straw ash. *Acta Agrophisica* 52, 209–218.
- Reszel R., Reszel H., Głowacka A. 2003. Altered properties of light soils improved with lime-treated sewage sludge or its mixture with sugar beet flume washing earth and straw ash. *Electronic J. Polish Agric. Univ., Ser. Environmental Development* 6, 2, <http://www.ejpau.media.pl>
- Rhew R.D., Barlaz M.A. 1995. Effect of lime-stabilized sludge as landfill cover on refuse decomposition. *J. Environ. Eng-Asce* 121, 7, 499–506.
- Vasseur L., Fortin M.J., Cyr J. 1998. Clover and cress as indicator species of impact from limed sewage sludge and landfill wastewater land application. *Sci. Total Environ.* 217, 231–239.
- Williams M. 2003. Fertiliser Potash Boost From Straw Burning Stations. *Farmers Weekly*, 3, 28, 138, issue 12, 68.

