

Krzysztof Klimont  
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – PIB  
w Radzikowie  
Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych

## REKULTYWACYJNA EFEKTYWNOŚĆ OSADÓW ŚCIEKOWYCH NA BEZGLEBOWYM PODŁOŻU WAPNA POFLOTACYJNEGO I POPIOŁÓW PALENISKOWYCH

### Streszczenie

Badano wpływ stosowania osadów ścieków komunalnych na inicjację i intensywność procesów glebotwórczych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego, składowiska popiołów paleniskowych oraz składowiska odpadów bytowych pokrytego popiołem, w zależności od gatunków roślin rekultywacyjnych. Stwierdzono, że wszystkie dawki osadów ściekowych wniesione do podłoża wapna poflotacyjnego spowodowały istotne zwiększenie substancji organicznej oraz wzrost zawartości przyswajalnych form P, K i Mg. Zarówno w podłożu pokrytym kostrzewą trzcinową (*Festuca arundinacea* Schreb.), jak i topinamburem (*Helianthus tuberosus* L.) procesy glebotwórcze przebiegały podobnie. Rekultywacja składowiska popiołów paleniskowych poprzez zastosowanie osadów ścieków komunalnych i obsiew roślinnością trawiastą wpłynęła na obniżenie pH podłoża, zaobserwowano również wzrost substancji organicznej, co sprzyjało tworzeniu się zaczątków poziomego próchnicznego w wierzchniej warstwie popiołu i zwiększeniu zawartości przyswajalnych form składników pokarmowych P, K i Mg. Wprowadzenie zagęszczonych osadów ściekowych do powierzchniowej warstwy popiołów paleniskowych wysypiska odpadów komunalnych poprawia ich właściwości fizyczne i chemiczne, oddziałuje glebotwórczo i stwarza warunki do rozwoju roślinności. Osady ściekowe oraz porastająca roślinność zainicjowały życie biologiczne w martwym bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego, składowisku popiołów paleniskowych i warstwie popiołów pokrywających wysypisko odpadów komunalnych, a powstała materia organiczna wytworzyła kompleks sorpcyjny, umożliwiający magazynowanie składników pokarmowych i wody.

**Słowa kluczowe:** tereny zdewastowane, rekultywacja, osady ściekowe, popioły paleniskowe, wapno poflotacyjne, proces glebotwórczy

## Wstęp

Tereny zdewastowane wymagają koniecznie rekultywacji przez inicjację procesów glebotwórczych w rekultywowanym podłożu, ale przede wszystkim odtworzenia szaty roślinnej metodą doboru odpowiednich gatunków roślin użytkowych [Góral 2001]. Rekultywacja techniczna zdewastowanych terenów polega, między innymi, na zneutralizowaniu kwasowości podłoża poprzez wapnowanie i użyźnianie mineralne, a rekultywacja biologiczna poprzez nawożenie organiczne oraz wprowadzenie odpowiednio dobranych gatunków roślin pionierskich [Łącka-Pilaszek, Siuta 1991].

Aby zainicjować procesy glebotwórcze w wapnie poflotacyjnym rozpoczęto jego rekultywację wprowadzając w martwe podłoże osad ścieków komunalnych [Siuta, Jońca 1997; Jońca 2000]. Badania Siuty i in. [1996] wykazały, że roślinami szczególnie przydatnymi do rekultywacji biologicznej wapna poflotacyjnego są kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.) i lucerna siewna (*Medicago sativa* L. s. str.), a wyniki Klimonta i in. [2002] oraz Klimonta [2007] pokazały, że w podłożu wapiennym porośniętym kostrzewą trzcinową, topinamburem oraz mieszanką traw z motylkowatymi wzbogaconym osadem ściekowym następuje inicjacja procesów glebotwórczych.

Aby wprowadzić życie biologiczne do martwego podłoża popiołów paleniskowych można również wykorzystać osady ścieków komunalnych [Gilewska 1999]. Zagospodarowując składowiska popiołów metodami biologicznymi szczególną uwagę zwrócono na trawy jako rośliny pionierskie [Góral 2001; Kitczak i in. 1998, 1999; Klimont, Bulińska-Radomska 2009]. Z powodzeniem stosowano również popiół paleniskowy z elektrociepłowni, użyźniony osadami ścieków komunalnych, do pokrycia powierzchni składowisk odpadów bytowych, jako podłoże do rekultywacji biologicznej z wykorzystaniem mieszanki wybranych gatunków traw z motylkowatymi [Klimont 2005].

Celem badań było określenie wpływu stosowania zagęszczonych i przefermentowanych osadów ścieków komunalnych na inicjację i intensywność procesów glebotwórczych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego, składowiska popiołów oraz wysypiska odpadów bytowych, pokrytych popiołem.

## Materiał i metody

**Doświadczenie 1.** Badania prowadzono na terenach poeksploatacyjnych Kopalni Siarki „Jeziórko”, pokrytych wapnem poflotacyjnym o łącznej powierzchni ok. 100,0 ha, z której wydzielono obszar pod doświadczenie o powierzchni 1,60 ha. Wiosną 1995 r. bezglebowe podłoże wapna poflotacyjnego na powierzchni doświadczenia nawieziono powierzchniowo zagęszczonym i przefermentowanym (s.m. 29,1%) osadem ścieków komunalnych w dawkach 250, 500 i 750 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, wymieszano z podłożem ciężką broną talerzową i zastosowano nawozy mineralne N, P, K w ilości 68, 30 i 83

kg·ha<sup>-1</sup>, które w podanych dawkach wnoszono corocznie. Osady ściekowe zastosowane do rekultywacji pochodziły z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli, a ich skład chemiczny i właściwości przedstawiono w tabeli 1. Wariant kontrolny o powierzchni 0,10 ha stanowił obiekt bez nawożenia, osadów ściekowych i nieporośnięty roślinnością.

Na przygotowanym podłożu wysiano na powierzchni 1,20 ha nasiona kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb.), a na powierzchni 0,30 ha wysadzono bulwy topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.). Każdego roku ruń kostrzewy trzcinowej wykaszano oraz okresowo wypasano na niej bydło, natomiast pędy topinamburu pozostawiano nieskoszone na zimę, a wiosną ścinano, rozdrabniano i mieszano z podłożem.

**Doświadczenie 2.** Składowisko popiołów paleniskowych Elektrociepłowni Białystok-Sowlany ukształtowano w formie ściętej piramidy o nachyleniu zboczy 1:4, na nich wykonano ławeczki co 5 m o szerokości 3,5–4,5 m, aby zmniejszyć podatność zboczy na erozję wodną. Po ukształtowaniu przeorano je pługiem łąkowym z układem skiby ukośnie w stosunku do zbocza. Powierzchnia zbocza objęta rekultywacją wynosiła 4,80 ha. Nawieziono ją zagęszczonym, przefermentowanym (s.m. 30,0%) osadem ściekowym w ilości 300 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, pochodzącym z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku. Po rozprowadzeniu spychaczem wymieszano go z podłożem ciężką broną talerzową. Następnie dodatkowo rozrzucano powierzchniowo ok. 50 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> osadu i zastosowano nawożenie 120 kg (NPK)·ha<sup>-1</sup>. Na tak przygotowane podłoże, na powierzchni 4,50 ha wysiano nasiona mieszanki sześciu gatunków traw łąkowych z dodatkiem lucerny siewnej i koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.), na 0,05 ha stokłosa bezostnej (*Bromus inermis* Leyss.) i na 0,05 ha wysadzono sadzonki traw obcego pochodzenia. Przedmiotem niniejszych badań jest doświadczenie założone na powierzchni 0,20 ha, na którym wysiano w siewie czystym nasiona kostrzewy trzcinowej w ilości 50 kg nasion w przeliczeniu na 1 ha.

**Doświadczenie 3.** Badania prowadzono na zrekultywowanym wysypisku odpadów komunalnych w Uhowie k. Białegostoku. Powierzchnia składowiska wynosiła 4,0 ha, zamknięto je w 2003 r., a w latach 2003/04 pokryto warstwą popiołów paleniskowych z pobliskiej elektrociepłowni w Białymstoku. Późną wiosną 2004 r. popioły użyżniono zagęszczonym (s.m. 29,4%) osadem ścieków komunalnych w dawce 300 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, który przed użyciem poddano procesom fermentacji, po czym wymieszano z podłożem broną talerzową, następnie powierzchnię wyrównano, wałowano ciężkim wałem łąkowym i zastosowano nawożenie 135 kg (NPK)·ha<sup>-1</sup>. W doświadczeniu wykorzystano osady komunalne z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Łapach. Skład chemiczny i sanitarny oraz właściwości osadów ściekowych, pochodzących z oczyszczalni ścieków w Białymstoku i Łapach, zastosowanych na popiołach paleniskowych, był zbliżony do tego z oczyszczalni w Stalowej Woli, który wniesiono na wapno poflotacyjne. Na przygotowaną powierzchnię

wysiano mieszankę traw z dodatkiem motylkowatych drobnonasiennych, stosując gorczycę białą jako roślinę ochronną. Skład mieszanki był następujący: kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.) – 22,8%, kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.) – 11,3%, stokłosa bezostna (*Bromus inermis* Leyss.) – 9,4%, wydmuchrzyca groniasta (*Elymus racemosus* Lam.) – 9,4%, perz grzebieniasty (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.) – 7,5%, życica trwała (*Lolium perenne* L.) – 7,5%, mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea* L.) – 4,7%, tymotka łąkowa (*Phleum pratense* L.) – 4,7%, nostrzyk biały (*Melilotus albus* Medik.) – 14,1% i koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense* L.) – 8,6%. Corocznie, na przełomie czerwca i lipca, ruń wykaszano.

W pracy przedstawiono wyniki badań, prowadzonych na trzech wymienionych doświadczeniach w latach 2008–2010. Badano zawartość substancji organicznej i przyswajalnych form P, K i Mg w podłożu wapna poflotacyjnego i popiołu oraz jego pH. W tym celu z podłoża, na którym rosły rośliny rekultywacyjne, corocznie w czerwcu pobierano próbki z dwóch poziomów: próchnicznego (A) do 10 cm (zależnie od miąższości) i warstwy (W), znajdującej się bezpośrednio pod poziomem próchnicznym. W doświadczeniu 1. próbki pobierano z podłoża użyźnionego trzema dawkami osadów ściekowych, na którym rosła kostrzewa trzcinowa i topinambur, oraz z wariantu kontrolnego, w doświadczeniu 2. – spod kostrzewy trzcinowej z górnej i dolnej części zbocza, a w doświadczeniu 3. – spod mieszanki traw. Wariantem kontrolnym w doświadczeniu 2. i 3. był surowy popiół. Analizy próbek wykonano w akredytowanym laboratorium OSChR w Kielcach, według obowiązujących procedur. Wyniki analiz chemicznych (K i Mg) porównano z wynikami podanymi przez IUNG dla kategorii agronomicznej gleb lekkich i średnich [IUNG 1989].

## Wyniki i dyskusja

Wyniki analiz osadów ściekowych, przedstawione w tabeli 1, wskazują na znaczną zawartość w suchej masie składników pokarmowych w postaci azotu, fosforu i wapnia oraz mniejszą magnezu (potasu nie oznaczono). Stosując dawkę  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  osadu ściekowego wnosi się wraz z nim ok. 2,80 t azotu, 1,30 t fosforu, jak również ok. 0,50 t wapnia i 120 kg magnezu oraz prawie 53 t substancji organicznej. Wraz z dawką podwójną ( $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) i potrójną ( $750 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) wniesiono odpowiednio dwukrotne i trzykrotne ilości wyżej podanych składników pokarmowych i substancji organicznej (tab. 2).

Trzyletnie badania wykazały, że pod wpływem każdej zastosowanej dawki osadu następował wzrost substancji organicznej w podłożu wapna poflotacyjnego zarówno na obiektach porośniętych kostrzewą trzcinową, jak i topinamburem (tab. 3). Przyrost substancji organicznej był podobny w podłożu pobranym spod obu badanych gatunków roślin. Po zastosowaniu największej dawki osadu nastąpił 10-krotny wzrost zawartości substancji organicznej w podłożu, na którym rosły kostrzewa trzcinowa i topinambur, po zastoso-

Tabela 1. Skład chemiczny i sanitarny osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli

Table 1. Chemical composition and sanitary condition of sewage sludge from Stalowa Wola City treatment plant

Składniki Components	Zawartość Content	
	osady ściekowe <sup>1)</sup>	sewage sludge <sup>1)</sup>
Sucha masa Dry matter	29,1	
pH	7,1	
<b>Zawartość s.m. [%] Content in dm [%]</b>		
Azot ogólny (N)	3,400	
Azot amonowy (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,400	
Fosfor ogólny (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,690	
Wapń (CaO)	0,640	
Magnez (MgO)	0,160	
Substancja organiczna Organic matter	72,580	
<b>Zawartość s.m. [mg·kg<sup>-1</sup>] Content in dm [mg·kg<sup>-1</sup>]</b>		
Cynk (Zn)	1257,730	
Ołów (Pb)	68,730	
Kadm (Cd)	< 6,870	
Miedź (Cu)	30,930	
Chrom ogólny (Cr)	< 20,620	
Nikiel (Ni)	68,730	
Rtęć (Hg)	0,060	
<b>Badania bakteriologiczne i parazytologiczne Bacteriological and parasitological tests</b>		
Obecność Salmonelli Presence of Salmonella	nie stwierdzono not detected	
Liczba żyjących jaj <i>Ascaris</i> sp., <i>Toxocara</i> sp., <i>Trichuris</i> sp. Number of live eggs of <i>Ascaris</i> sp., <i>Toxocara</i> sp., <i>Trichuris</i> sp.	2	

<sup>1)</sup> Według opinii wydanej przez Sanepid, przebadane partie osadów ściekowych pod względem chemicznym, bakteriologicznym i parazytologicznym są zgodne z obowiązującymi przepisami prawa i mogą być wykorzystywane rolniczo.

<sup>1)</sup> According to the Sanepid statement, the sewage sludges tested for chemical composition as well as bacteriologically and parasitologically, were in agreement with current standards and allowed to utilization in agriculture.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 2. Ilość składników pokarmowych i materii organicznej wnoszona wraz z osadem ściekowym do bezglebowego podłoża poflotacyjnego

Table 2. Amounts of the nutrients and organic matter brought in with sewage sludge into soil-less, post-flotation lime substrate

Dawka osadu ściekowego Dose of sewage sludge [m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ]	Ilość składników pokarmowych Amount of nutrients [t]					
	azot ogólny total nitrogen (N)	azot amonowy ammonium nitrogen (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	fosfor ogólny total phosphorus (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	wapń calcium (CaO)	magnez magnesium (MgO)	substancja organiczna organic matter
250	2,495	0,290	1,229	0,475	0,120	52,800
500	4,990	0,580	2,458	0,950	0,250	105,605
750	7,485	0,870	3,687	1,420	0,380	158,408

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 3. Zawartość przyswajalnych form P, K i Mg oraz materii organicznej w podłożu wapna poflotacyjnego w zależności od gatunku rośliny rekultywacyjnej i dawek osadu ściekowego (2008–2010)

Table 3. Contents of P, K, Mg assimilable forms and organic matter in post-flotation lime substrate depending on the species of reclamation plants and dose of municipal sewage sludge (2008–2010)

Gatunek rośliny Plant species	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge [m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ]	Poziom glebowy Soil level	pH <sub>KCl</sub>	Zawartość Content			
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	materia organiczna organic matter [g·kg <sup>-1</sup> ]
				[mg·kg <sup>-1</sup> gleby mg·kg <sup>-1</sup> soil]			
Wariant kontrolny Control	0	W	7,5	21,0	18,0	15,0	7,4
Kostrzewa trzcinowa ( <i>Festuca arundinacea</i> Scherb.)	250	A	7,1	123,0	130,0	35,0	54,8
		W	7,3	57,0	109,0	13,0	17,8
	500	A	7,2	140,0	202,0	34,0	47,0
		W	7,3	91,0	66,0	12,0	14,5
	750	A	7,2	165,0	161,0	36,0	72,2
		W	7,3	102,0	85,0	10,0	11,1
$\bar{x}$			7,2	113,0	125,5	23,3	36,2
Topinambur ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.)	250	A	7,4	341,0	98,0	19,0	36,9
		W	7,4	168,0	75,0	17,0	12,2
	500	A	7,3	323,0	105,0	15,0	43,4
		W	7,4	119,0	51,0	14,0	14,7
	750	A	7,2	459,0	119,0	26,0	76,3
		W	7,3	182,0	51,0	21,0	31,3
$\bar{x}$			7,3	265,0	83,2	18,7	35,8

Objaśnienia: A – poziom próchniczny, W – warstwa wapna poflotacyjnego,  $\bar{x}$  – średnio.  
 Explanations: A – humus level, W – post-flotation lime level,  $\bar{x}$  – mean.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

waniu dawki średniej był on 6-krotny, a w przypadku dawki najmniejszej – odpowiednio 7- i 5-krotny. Na doświadczeniu z topinamburem, na obiektach nawożonych największymi dawkami zawartość fosforu w poziomie próchnicznym zwiększyła się 22 razy, potasu prawie 7 razy, zaś magnezu mniej niż 2-krotnie. Większa zawartość przyswajalnych form podstawowych składników pokarmowych warunkowała wytworzenie z masy organicznej topinamburu poziomu próchnicznego i kompleksu sorpcyjnego, zawierającego jony oznaczonych pierwiastków.

Również osady ściekowe zastosowane na doświadczeniu z kostrzewą trzcinową spowodowały powstanie na podłożu wapiennym poziomu próchnicznego (A), który zawierał prawie 6 razy więcej fosforu (dawka pojedyncza),

a potas wzrósł ponad 7-krotnie. Dawka podwójna ( $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) powodowała prawie 7-krotny wzrost zawartości przyswajalnego fosforu i największy – ponad 11-krotny – zawartości potasu. Dawka największa (potrójna) wpłynęła na największy – prawie 8-krotny – wzrost zawartości fosforu, a potasu prawie 9-krotny. Zawartość magnezu, po wniesieniu do podłoża każdej z dawek osadu, zwiększyła się prawie 2,5-krotnie. Obserwowano powolne zmniejszanie się zawartości substancji organicznej w podłożu, na którym rósł topinambur, i jej zwiększenie w podłożu porośniętym kostrzewą w porównaniu z wynikami poprzednich cykli badań [Klimont 2004; Klimont 2007; Klimont i in. 2002]. W stosunku do poprzednich badań zawartość w podłożu przyswajalnego fosforu i magnezu malała, szczególnie w tym porośniętym topinamburem; jednocześnie wzrastała zawartość potasu, zarówno w podłożu, na którym rosła kostrzewa trzcinowa, jak i topinambur. Warto odnotować, że kilkanaście lat po aplikacji osadów ich najwyższe dawki nadal wpływają na największą zawartość materii organicznej i przyswajalnych form P, K i Mg w podłożu pokrytym topinamburem i kostrzewą trzcinową w porównaniu z dawkami średnimi i najniższymi.

Z poprzednich badań wynika, że wszystkie stosowane dawki osadu ściekowego, zastosowane na podłożu porośnięte topinamburem skutkowały wytworzeniem większej ilości substancji organicznej, gromadzącej większą ilość przyswajalnych form P, K i Mg w porównaniu z kostrzewą trzcinową, natomiast przedstawione wyniki wskazują, że zawartość substancji organicznej w podłożu, na którym rosną obydwa gatunki jest podobna, a zawartość przyswajalnych form K i Mg jest znacznie większa w podłożu porośniętym kostrzewą trzcinową. Jednocześnie odnotowano nieznaczne, ale zauważalne, obniżenie pH podłoża porośniętego omawianymi gatunkami roślin w odniesieniu do wariantu kontrolnego.

Obserwacje prowadzone na doświadczeniu 2., założonym na zboczu składowiska popiołów paleniskowych użyźnionych osadem ścieków komunalnych i obsianych kostrzewą trzcinową wykazały, że w dolnej części stoku rośliny są bujniejsze i intensywniej zielone, dlatego wykonano analizę podłoża pobranego z góry i dołu zbocza (tab. 4). Wniesienie osadów ścieków komunalnych do rekultywacji popiołów i wprowadzenie roślinności trawiastej wpłynęło na inicjację życia biologicznego w martwym podłożu popiołów paleniskowych, a wytworzona materia organiczna stworzyła kompleks sorpcyjny, ułatwiający gromadzenie składników pokarmowych i wody. Dzięki temu w poziomie próchnicznym prawie 2-krotnie zwiększyła się zawartość substancji organicznej w górnej części zbocza i prawie 2,5-krotnie w dolnej, ale niewiele w poziomie warstwy popiołu pobranej z górnej i dolnej części stoku. Nastąpił prawie 2-krotny wzrost przyswajalnego Mg, prawie 1,5-krotny  $\text{P}_2\text{O}_5$  i  $\text{K}_2\text{O}$  w poziomie próchnicznym i warstwie popiołu, szczególnie w dolnej części zbocza, co można tłumaczyć wymywaniem składników pokarmowych ze stromego zbocza składowiska. Nawożenie popiołów osadem ściekowym wpłynęło na znaczne obniżenie pH w poziomie próchnicznym i warstwie po-

Tabela 4. Zawartość przyswajalnych form P, K i Mg oraz materii organicznej w podłożu popiołów paleniskowych wzbogaconych osadami ścieków komunalnych (2008–2010)

Table 4. Contents of P, K, Mg assimilable forms and organic matter in substrate of incineration ashes enriched with municipal sewage sludge (2008–2010)

Gatunek rośliny Plant species	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge [m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ]	Poziom glebowy Soil level	pH <sub>KCl</sub>	Zawartość Content			
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	materia organiczna organic matter [g·kg <sup>-1</sup> ]
				[mg·kg <sup>-1</sup> gleby mg·kg <sup>-1</sup> soil]			
Wariant kontrolny Control variant	0	W	8,5	412	112	90	38,6
Kostrzewa trzcinowa ( <i>Festuca arundinacea</i> Scherb.) – góra zbocza upper hill-side	350	A W	7,6	47,3	159	141	66,2
			7,8	497	129	130	48,4
– x			7,7	485	144	135,5	57,3
Kostrzewa trzcinowa ( <i>Festuca arundinacea</i> Scherb.) – dół zbocza lower hill-side	350	A W	7,5	567	160	170	90,5
			7,6	565	128	163	51,6
– x			7,6	566	144	167,5	71

Objaśnienia, jak pod tabelą 3. Explanations, see table 3.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

piołu, co pokazują badania Gilewskiej i Przybyły [2001]. W kolejnych latach badań zanotowano znaczne ubytki fosforu i substancji organicznej, a nieco mniejsze magnezu. Jest to tendencja zaobserwowana przez Klimonta i Bu-lińską-Radomską [2009] w poprzednim okresie badań kompleksowych na składowisku popiołów paleniskowych.

Aplikacja osadów ściekowych do warstwy popiołów, pokrywających wysypisko śmieci, spowodowała 2,5-krotne zwiększenie zawartości substancji organicznej w poziomie próchnicznym i niewielkie w warstwie popiołu leżącej bezpośrednio pod tym poziomem (tab. 5). Odnotowano również obniżenie pH w obydwu poziomach podłoża. Powstałe z wniesionej materii organicznej i masy organicznej rosnących na tym podłożu roślin kompleks sorpcyjny i zaczątki poziomu próchnicznego wpłynęły na ponad 2,5-krotny wzrost zawartości przyswajalnego Mg, 2-krotny K<sub>2</sub>O i znaczny P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> w odniesieniu do wa-



Tabela 5. Zawartość przyswajalnych form P, K i Mg oraz materii organicznej w podłożu popiołów paleniskowych użytych do rekultywacji składowiska odpadów komunalnych i wzbogaconych osadem ściekowym (2008–2010)

Table 5. Contents of assimilable P, K, Mg forms and organic matter in substrate of incineration ashes used to reclamation of municipal waste dump and waste enriched with sewage sludge (2008–2010)

Gatunek rośliny Plant species	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge [m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ]	Poziom glebowy Soil level	pH <sub>KCl</sub>	Zawartość Content			
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	materia organiczna organic matter [g·kg <sup>-1</sup> ]
				[mg·kg <sup>-1</sup> gleby mg·kg <sup>-1</sup> soil]			
Wariant kontrolny Control variant	0	W	8,3	490,0	140,0	64,0	51,5
Mieszanka traw z motylkowatymi Mixture of grass with legumes	300	A	7,5	696,0	270,0	166,0	126,0
		W	8,0	588,0	206,0	95,0	65,5
$\bar{x}$			7,8	642,0	238,0	130,5	95,8

Objaśnienia, jak pod tabelą 3. Explanations, see table 3.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

riantu kontrolnego. Zawartość omawianych składników w warstwie popiołu była znacznie mniejsza. W kolejnych latach badań odnotowano znacznie mniejszą zawartość przyswajalnego P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, natomiast zawartość K<sub>2</sub>O i MgO w zasadzie nie uległa większym zmianom.

Gilewska i Przybyła [2001] donoszą, że w popiołach brakuje przyswajalnych form fosforu a zawartość azotu jest mała i występuje on w formie nieprzyswajalnej dla roślin. Wykazują również, że wprowadzenie osadów ściekowych na powierzchnię składowiska i wymieszanie z popiołem poprawia jego właściwości chemiczne dzięki zwiększonej zawartości azotu, fosforu i obniżonemu pH. Według Mazura [1996], rośliny szybko przyswajają fosfor zawarty w osadach, podobnie jak wykazano to w niniejszych badaniach. Z kolei Owczarzak i in. [1993] wskazuje na korzystne oddziaływanie osadów ściekowych na właściwości strukturotwórcze popiołów. Dlatego wykorzystywanie zagęszczonych osadów ściekowych do rekultywacji składowisk (hałd) popiołów paleniskowych oraz użyczenia warstwy popiołów, pokrywających wysypiska odpadów komunalnych wydaje się zabiegiem celowym i racjonalnym, umożliwi bowiem jednocześnie utylizację odpadów bytowych (śmieci, osadów ścieków komunalnych) i poprzemysłowych (popiołów paleniskowych) oraz odtworzenie szaty roślinnej na zdewastowanym terenie [Góral 2001; Klimont, Bulińska-Radomska 2009; Prończuk 1994; Siuta 1997, 2004; Siuta, Kutla 2005].

## Wnioski

1. Wszystkie dawki osadów ściekowych wniesione do podłoża wapna poflotacyjnego, na którym rosły topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) i kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea* Schreb.), spowodowały znaczący przyrost substancji organicznej, zwiększenie zawartości przyswajalnych form P, K i Mg oraz niewielkie obniżenie pH.
2. Osady ściekowe mogą być z powodzeniem zastosowane do rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych po obsianiu ich roślinnością trawiastą. Wpływają na obniżenie pH, zwiększenie zawartości substancji organicznej i przyswajalnych form P, K i Mg oraz sprzyjają tworzeniu się zaczątków poziomu próchnicznego w wierzchniej warstwie podłoża.
3. Wniesienie zagęszczonych osadów ściekowych do powierzchniowej warstwy popiołów paleniskowych, pokrywających składowisko odpadów komunalnych, poprawia ich właściwości chemiczne i fizyczne oddziałując glebotwórczo oraz umożliwiając rozwój wybranych gatunków traw i roślin motylkowatych.
4. Osady ściekowe wraz z porastającą roślinnością są czynnikiem inicjującym życie biologiczne w martwym bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego, składowisku popiołów paleniskowych oraz warstwie popiołów, pokrywających wysypisko odpadów komunalnych, a wytworzona materia organiczna tworzy kompleks sorpcyjny, umożliwiający magazynowanie składników pokarmowych i wody.

## Bibliografia

- Gilewska M. 1999. Utilization of sewage sludge in the reclamation of post-mining soil and ash disposal sites. Roczniki AR Poznań 310. Melioracje i Inżynieria Środowiska 20 cz. II s. 273–281.
- Gilewska M., Przybyła Cz. 2001. Wykorzystanie osadów ściekowych w rekultywacji składowisk popiołowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 477 s. 217–222.
- Góral S. 2001. Roślinność zielna w ochronie i rekultywacji gruntów. Inżynieria Ekologiczna. Nr 3 s. 161–178.
- IUNG-PIB Puławy 1989. Materiały do opracowania zaleceń nawozowych na gruntach ornych. Warszawa. PWRiL ss. 48
- Jońca M. 2000. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji gruntów. Inżynieria Ekologiczna. Nr 3 s. 161–178.
- Kitczak T., Gos. A., Czyż H., Trzaskoś M. 1998. Sukcesja roślinności na hałdach popioło-żużli różnie zagospodarowanych. W: Stan i możliwości środowiska naturalnego. Nauka Gospodarce. Wydaw. AR Szczecin s. 123–132.
- Kitczak T., Gos. A., Czyż H., Trzaskoś M. 1999. Roślinność hałd popioło-żużli. Zeszyty Naukowe AR Szczecin, Agricultura 75 s. 179–187.

- Klimont K., Góral S., Jońca M. 2002. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na podłożu wapna poflotacyjnego. *Biuletyn IHAR*. Nr 223/224 s. 415–425.
- Klimont K. 2004. Przydatność wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 497 s. 673–684.
- Klimont K. 2005. Badanie rozwoju roślinności na terenach zdewastowanych. Sprawozdanie roczne z realizacji tematu. Maszyn. Radzików. IHAR ss. 7.
- Klimont K. 2007. Ocena przydatności wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Z. 2 s. 27–36.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2009. Badanie rozwoju wybranych gatunków traw do umacniania składowisk popiołów paleniskowych z elektrociepłowni. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Z. 2 s. 135–145.
- Łącka-Pilaszek B., Siuta J. 1991. Ekologiczne skutki otworowej eksploatacji siarki w Kopalni „Jeziórko”. *Ochrona Środowiska*. Nr 2 s. 7–15.
- Mazur T. 1996. Rozważania o wartości nawozowej osadów ściekowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 437 s. 13–21.
- Owczarzak W., Mocek A., Czekąła J. 1993. Wpływ osadu garbarskiego na niektóre właściwości fizyczne gleb. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 409 s. 119–128.
- Prończuk J. 1994. Popioły, melioracja i ochrona. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*. Nr 5 s. 8–12.
- Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Kazimierczuk M., Jońca M., Mamełka D., Sułek S. 1996. Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Synteza wyników programu KBN. Warszawa. IOŚ ss. 40.
- Siuta J. 1997. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. *Ekoprofit – Miesięcznik gospodarczo-ekologiczny*. Nr 11 s. 40–46.
- Siuta J., Jońca M. 1997. Rekultywacyjne działanie osadu ściekowego na wapnie poflotacyjnym Kopalni Siarki „Jeziórko”. W: *Materiały Konferencyjne pt. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych, Puławy-Lublin-Jeziórko*. IOŚ s. 39–48.
- Siuta J. 2004. Rekultywacja i zagospodarowanie terenu wysypiska odpadów komunalnych w Kawęczynie. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 9 s. 67–76.
- Siuta J., Kutła G. 2005. Rekultywacyjne działanie osadów ściekowych na złożach odpadów paleniskowych energetyki węglowej. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 10 s. 58–69.

## RECLAMATION EFFICIENCY OF THE SEWAGE SLUDGE ON SOIL-LESS SUBSTRATE OF POST-FLOTATION LIME AND INCINERATION ASHES

### Summary

The effect of municipal sewage sludge on initiation and intensity of soil-forming processes on the soil-less substrate of post-flotation lime and on storage yards of incineration ashes and dumps of waste materials covered by ashes, was studied as depended on the species of reclamation plants. It was stated that all doses of sewage sludge, introduced to the substrate of post-flotation lime, resulted in significant growth of organic matter content and increased content of assimilable P, K, Mg forms. In the substrate covered both, with the tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), the soil-forming processes proceeded in similar way. Reclamation of incineration ash yards through the application of municipal sewage sludge and sowing gramineous plants, influenced lowering of substrate pH. Likewise, the increase of organic matter followed, what was conducive to beginning of humus formation in the upper layer of ashes and growing the contents of assimilable P, K, Mg nutrients. Introduction of concentrated sewage sludge into top layer of ashes recovering the dump of municipal waste, improves their physical and chemical properties; its soil-forming action offers the environment friendly conditions to plant vegetation growth and development. Sewage sludge, together with growing plant vegetation, initiated biological life on the life-less, soil-less substrate of post-flotation lime, on the layer of incineration ashes covering municipal waste site; created organic layer generated the sorption complex which enables storage of the nutrients and water.

**Key words:** degraded areas, land reclamation, sewage sludge, incineration ashes, post-flotation lime, soil-forming process

Praca wpłynęła do Redakcji: 08.02.2011 r.

*Recenzenci: prof. dr hab. Franciszek Czyżyk  
prof. dr hab. Krzysztof Wierzbicki*

Adres do korespondencji:

dr Krzysztof Klimont  
ul. Słowackiego 19, 27-600 Sandomierz  
tel. 15 833-23-27; e-mail: k.klimont@op.pl