

KRZYSZTOF KLIMONT ¹
ZOFIA BULIŃSKA-RADOMSKA ¹
AGNIESZKA OSIŃSKA ¹
GRZEGORZ GRYZIAK ¹
JÓZEF GÓRKA ²
PIOTR KRASKA ³

¹ Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych, IHAR — PIB w Radzikowie

² Kopalnia Siarki „Jeziórko” S.A. w Jeziórku

³ Katedra Ekologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Rekultywacyjna efektywność komunalnych osadów ściekowych oraz wybranych gatunków roślin na bezglebowych utworach wapna poflotacyjnego pokrywającego powierzchnię po otworowej eksploatacji siarki

Reclamation efficiency of municipal sewage sludge and selected plant species for soilless post-flotation lime ground covering the surface after the borehole exploitation of sulfur

Badano wpływ stosowania osadów ścieków komunalnych na inicjację i intensywność procesów glebotwórczych na bezglebowym gruncie wapna poflotacyjnego w zależności od gatunków porastających je roślin. Stwierdzono, że osady ściekowe wraz z porastającą roślinnością inicjują życie biologiczne w martwym bezglebowym podłożu, a powstała materia organiczna umożliwia magazynowanie wody i składników pokarmowych. Zastosowanie osadów ściekowych do użyczenia wapna poflotacyjnego wpłynęło na istotny, kilkukrotny wzrost zawartości węgla organicznego (C_{org}) oraz przyswajalnych form fosforu i potasu, a wzrost zawartości magnezu był mniejszy. Oceniając glebotwórcze oddziaływanie roślinności na wapienne bezglebowe podłoże stwierdzono, że próbki pobrane spod kostrzewy trzcinowej zawierają najwięcej węgla organicznego (C_{org}), spod ślazuwca pensylwańskiego przyswajalnych form fosforu, a spod różnych form wierzby (*Salix* sp.) potasu i magnezu. Odnotowano zbyt wysoką zawartość fosforu, potasu i wapnia a niską magnezu w pędach wszystkich badanych roślin, co wiąże się z zawartością tych składników w podłożu i osadach ściekowych. Zawartość wszystkich ocenianych składników w bulwach topinamburu była niższa niż w pędach wszystkich testowanych roślin.

Słowa kluczowe: tereny zdewastowane, rekultywacja, osady ściekowe, proces glebotwórczy, wapno poflotacyjne, rośliny rekultywacyjne

The effect of the use of municipal waste sludge on the initiation and the intensity of soil-forming processes on soilless of post-flotation lime ground depending on the species of plants growing on them was examined. It was found that sludge with vegetation growing on it initiates biological life in the lifeless soilless subsoil and the resulting organic matter allows the storage of water and nutrients. Application of sludge to fertilize flotation lime resulted in significant repeated increase of TOC content and forms of phosphorus and potassium available for plants, and smaller increase of magnesium content. Assessing the soil-forming impact of vegetation on the limy soilless subsoil it was found that samples taken from under tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) contain most of TOC, from under *Sida hermaphrodita* Rusby — more forms of phosphorus available for plants, and from under various forms of willow (*Salix* sp.) — more potassium and magnesium. The contents of phosphorus, potassium and calcium were too high while magnesium content was low in the sprouts of all test plants, which was related the contents of these components in the subsoil and sewage sludge. The contents of all evaluated components in Jerusalem artichoke bulbs were lower than in the sprouts of all test plants.

Key words: devastated land, land reclamation, sewage sludge, soil-forming process, post-flotation lime, reclamation plants

WSTĘP

Zdewastowane grunty wymagają koniecznie rekultywacji przez inicjację w nich procesów glebotwórczych a nade wszystko odtworzenia szaty roślinnej poprzez wprowadzenie wybranych gatunków roślin użytkowych (Levyk, Brzezińska, 2007; Klimont, Bulińska-Radomska, 2011). Do takich zdewastowanych gruntów zalicza się tereny poeksploatacyjne kopalni siarki, gdzie siarkę wydobywano metodą otworową. Po zakończeniu eksploatacji złoża rekultywacja techniczna polega, między innymi, na zneutralizowaniu kwasowości podłoża i wypełnieniu zapadlisk terenu wapnem poflotacyjnym, a następnie użyźnianiu osadem ściekowym celem inicjacji życia biologicznego w martwym podłożu i wprowadzeniu dobranych gatunków roślin (Siuta i in., 1996; Siuta, 2005; Siuta i Żukowski, 2008; Jońca 2000; Warzybok, 2007; Klimont i in., 2002). Prace Siuty i in. (1996) wykazały, że roślinami szczególnie przydatnymi do rekultywacji biologicznej wapna poflotacyjnego są kupkówka pospolita i lucerna siewna. Natomiast badania Klimonta (2004) oraz Klimonta i Bulińskiej-Radomskiej (2011) wykazały, że do tych roślin należą także topinambur (słonecznik bulwiasty), kostrzewa trzinowa i spartina sercowata. Również wybrane gatunki roślin miódodajnych, m.in. gryka zwyczajna, nostryk biały, wiesiołek dwuletni, ślázówka turyngska i sylfia przerośnięta oraz gatunki i mieszańce wierzby (*Salix* sp.), ślázowiec pensylwański, rośliny oleiste, w tym rzepak jary, gorczyca biała, lnianka siewna, słonecznik zwyczajny (oleisty), len zwyczajny (oleisty) okazały się bardzo przydatne do rekultywacji i wraz z osadami ściekowymi wpływały na gromadzenie materii organicznej i składników pokarmowych w podłożu (Klimont i in., 2012, 2013 a, 2013 b).

Celem prowadzonych badań było określenie wpływu stosowania osadów ściekowych na inicjację i intensywność procesów glebotwórczych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego w zależności od porastającej go roślinności.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na terenach poeksploatacyjnych Kopalni Siarki „Jeziórko” pokrytych wapnem poflotacyjnym o łącznej powierzchni ok. 100 ha, z której wydzielono teren pod doświadczenie o powierzchni 0,50 ha. Wiosną 1995 roku bezglebowy grunt ukształtowany z wapna poflotacyjnego na powierzchni doświadczenia nawieziono równomiernie powierzchniowo osadem ścieków komunalnych w dawce $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Zastosowane partie komunalnych osadów ściekowych, przebadane pod względem chemicznym, bakteriologicznym i parazytologicznym według opinii wydanej przez Sanepid były zgodne z obowiązującymi przepisami prawa i mogły być wykorzystane rolniczo. Skład chemiczny i sanitarny osadów ściekowych przedstawiono w tabeli 1 (Klimont i in., 2002). Następnie ciężką broną talerzową wymieszano z podłożem stosując nawożenie mineralne N, P, K w ilości 68, 30 i $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, które w podanych dawkach wnoszono corocznie. Na tak przygotowanym gruncie założono dwa doświadczenia. Na pierwszym wysiano na powierzchni 0,40 ha nasiona kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb.), a na drugim o powierzchni 0,10 ha wysadzono bulwy topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.). Każdego roku ruń kostrzewy trzcinowej wykaszano rozdrabniaczem sadowniczym, z kolei pędy topinamburu pozostawiano nieskoszone na zimę, a wiosną je ścinano, rozdrabniano i mieszano z podłożem. Trzecie doświadczenie z rożnikiem przerośniętym (*Silphium perfoliatum* L.) założono wiosną 1996 w czterech powtórzeniach. Powierzchnia poletek wynosiła 6 m^2 , wysadzono na nich rozsądę rożnika przerośniętego w rozstawie $75 \times 40 \text{ cm}$ przy obsadzie 24 roślin na poletku. W czasie wegetacji w miarę potrzeby rośliny odchwaszczano ręcznie i spulchniano międzyrzędzia. Czwarte doświadczenie z nawłocią kanadyjską (*Solidago canadensis* L.) i piątą z gatunkami i mieszańcami wierzby (*Salix* sp.) założono wiosną 2001 roku. Doświadczenie z nawłocią kanadyjską założono w czterech powtórzeniach, powierzchnia poletek wynosiła 5 m^2 , wysadzono na nich karpy nawłoci w rozstawie $60 \times 40 \text{ cm}$ w obsadzie 20 roślin na poletku, które łatwo ukorzeniły się w podłożu. Również wiosną 2001 roku założono doświadczenie z wierzbą metodą bloków losowych w czterech powtórzeniach. Pojedynczy obiekt (powtórzenie) stanowił rząd nasadzeń wierzby. Z początkiem kwietnia wysadzono ręcznie zrzesy 11 gatunków i mieszańców wierzby (*Salix* sp.) w rozstawie $120 \times 100 \text{ cm}$, liczba roślin w rzędzie wynosiła 16, a długość rzędu 17 m. Wiosną 2005 roku założono szóste doświadczenie ze ślazowcem pensylwańskim (*Sida hermaphrodita* Rusby). Doświadczenie założono w czterech powtórzeniach. Powierzchnia poletek stanowiła $6,0 \text{ m}^2$, obsadzono je rozsądą ślazowca pensylwańskiego w rozstawie $50 \times 40 \text{ cm}$, co gwarantowało obsadę 30 roślin na poletku. Na doświadczeniach z rożnikiem przerośniętym, nawłocią kanadyjską, wierzbami i ślazowcem pensylwańskim stosowano identyczne dawki osadów ściekowych oraz nawozów mineralnych i wykonywano podobne czynności pratotechniczne, takie jak w przypadku doświadczenia z kostrzewą trzcinową i topinamburem. Wariant kontrolny dla wszystkich doświadczeń stanowił obiekt o powierzchni 0,10 ha bez nawożenia, osadów ściekowych i nieporośniętą roślinnością.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań prowadzonych na wymienionych doświadczeniach w latach 2010–2013. Badano wpływ osadów ściekowych i uprawianych roślin na zawartość materii organicznej, składników pokarmowych oraz zmianę odczynu rekultywowanego gruntu. W próbkach podłoża oznaczono: węgiel organiczny ogółem C_{org} (metodą miareczkową — Tiurina), wartość pH (metodą potencjometryczną wg PN-ISO-10390), zawartość P (metodą spektrofotometryczną wg PN-R 04023), zawartość K (metodą spektrometrii płomieniowej wg PN-R 04022) i zawartość Mg (metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej wg PN-R 04020). Z kolei w materiale roślinnym oznaczono: zawartość P (metodą spektrofotometryczną), zawartość K (metodą fotometrii płomieniowej), zawartość Mg (metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrofotometrii atomowej) oraz zawartość Ca (metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej). Replikacje w oznaczeniach chemicznych stanowiły wyniki analiz z średniej próby.

Wyniki opracowano metodą analizy wariancji, a różnice między średnimi oceniano testem Tukeya na poziomie $\alpha = 0,05$.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Analizy osadów ściekowych prezentowane w tabeli 1 wskazują na dużą zawartość składników pokarmowych w suchej masie w postaci azotu, fosforu i wapnia oraz mniejszą magnezu (potasu nie oznaczano). Wprowadzając do podłoża 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, ok. 0,50 t wapnia i 120 kg magnezu, a także prawie 30,0 t węgla organicznego (tab. 2).

Czteroletnie badania wykazały, że po zastosowaniu dawki osadu ściekowego następował intensywny wzrost zawartości węgla organicznego (C_{org}) w podłożu wapna poflotacyjnego na wszystkich obiektach porośniętych testowanymi gatunkami roślin (tab. 3). Osady ściekowe wprowadzone do bezglebowego gruntu wapna poflotacyjnego zainicjowały w nim życie biologiczne i procesy glebotwórcze sprzyjające tworzeniu się zaczątków poziomu próchnicznego w wierzchniej warstwie gruntu. Jest to zgodne z wynikami Martyna i in. (2001, 2001 a), którzy informują, że osady ściekowe wprowadzone do gruntu wapna poflotacyjnego wykazują w nim dużą dynamikę procesów glebotwórczych i aktywność biologiczną. Największy przyrost zawartości węgla organicznego (C_{org}) nastąpił w gruncie pobranym spod kostrzewy trzcinowej (średnio do $37,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) i wierzb (średnio $30,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), co daje odpowiednio 8-krotny i prawie 7-krotny przyrost w stosunku do wariantu kontrolnego ($4,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). W przypadku różnika przerośniętego, ślazuwca pensylwańskiego i nawłoci kanadyjskiej zawartość węgla organicznego (C_{org}) była podobna i wynosiła kolejno 22,7, 23,0 oraz $21,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, tj. 5-krotnie wyższa niż na wariacie kontrolnym. Najniższą zawartość węgla organicznego (C_{org}) odnotowano w podłożu porośniętym topinamburem — średnio $15,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, tj. tylko ponad 3 razy więcej niż na obiekcie kontrolnym. Odnotowano tendencję w kierunku zmniejszania się zawartości węgla organicznego (C_{org}) w kolejnych latach badań w gruncie porośniętym przez topinambur, kostrzewę trzcinową i różnik przerośnięty, co można tłumaczyć długim okresem od czasu wniesienia osadów do okresu badawczego,

oraz wzrastającej zawartości w przypadku ślazuwca pensylwańskiego, nawłoci kana-dyjskiej oraz gatunków i mieszańców wierzby, gdzie okres pomiędzy wniesieniem osadów a początkiem badań był o wiele krótszy.

Tabela 1

Skład chemiczny i sanitarny osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli (Klimont i in., 2002)
Chemical composition and sanitary condition of sewage sludge from Stalowa Wola City treatment plant (Klimont et al., 2002)

Składniki — Components	Zawartość — Content osady ściekowe ¹⁾ — sewage sludge ¹⁾
Sucha masa — Dry matter	29,1
pH	7,1
Zawartość s.m. (%) — Content in dm (%)	
Azot ogólny (N)	3,400
Azot amonowy (NH ₄ ⁺)	0,400
Fosfor ogólny (P ₂ O ₅)	1,690
Wapń (CaO)	0,640
Magnez (MgO)	0,160
Substancja organiczna — Organic matter	72,580
Zawartość s.m. (mg·kg ⁻¹) — Content in dm (mg·kg ⁻¹)	
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
Badania bakteriologiczne i parazytologiczne — Bacteriological and parasitological tests	
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

¹⁾ Według opinii wydanej przez SANEPID w Tarnobrzegu (1995), przebadane partie osadów ściekowych pod względem chemicznym, bakteriologicznym i parazytologicznym są zgodne z obowiązującymi przepisami prawa i mogą być wykorzystywane rolniczo

¹⁾ According to the statement of SANEPID in Tarnobrzeg (1995), the sewage sludge tested for chemical compositions well as bacteriologically and parasitologically were in agreement with the current standards and were allowed to be utilized in agriculture.

Źródło: wyniki własne — Source: own study

Tabela 2

Ilość składników pokarmowych i C_{org} wnoszona wraz z osadem ściekowym do bezglebowego gruntu wapna poflotacyjnego
Amounts of the nutrients and TOC brought in with sewage sludge into soil-less post-flotation lime ground

Dawka osadu ściekowego Dose of sewage sludge (m ³ ·ha ⁻¹)	Ilość składników pokarmowych Amount of nutrients [t]					
	azot ogólny total nitrogen (N)	azot amonowy ammonium nitrogen (NH ₄)	fosfor ogólny total phosphorus (P ₂ O ₅)	wapń calcium (CaO)	magnez magnesium (MgO)	C _{org} (TOC)
250	2,495	0,290	1,229	0,475	0,120	30,626

Zawartość węgla organicznego (C_{org}) w poziomie skały macierzystej była istotnie niższa niż w poziomach organiczno-próchnicznych gruntu porośniętego przez kostrzewę trzcinową, ślazowiec pensylwański i wierzby, natomiast w przypadku topinamburu, roznika przerośniętego i nawłoci istotnych różnic nie odnotowano. Jest to zgodne z doniesieniami literaturowymi (Siuta, 2005), które mówią, że osady ściekowe mogą być źródłem substancji organicznej w użytkowaniu rolniczym i rekultywacji.

Wytworzona masa organiczna stworzyła warunki do gromadzenia składników pokarmowych i wody. Średnia zawartość przyswajalnego fosforu najbardziej zwiększyła się w wierzchniej warstwie gruntu, w porównaniu z wariantem kontrolnym $6,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ na obiektach ze ślazowcem pensylwańskim, gatunkami i mieszancami wierzb, nawłocią kanadyjską i roznikiem przerośniętym odpowiednio do: $147,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $126,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $120,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $114,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, tj. 18–20 krotnie (tab. 3). Mniejsze przyrosty tego składnika odnotowano w przypadku topinamburu i kostrzewy trzcinowej, odpowiednio do $79,9$ i $47,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, był to wzrost kolejny prawie 13 i ponad 7-krotny.

Tabela 3

Wpływ osadów ściekowych na zawartość przyswajalnych P, K, Mg i C_{org} w gruncie wapna poflotacyjnego w zależności od gatunku rośliny rekultywacyjnej (2010–2013)
The effect of sewage sludge on contents of TOC and available forms of P, K and Mg in relations to species of reclamation plant (2010–2013)

Gatunek rośliny Species of plant	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$)	Poziom glebowy Soil level	pH (w 1n KCl)					Zawartość — Content ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)									
								P					K				
			2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}
Wariant kontrolny Control	0	OA	7,60	7,40	7,40	7,30	7,4	6,5	6,4	6,9	5,6	6,3	15,9	20,7	9,9	19,9	16,6
		C	7,50	7,50	7,50	7,40	7,5	6,1	5,4	6,4	4,8	5,7	12,0	15,8	7,5	14,3	12,4
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	250	OA	7,40	7,30	7,40	7,30	7,3	93,7	86,3	77,6	62,3	79,9	47,3	42,3	31,5	36,5	39,4
		C	7,50	7,40	7,50	7,40	7,4	39,2	37,8	47,8	27,3	38,0	31,5	24,1	22,8	18,3	24,2
<i>Festuca arundinacea</i> Scherb.	250	OA	7,10	7,40	7,10	7,20	7,2	57,9	56,6	55,8	20,5	47,7	49,8	122,8	91,3	57,3	80,3
		C	7,30	7,40	7,30	7,30	7,3	36,6	24,4	35,5	13,9	27,6	45,6	42,3	39,2	27,4	38,6
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	250	OA	7,10	7,20	7,10	7,20	7,2	133,4	124,3	128,6	72,8	114,8	56,4	45,7	95,4	42,3	59,9
		C	7,20	7,10	7,40	7,40	7,3	106,8	73,3	49,7	10,0	59,9	33,2	38,8	42,3	13,3	31,9
<i>Sida hermaphroditis</i> Rusby.	250	OA	7,40	7,40	7,30	7,20	7,3	160,5	151,3	140,3	137,2	147,3	79,4	78,2	75,2	74,7	76,9
		C	7,50	7,50	7,50	7,40	7,5	35,5	37,8	32,2	28,4	33,5	34,8	34,4	34,0	32,0	33,8
<i>Solidago canadensis</i> L.	250	OA	7,10	7,20	7,10	7,20	7,2	128,6	124,3	127,7	102,8	120,8	56,4	29,0	95,4	42,3	55,8
		C	7,20	7,10	7,30	7,40	7,3	66,8	57,3	42,7	30,2	49,2	33,2	44,8	42,3	33,3	38,4
<i>Salix</i> sp.	250	OA	7,20	7,20	7,10	7,10	7,2	144,5	143,9	132,9	85,2	126,6	97,4	98,8	96,7	107,1	100,0
		C	7,30	7,30	7,30	7,30	7,3	20,4	13,5	39,7	19,6	23,3	39,3	34,9	34,8	34,3	35,8
NIR α = 0,05			-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	56,3	-	-	-	-	45,2
LSD α = 0,05			-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	56,3	-	-	-	-	45,2

Gatunek rośliny Species of plant	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge (m ³ ·ha ⁻¹)	Poziom glebowy Soil level	pH (w 1n KCl)					Zawartość — Content										
								Mg (mg·kg ⁻¹)					C _{org} (TOC) (g·kg ⁻¹)					
			2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}	
Wariant kontrolny Control	0	OA	7,60	7,40	7,40	7,30	7,4	9,6	6,6	8,4	6,1	7,7	2,9	3,9	5,3	6,1	4,6	
		C	7,50	7,50	7,50	7,40	7,5	9,0	7,2	6,3	5,8	7,1	3,5	3,6	3,1	2,9	3,3	
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	250	OA	7,40	7,30	7,40	7,30	7,3	10,8	10,2	10,2	11,2	10,6	16,1	16,9	14,0	14,2	15,3	
		C	7,50	7,40	7,50	7,40	7,4	10,2	9,0	9,4	7,8	9,1	5,4	7,8	7,4	6,4	6,8	
<i>Festuca arundinacea</i> Scherb.	250	OA	7,10	7,40	7,10	7,20	7,2	28,3	29,5	19,9	14,5	23,1	46,2	33,8	34,8	35,2	37,5	
		C	7,30	7,40	7,30	7,30	7,3	12,7	10,2	13,4	6,6	10,7	11,1	8,2	8,9	6,9	8,8	
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	250	OA	7,10	7,20	7,10	7,20	7,2	18,0	18,0	20,0	11,0	16,8	27,4	20,6	24,5	18,4	22,7	
		C	7,20	7,10	7,40	7,40	7,3	14,0	10,0	17,0	10,0	12,8	17,6	13,6	9,7	5,0	11,5	
<i>Sida hermaphroditis</i> Rusby.	250	OA	7,40	7,40	7,30	7,20	7,3	18,3	18,0	19,5	14,1	17,5	21,3	23,1	23,4	24,1	23,0	
		C	7,50	7,50	7,50	7,40	7,5	8,5	8,2	8,0	7,5	8,1	7,1	7,7	8,4	5,6	7,2	
<i>Solidago canadensis</i> L.	250	OA	7,10	7,20	7,10	7,20	7,2	10,8	9,2	12,6	10,5	10,8	27,4	14,8	24,5	18,1	21,2	
		C	7,20	7,10	7,30	7,40	7,3	8,4	9,6	10,2	9,2	9,4	17,6	14,4	9,8	7,4	12,3	
<i>Salix</i> sp.	250	OA	7,20	7,20	7,10	7,10	7,2	75,4	71,7	51,6	55,7	63,6	27,7	27,2	41,9	24,8	30,4	
		C	7,30	7,30	7,30	7,30	7,3	20,3	25,3	17,8	23,5	21,7	8,4	7,3	9,6	6,2	7,9	
NIR α =0,05																		
LSD α =0,05			-	-	-	-	0,27						13,1					11,9

Po wniesieniu osadów ściekowych do gruntu ukształtowanego z wapna poflotacyjnego przyrost zawartości przyswajalnego potasu był niższy niż w przypadku fosforu. Największą średnią zawartość tego składnika odnotowano na obiekcie pokrytym gatunkami i mieszancami wierzby i wynosiła ona 100,0 mg·kg⁻¹ (wzrost 6-krotny w stosunku do kontroli 16,6 mg·kg⁻¹). Niższą zawartość potasu stwierdzono na obiektach z kostrzewą trzcinową i ślazowcem pensylwańskim — odpowiednio 80,3 i 76,9 mg·kg⁻¹ (wzrost 4,8 i 4,6-krotny), jeszcze niższy na obiektach pokrytych różnikiem przerośniętym i nawłocią kanadyjską — odpowiednio 59,9 i 55,8 mg·kg⁻¹ (wzrost 3,6 i 3,4-krotny), a najniższą na obiekcie z topinamburem — zawartość K w podłożu 39,4 mg·kg⁻¹ (wzrost prawie 2,5-krotny).

Przyrost zawartości przyswajalnego magnezu w gruncie nawiezionym osadem ściekowym był najniższy spośród trzech ocenianych składników pokarmowych. Najwyższą zawartość Mg odnotowano na obiekcie z gatunkami i mieszancami wierzby i wynosiła ona 63,6 mg·kg⁻¹ i była ponad 8-krotnie wyższa niż na obiekcie kontrolnym (7,7 mg·kg⁻¹). W przypadku kostrzewy trzcinowej zawartość tego pierwiastka wzrosła 3-krotnie do wartości 23,1 mg·kg⁻¹. Na obiekcie ze ślazowcem pensylwańskim i różnikiem przerośniętym zawartość potasu wyniosła 17,5 i 16,8 mg·kg⁻¹ (wzrost ponad 2-krotny),

a na obiektach porośniętych topinamburem i nawłocią kanadyjską zawartość 10,6 i 10,8 mg·kg⁻¹ i wzrost prawie 1,5-krotny.

Zawartość przyswajalnego fosforu, potasu i magnezu w poziomie próchnicznym była wyższa niż na poziomie skały macierzystej na obiektach porośniętych wszystkimi gatunkami roślin, ale tylko w przypadku gatunków i mieszańców wierzb były to różnice istotne. Wiąże się to z wyższą zawartością węgla organicznego (C_{org}) w poziomie próchnicznym. Odnotowano także malejącą zawartość fosforu zarówno w poziomie próchnicznym jak i skale macierzystej w kolejnych latach badań w zasadzie na wszystkich obiektach.

Wprowadzenie do wapiennego podłoża osadów ściekowych wraz z porastającą roślinnością wpłynęło na niewielkie ale zauważalne obniżenie jego pH w obydwu poziomach glebowych na wszystkich badanych obiektach. Obserwowano powolne zmniejszanie się zawartości węgla organicznego (C_{org}) w gruncie, na którym rósł topinambur, nawłóć kanadyjska oraz gatunki i mieszańce wierzb, jak również jego zwiększenie w podłożu porośniętym kostrzewą trzcinową i różnikiem przerośniętym w porównaniu do poprzednich badań (Klimont i in., 2013 a; Klimont, Bulińska-Radomska, 2013 b). Odnotowano również zmniejszenie zawartości przyswajalnego fosforu, potasu i magnezu w gruncie ukształtowanym z wapna poflotacyjnego pobranym spod wszystkich gatunków roślin, z wyjątkiem niewielkiego wzrostu poziomu magnezu w obiekcie pokrytym wierzbami, w porównaniu do innych badań (Klimont, 2004, 2011; Klimont i in., 2013 a; Klimont i in., 2013 b; Klimont, Bulińska-Radomska, 2013). Obserwowano w zasadzie zbyt wysoką zawartość wapnia, potasu i fosforu w pędach pobranych ze wszystkich badanych roślin w porównaniu do normatywnych zawartości tych składników w runi (Wiśniewska-Kielian, Lipiński, 2007), ale należy tłumaczyć to tym, iż doświadczenie założono na gruncie wapiennym nawiezionym osadem ściekowym zasobnym w fosfor i potas. Natomiast zawartość magnezu we wszystkich analizowanych próbkach pobranych z obiektów była niska, ale wynika to być może z niskiej zawartości tego pierwiastka w gruncie wapiennym (Gołda, 2007), natomiast według Siuty (2004) osady ściekowe zawierają wystarczająco dużo magnezu do uzupełnienia jego niedoborów w glebach i dostarczenia go roślinom. Zawartość P oznaczonego w roślinach wahała się od 2,70 do 6,38, K od 19,28 do 40,48, Mg od 0,88 do 2,90 i Ca od 4,60 do 26,108 g·kg⁻¹ i była podobna do zawartości tych składników w roślinności porastającej składowiska odpadów komunalnych i przemysłowych (Dyguś i in., 2012). Wyniki badań Kalembasy i in. (2007) wskazują, że osady ściekowe mogą być potencjalnym źródłem makroelementów dla roślin i wpływać pozytywnie na wysokość plonu oraz zawartość w nim tych składników. O wysokiej efektywności osadowej rekultywacji gruntów bezglebowych i gleb ubogich w próchnicę donosi Siuta (2007) podkreślając dużą zawartość w osadach próchnicotwórczej substancji organicznej i zawartość składników pokarmowych dla roślin. Zawartość wszystkich oznaczanych składników P, K, Mg i Ca w bulwach topinamburu była najniższa i w przypadku Ca istotnie różniła się od jego zawartości w pędach, co pokazują badania Górala (1999). Natomiast Piskier (2009) donosi o pozytywnym oddziaływaniu kompostu z osadu ściekowego na biomasę topinamburu z przeznaczeniem na opał.

Tabela 4

Zawartość fosforu, potasu, magnezu i wapnia w roślinach rosnących na gruncie wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ściekowym w dawce 250t·ha⁻¹ (2010–2013)

The content of phosphorus, potassium, magnesium and calcium in plants grown on post flotation lime subsoil enriched with sludge at dose of 250t·ha⁻¹ (2010–2013)

Gatunek rośliny (badany materiał roślinny) Species of plant (plant material)	Zawartość — Content									
	P (g·kg ⁻¹)					K (g·kg ⁻¹)				
	2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (pędy; shots)	3,4	3,7	5,5	4,2	4,20	47,1	20,7	52,5	41,6	40,48
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (bulwy; tubers)	2,8	3,0	3,2	1,8	2,70	25,5	19,6	20,7	11,3	19,28
<i>Festuca arundinacea</i> Scherb. (pędy; shots)	6,3	3,6	4,0	2,3	4,05	19,1	17,1	34,5	16,3	21,75
<i>Silphium perfoliatum</i> L. (pędy; shots)	3,2	4,4	3,8	3,5	3,76	36,6	27,7	36,1	25,0	31,35
<i>Sida hermaphroditis</i> Rusby. (pędy; shots)	7,3	6,6	5,5	6,1	6,38	45,8	42,0	41,6	30,9	40,08
<i>Solidago canadensis</i> L. (pędy; shots)	3,6	5,0	5,0	4,6	4,55	32,4	51,7	35,0	32,5	37,90
<i>Salix</i> sp. (pędy; shots)	4,4	5,0	2,7	4,1	4,05	36,6	37,6	20,6	20,8	28,90
NIR α = 0,05	-	-	-	-	3,09	-	-	-	-	29,05
LSD α = 0,05										

	Zawartość — Content									
	Mg (g·kg ⁻¹)					Ca (g·kg ⁻¹)				
	2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (pędy; shots)	2,4	1,3	2,3	2,5	2,13	24,8	20,7	22,7	36,2	26,10
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (bulwy; tubers)	1,1	0,8	0,7	0,9	0,88	5,4	6,7	4,5	7,7	6,08
<i>Festuca arundinacea</i> Scherb. (pędy; shots)	1,4	1,5	1,4	1,3	1,40	4,1	4,4	4,9	5,0	4,60
<i>Silphium perfoliatum</i> L. (pędy; shots)	2,1	2,2	2,6	1,4	2,08	15,1	23,1	17,3	28,4	21,98
<i>Sida hermaphroditis</i> Rusby. (pędy; shots)	3,2	2,2	3,0	3,2	2,90	15,5	18,9	11,5	27,5	18,35
<i>Solidago canadensis</i> L. (pędy; shots)	1,7	2,4	3,1	1,5	2,18	16,8	12,0	17,1	17,0	15,73
<i>Salix</i> sp. (pędy; shots)	2,1	2,2	1,8	2,3	2,10	27,2	26,3	21,7	19,2	23,60
NIR α = 0,05	-	-	-	-	1,46	-	-	-	-	15,28
LSD α = 0,05										

Spośród badanych gatunków najwięcej fosforu, potasu i magnezu gromadziły pędy ślazuca pensylwańskiego, co potwierdzają opracowania Borkowskiej i Styka (2006), a najwięcej wapnia zawierały części nadziemne topinamburu, podobnie jak w pracy Górala (1999).

WNIOSKI

1. Osady ściekowe wraz z porastającymi gatunkami roślin inicjują życie biologiczne w martwym gruncie ukształtowanym z wapna poflotacyjnego, a powstała materia organiczna umożliwia magazynowanie składników pokarmowych i wody.
2. Zastosowanie osadów ściekowych do użyczenia gruntu ukształtowanego z wapna poflotacyjnego wpływało na intensywny kilkukrotny wzrost zawartości węgla organicznego (C_{org}) oraz przyswajalnych form fosforu i potasu, a przyrost magnezu był mniejszy.
3. Spośród badanych gatunków roślin największą zawartość węgla organicznego (C_{org}) stwierdzono w gruncie pobranym spod kostrzewy trzcinowej i różnych form wierzby (*Salix* sp.). Oceniając glebotwórcze oddziaływanie roślinności na wapienny bezglebowy grunt wraz z osadami ściekowymi stwierdzono, że próbki pobrane spod kostrzewy trzcinowej zawierały najwięcej węgla organicznego, spod ślazuwca pensylwańskiego przyswajalnych form fosforu, a spod różnych form wierzby przyswajalnego potasu i magnezu.
4. Odnotowano zbyt wysoką zawartość wapnia, potasu i fosforu oraz niską magnezu w pędach wszystkich badanych roślin, co wiąże się z zawartością tych składników w gruncie i osadach ściekowych.

LITERATURA

- Borkowska H., Styk B. 2006. Ślazuwec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Uprawa i wykorzystanie. Wyd. AR Lublin: 69 ss.
- Dyguś R. H., Siuta J., Wasiak G., Madej M. 2012. Roślinność składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Warszawa: 134 ss.
- Gołda T. 2007. Wykorzystanie szlamów poflotacyjnych rudy siarkowej do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych w górnictwie otworowym siarki. Inżynieria Ekologiczna 19. PTIE Warszawa: 79 — 88.
- Góral S. 1999. Słonecznik bulwiasty — topinambur, uprawa i użytkowanie. IHAR Radzików. Dział Promocji Postępu Biologicznego: 22 ss.
- Jońca M. 2000. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji gruntów. Inżynieria Ekologiczna 3. PTIE Bydgoszcz: 161 — 178.
- Kalembasa S., Kuziemska B., Godlewska A. 2007. Osady ściekowe jako potencjalne źródło makroelementów. Inżynieria Ekologiczna 18. PTIE Warszawa: 132 — 133.
- Klimont K. 2004. Przydatność wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 497: 673 — 684.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2011. Wpływ wybranych gatunków roślin na procesy glebotwórcze i ich przydatność do rekultywacji bezglebowych utworów wapna poflotacyjnego na powierzchni po otworowej eksploatacji siarki. Roczniki Gleboznawcze. Tom LXII (2) Warszawa: 204 — 211.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2013. Możliwość wykorzystania ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby.) do rekultywacji terenów po otworowej eksploatacji siarki. Problemy Inżynierii Rolniczej 1: 125 — 132.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J. 2013 a. Możliwość wykorzystania wybranych roślin miododajnych do rekultywacji terenów po eksploatacji siarki. Polish Journal of Agronomy 12. Puławy: 17 — 25.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J. 2013 b. Ocena przydatności różnych form wierzby (*Salix* sp.) do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych kopalni siarki. Biul. IHAR 269: 161 — 168.

- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Woś H. 2012. Możliwość wykorzystania jarych roślin oleistych w procesie rekultywacji terenów kopalnianych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2: 63 — 73.
- Klimont K., Góral S., Jońca M. 2002. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na podłożu wapna poflotacyjnego. *Biul. IHAR* 223/224: 415 — 425.
- Levyk V., Brzezińska M. 2007. Stan środowiska glebowego na terenie byłej Kopalni Siarki „Jaworów” (Ukraina) i Machów (Polska) w świetle aktualnych badań. *Acta Agrophysica* 10 (4): 149 — 157.
- Martyn W., Buczek Z., Jońca M., Sowińska J. 2001. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji terenów pogórnich w Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Inżynieria Ekologiczna* 3. PTIE Bydgoszcz: 99 — 105.
- Martyn W., Gardiasz Z., Skwaryło-Bednarz B. 2001 a. Aktywność biologiczna gleb rekultywowanych osadem ściekowym z terenu Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 475: 335 — 340.
- Piskier T. 2009. Wykorzystanie kompostu z osadu ściekowego w uprawie topinamburu. *Inżynieria Rolnicza* 9 (118): 189 — 194.
- Siuta J. 2004. Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna* 9. PTIE Warszawa: 7 — 42.
- Siuta J. 2005. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowisku odpadów przemysłowych. *Acta Agrophysica* 5 (2): 417 — 425.
- Siuta J. 2007. System uprawy i kompostowania roślin na składowisku odpadów posodowych w Janikowie z zastosowaniem osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna* 19. PTIE Warszawa: 38 — 38.
- Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Kazimierzuk M., Jońca M., Mamełka D., Sułek S. 1996. Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Synteza wyników programu KBN. Warszawa. Instytut Ochrony Środowiska: 40 ss.
- Siuta J., Żukowski B. 2008. Degradacja i rekultywacja powierzchni ziemi w Polsce. Warszawa, Dział Wydawnictw IOŚ: 238 ss.
- Warzybok W. 2000. Rekultywacja terenów górniczych Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Inżynieria Ekologiczna* 1. PTIE Baranów Sandomierski: 23 — 26.
- Wiśniewska-Kielian B., Lipiński W. 2007. Ocena składu chemicznego roślin. Oddz. Krakowski PTIE, Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza, Kraków-Warszawa-Wrocław: ss. 57.

