

Wpłynęło 28.02.2014 r.
Zrecenzowano 09.04.2014 r.
Zaakceptowano 15.05.2014 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Ocena rozwoju roślinności na składowisku popiołów paleniskowych użyźnionych osadem ściekowym

Piotr BAJOR^{BEF}, Zofia BULIŃSKA-RADOMSKA^{ACDF},
Krzysztof KLIMONT^{ABCDEF}, Agnieszka OSIŃSKA^{BEF}

Institut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – PIB w Radzikowie, Krajowe
Centrum Roślinnych Zasobów Genowych

Streszczenie

W latach 2009–2012 badano gatunki traw i roślin motylkowatych przydatne do rekultywacji biologicznej składowiska popiołów paleniskowych użyźnionych osadem ścieków komunalnych, a także ich glebotwórcze działanie. Rekultywacja składowiska popiołów w wyniku powierzchniowego wprowadzenia osadów ścieków komunalnych stworzyła warunki do intensywnej wegetacji roślin oraz inicjacji procesu glebotwórczego. Na zrekultywowanym gruncie najlepiej rozwijały się kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.) i kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), a z motylkowatych – lucerna siewna (*Medicago sativa* L.), następnie wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.) i życica trwała (*Lolium perenne* L.). Tymotka łąkowa (*Phleum pratense* L.) rozwijała się najslabiej, a życica wielokwiatowa (*Lolium multiflorum* L.) całkowicie wypadła z runi. Stokłosa bezostna (*Bromus inermis* Leyss.) i kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea* Schreb.), wysiane w czystym siewie, rozwijały się bujnie i okazały się najbardziej przydatnymi gatunkami do rekultywacji tego typu podłoża. Osady ściekowe wprowadzone do popiołów i porastająca je roślinność zainicjowały życie biologiczne w martwym podłożu, gromadząc materię organiczną, składniki pokarmowe i wodę. Użyźnienie powierzchni składowiska popiołów paleniskowych za pomocą osadów ścieków komunalnych wpłynęło różnicująco na zawartość metali ciężkich w zrekultywowanym gruncie i porastających go roślinach. Na wierzchołku składowiska popiołów rozwijała się pionierska roślinność zielna i drzewiasta sukcesji spontanicznej.

Słowa kluczowe: składowiska popiołów, osady ściekowe, proces glebotwórczy, rekultywacja, rośliny rekultywacyjne



Wstęp

Bardzo skutecznym sposobem stabilizacji powierzchni składowiska popiołów paleniskowych jest rekultywacja biologiczna, w wyniku utworzenia pokrywy roślinnej, składającej się z właściwie wybranych gatunków roślin, zdolnych do rozwoju na bezglebowych podłożach [GÓRAL, ROLA 2001]. Odpady paleniskowe zawierają dostateczną ilość makro- i mikroelementów, a deficytowym składnikiem jest azot i materia organiczna [PRONCZUK 1994; SIUTA, KUTLA 2005]. Osady ściekowe zawierają materię organiczną i mineralne związki azotu i fosforu, dlatego wprowadzenie ich do popiołów i wymieszanie z podłożem stwarza warunki do rozwoju gleby i wegetacji roślin [GILEWSKA, PRZYBYŁA 2001; KLIMONT, BULIŃSKA-RADOMSKA 2009; 2010; SIUTA, KUTLA 2005]. Metoda osadowa przygotowania składowisk popiołów paleniskowych do zazielenienia pozwala na utylizowanie odpadów paleniskowych i odtwarzanie szaty roślinnej na zdewastowanych stanowiskach.

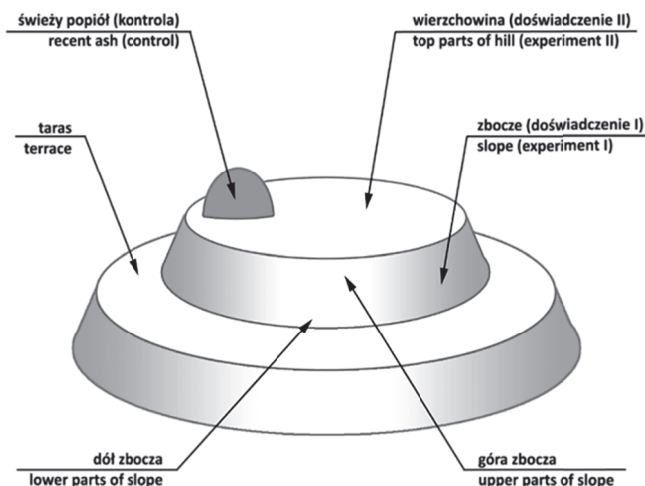
Celem badań było określenie gatunków roślin przydatnych do rekultywacji biologicznej składowiska popiołów paleniskowych wzbogaconych osadem ściekowym oraz ocena ich glebotwórczego oddziaływania.

Materiał i metody badań

Doświadczenia prowadzono na składowisku popiołów paleniskowych Elektrociepłowni Białystok S.A. w Sowlanach. Skład ziarnowy kwalifikuje popiół jako drobnoziarnisty (ziarna 1–100 μm), o gęstości właściwej 2,19 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ i gęstości nasypowej 1,10 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Powierzchnia składowiska, na której prowadzono badania wynosiła ok. 9 ha i obejmowała dwa doświadczenia: pierwsze – założone na zboczu składowiska i drugie – na jego wierzcholinie. Składowisko ukształtowano w formie ściętej piramidy o nachyleniu zboczy 1:4. Na zboczach wykonano tarasy szerokości 3,5–4,5 m. Aby zmniejszyć ich podatność na erozję wodną, obsadzono je roślinnością drzewiastą (rys. 1).

Po ukształtowaniu składowiska, na jego zboczu wykonano poprzeczną orkę pługiem łąkowym na głębokość ok. 25 cm. Pole doświadczalne, a na nim doświadczenie I, założono na zboczu składowiska późną wiosną 1999 r. Jego powierzchnia wynosiła 4,75 ha.

Teren badań nawieziono przefermentowanym i zagęszczonym do 29,2% s.m. osadem ściekowym w dawce 300 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$, który rozprowadzono spychaczem i wymieszano z podłożem ciężką broną talerzową na głębokość ok. 10–12 cm. Następnie powierzchniowo, rozrzutnikiem do obornika, rozrzuciono dodatkowo ok. 50 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ osadu. Osad ściekowy zawierał 3,82% N, 1,72% P_2O_5 , 0,68% CaO, 0,25% MgO oraz 73,72% substancji organicznej. Nawiezioną powierzchnię popiołu wyrównano broną i wałowano, a następnie wniesiono nawozy mineralne – 120 kg NPK $\cdot\text{ha}^{-1}$. Na tak przygotowane podłoże, na powierzchni 4,50 ha, wysiano mieszankę traw łąkowych z domieszką koniczyny łąkowej i lucerny siewnej, wykorzystując gorczycę białą jako roślinę ochronną, były to: tymotka łąkowa (*Phleum pratense* L.), kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.), życica trwała (*Lolium perenne* L.), życica wielokwiatowa (*Lolium multiflorum* L.), kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.), koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense* L.), lucerna



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 1. Schemat składowiska popiołów w Sowlanach
Fig. 1. Scheme of the incineration ash disposal area in Sowlany

siewna (*Medicago sativa* L.). W czystym siewie wysiano kostrzewę trzcinową (*Festuca arundinacea* Schreb.) – na powierzchni 0,2 ha i stokłosę bezostną (*Bromus inermis* Leyss.) – na powierzchni 0,05 ha w ilości odpowiednio 50 i 30 kg·ha⁻¹. Po siewie nasion zastosowano bronę lekką oraz wałowanie. Po 5 tygodniach od siewu ruń przykaszono i nawieziono pogłównie azotem w dawce 40 kg N·ha⁻¹. Ruń przykaszano corocznie w okresie pełnej dojrzałości ziarniaków traw (aby ułatwić ich samosiewy).

W pracy przedstawiono wyniki uzyskane na tym doświadczeniu w latach 2009–2012. Oceniano stan porostu, jego bujność, skład botaniczny, wzrost i rozwój gatunków wchodzących w skład mieszanki traw z motylkowatymi i traw w czystym siewie, pod względem ich przydatności do rekultywacji składowisk popiołów. Oceniano dynamikę zmian składu botanicznego w kolejnych latach badań. Badano również wpływ osadów ściekowych wprowadzonych do bezglebowego podłoża popiołów paleniskowych i porastającej to podłoża roślinności na gromadzenie w nim składników pokarmowych i zmianę jego odczynu.

Doświadczenie II, o powierzchni 4,25 ha, obejmowało wierzchowinę składowiska popiołów, gdzie nie stosowano osadów ściekowych, nawozów mineralnych i żadnych zabiegów agrotechnicznych (rys. 1). Obserwowano naturalną sukcesję roślin i zmiany składu botanicznego, a także określono zawartość makroelementów i metali ciężkich w podłożu i porastającej je roślinności oraz wartość pH podłoża.

Próbki podłoża z warstwy próchnicznej i podpróchnicznej pobrano z górnej i dolnej części zbocza oraz z wierzchowiny, a następnie poddano je analizie chemicznej w akredytowanym laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Kielcach (Dział Laboratoryjny akredytowany przez Polskie Centrum Akredytacji – Certyfikat Nr 333). Próbki kontrolne pobierano z popiołu dostarczanego z elektrociepłowni,

składowanego na wydzielonej, czynnej części wierzchołki składowiska. Były one wspólne dla obydwu doświadczeń. W próbkach podłoża oznaczono: zawartość materii organicznej – metodą Tiurina oraz wartość pH – metodą potencjometryczną, zawartość P – metodą spektrofotometryczną, zawartość K – metodą fotometrii płomieniowej, a Mg – metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej. W materiale roślinnym oznaczono: zawartość P – metodą spektrofotometryczną, zawartość K – metodą fotometrii płomieniowej oraz zawartość Mg i Ca – metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej. Zawartość metali ciężkich – Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, As – zarówno w podłożu, jak i materiale roślinnym określono metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (FAAS), natomiast Hg – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z amalgamacją par rtęci.

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

Wyniki i dyskusja

Warunki pogodowe w czasie prowadzenia badań były zróżnicowane i wpływały na przebieg wegetacji oraz cechy roślin porastających tereny składowiska popiołów paleniskowych (tab. 1, 2). Pierwszy rok badań (2009) charakteryzował się ciepłym ale suchym początkiem wiosny oraz obfitymi opadami w pełni wiosny i lata, w warunkach dość wysokiej temperatury powietrza w tym okresie. Drugi rok badań (2010) charakteryzował się wysokimi opadami wiosną oraz ciepłym i deszczowym latem – były to warunki najkorzystniejsze do rozwoju roślin. W trzecim (2011) i czwartym (2012) roku badań warunki wegetacji roślin także były korzystne, ze względu na dostateczną ilość opadów w okresie wiosny i lata i sprzyjającą temperaturę powietrza.

Tabela 1. Suma opadów miesięcznych ΣP oraz średnia miesięczna temperatura powietrza T w latach 2009–2012

Table 1. Monthly rainfall mm (ΣP) and mean air temperature (T) in years 2009–2012

Miesiąc Month	Lata Years									
	1969–2010	1969–2005	2009		2010		2011		2012	
	ΣP	T	ΣP	T	ΣP	T	ΣP	T	ΣP	T
Styczeń January	29,1	-4,5	26,3	-4,5	25,0	-10,5	27,0	-2,1	45,7	-2,5
Luty February	30,0	-3,8	30,3	-2,4	29,0	-3,5	25,7	-6,2	23,3	-8,7
Marzec March	34,3	0,4	59,3	1,1	28,6	1,9	14,3	0,8	16,3	2,8
Kwiecień April	34,3	6,5	6,0	9,3	33,0	8,0	40,7	9,2	42,2	8,1
Maj May	56,2	12,6	65,0	12,6	132,7	13,6	60,3	13,2	54,6	13,9
Czerwiec June	70,5	15,7	158,0	15,6	77,0	17,1	55,3	17,8	108,3	15,7
Lipiec July	84,4	17,1	86,7	19,1	110,7	21,3	231,3	18,5	101,0	19,7
Sierpień August	70,9	16,3	75,7	16,9	118,0	19,4	67,0	17,6	87,3	17,2
Wrzesień September	53,8	12,0	18,7	13,7	105,7	11,5	18,7	13,7	32,2	13,2
Październik October	49,0	7,0	72,7	5,7	17,0	4,4	18,6	6,6	25,5	6,1
Listopad November	42,9	1,8	46,0	4,2	70,3	4,5	12,0	2,2	17,3	3,3
Grudzień December	43,8	-2,3	43,7	-2,6	40,3	-6,4	28,7	1,8	28,8	1,0
Suma/średnia Sum/mean	599,2	6,6	688,4	7,4	787,3	6,8	599,6	7,8	582,5	7,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IUNG–PIB [2009–2012].

Source: own elaboration based on Institute of Soil Science and Plant Cultivation – National Research Institute [IUNG–PIB 2009–2012].

Tabela 2. Skład botaniczny oraz ocena rozwoju roślin zastosowanych do rekultywacji składowiska popiołów paleniskowych użyźnionych osadem ściekowym (2009–2012)

Table 2. Botanical composition and evaluation of plants applied for the reclamation of ash dump enriched with sewage sludge (2009–2012)

Gatunek rośliny Plant species	Udział w poroście Share in growth [%]					Bujność roślin Plant luxuriance (0–9°)				
	2009	2010	2011	2012	średnio mean	2009	2010	2011	2012	średnio mean
Mieszanka Mix										
<i>Dactylis glomerata</i> L.	21	32	41	50	36,0	8	9	9	8	8,5
<i>Phleum pratense</i> L.	1	1	1	1	1,0	2	2	2	2	2,0
<i>Lolium perenne</i> L.	2	3	4	5	3,5	3	3	4	4	3,5
<i>Lolium multiflorum</i> L.	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0,0
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	9	15	15	15	13,5	7	9	9	8	8,2
<i>Poa pratensis</i> L.	4	4	5	5	4,5	3	4	4	4	3,7
<i>Trifolium pratense</i> L.	2	3	3	2	2,5	3	4	4	3	3,5
<i>Medicago sativa</i> L.	7	9	12	12	10,0	7	8	8	7	7,5
Monokultura Monoculture										
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	85	88	88	90	87,8	8	9	8	9	8,5
<i>Bromus inermis</i> Leyss.	95	95	95	95	95,0	8	9	9	9	8,7

Objaśnienia: 0° – brak roślin, 9° – rośliny bujne (gęsto, równomiernie i obficie porastające podłoże).

Explanations: 0° – no survival, 9° – luxuriant plants (densely, uniformly and in abundance growing on the substrate).

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Wśród badanych gatunków traw i roślin motylkowatych największy udział w poroście (średnio 36,0%) miała kupkówka pospolita. Zwiększał się on w kolejnych latach badań. Średnia w latach badań bujność kupkówki pospolitej wynosiła 8,5 w 10-stopniowej skali (tab. 2). Kostrzewa łąkowa również dobrze rozwijała się na tym podłożu – jej udział w poroście wynosił średnio 13,5%, a bujność – 8,2. Również nieźle rosły wiechlina łąkowa i życica trwała – ich średni udział w runi wynosił odpowiednio 4,5 i 3,5%, a bujność – 3,7 i 3,5. Wartości obydwu wskaźników z każdym rokiem się zwiększały. Najgorzej rozwijała się tymotka łąkowa. Jej udział w runi i bujność wynosiły tylko 1,0% i 2,0. Życica wielokwiatowa całkowicie wypadła z runi.

Lucerna siewna okazała się zdecydowanie bardziej przydatna do rekultywacji popiołów niż koniczyna łąkowa – jej udział w poroście z każdym rokiem systematycznie się zwiększał i wynosił średnio 10,0%, a bujność roślin – 7,5, podczas gdy udział koniczyny utrzymywał się w zasadzie na tym samym poziomie i wynosił średnio 2,5, a bujność – 3,5. Lucerna siewna preferuje gleby alkaliczne. Ma bardzo silny i głęboki system korzeniowy i bardzo dobrze rozwija się na gruncie popiołów paleniskowych. Koniczyna łąkowa ma natomiast duże wymagania glebowe i dlatego na popiele rozwijała się słabo [GÓRAL, ROLA 2001; PROŃCZUK 1994].

Kostrzewa trzcinowa, wysiana w czystym siewie, w końcu okresu badań nadal tworzyła prawie monokulturę w postaci zwartego, jednolitego ładu roślin o średniej bujności 8,5, a jej udział w poroście wynosił średnio 87,8% i wykazywał tendencję wzrastającą w kolejnych latach. Kostrzewa trzcinowa, ze względu na bardzo silny

system korzeniowy, duże możliwości dostosowania się do warunków środowiska oraz małe wymagania pokarmowe, z powodzeniem może być zastosowana do rekultywacji gruntów bezglebowych [GÓRAL, SYBILSKA 2000; GÓRAL 2001]. Również monokultura stokłosa bezostnej rozwijała się bardzo dobrze, jej udział w poroście przez cały okres badań wynosił 95%, a bujność – średnio 8,7. Jako gatunek o małych wymaganiach glebowych i wodnych bardzo dobrze odgrywa rolę rośliny do rekultywacji różnego typu wysypisk i składowisk.

Wyniki czteroletnich badań wykazały, że w runi mieszanki traw z motylkowatymi dominuje kupkówka pospolita, a następnie – kostrzewa łąkowa. Ich udział był większy niż w poprzednich badaniach, w latach 2006–2008 [KLIMONT, BULIŃSKA-RADOMSKA 2009] i z każdym rokiem systematycznie wzrastał. Wyraźnie wzrastał także udział wiechlina łąkowej i życicy trwałej, a tymotki łąkowej nie ulegał zmianie. Kupkówka jest polecana przez GÓRALA [2001] do rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych nawiezionych osadem ściekowym ze względu na silny system korzeniowy i korzystną reakcję na dużą zawartość azotu w podłożu. Również badania MAJTKOWSKIEGO i MAJTKOWSKIEJ [2012] wykazały dużą przydatność tego gatunku na cele rekultywacji. Tymotka łąkowa, ze względu na słabe zdolności konkurencyjne i duże wymagania glebowe, ograniczyła wyraźnie swój udział w runi.

Na wierzchowinie składowiska popiołów, tam gdzie nie stosowano osadów i nawozów mineralnych, w drodze sukcesji naturalnej pojawiły się liczne gatunki pionierskie, np.: nostryk biały i żółty, koniczyna biała i czerwona, mniszek lekarski, bylica pospolita i bylica piotun, podbiał pospolity, a z traw – kupkówka pospolita, kostrzewa czerwona oraz wiechlina roczna. Wkroczyły tu również pierwsze gatunki drzew, głównie wierzba wiciowa i purpurowa, brzoza omszona, topola czarna, biała i osika oraz sosna zwyczajna. Na świeżym surowym popiele zaczynały się pojedynczo rozwijać: lucerna siewna, przymiotno kanadyjskie, bylica pospolita, pieprzyca gruzowa i wiechlina roczna.

Stwierdzono niewielkie zwiększenie zawartości materii organicznej w próbkach podłoża pobranych ze zbocza i wierzchowiny składowiska w porównaniu z zawartością w wariancie kontrolnym (tab. 3). W górnej części zbocza zwiększenie zawartości materii organicznej, zarówno w poziomie próchnicznym, jak i w warstwie podpróchnicznej, było niewielkie i wynosiło tylko 3,6%. W dolnej części zbocza wzrost ten był większy w poziomie próchnicznym (21,7%) oraz minimalny w warstwie podpróchnicznej – tylko 1,0%. Według GRZYWNOWICZA i STRUTYŃSKIEGO [1999] oraz KLIMONTA [2011], w glebie użyźnionej osadem ściekowym następuje zwiększenie zawartości biologicznie czynnej próchnicy i pojemności kompleksu sorpcyjnego, ułatwiającego gromadzenie składników pokarmowych i wody.

Zawartość przyswajalnego P zwiększyła się w próbkach pobranych ze zbocza składowiska, szczególnie z jego dolnej części, zawartość K – zmalała na zboczu i minimalnie wzrosła na wierzchowinie, a Mg – wzrosła we wszystkich próbkach poziomu próchnicznego zbocza i wierzchowiny.

Tabela 3. Zawartość składników pokarmowych i materii organicznej w podłożu popiołów paleniskowych wzbogaconych osadami ścieków komunalnych oraz w materiale roślinnym (2009–2012)
 Table 3. Content of nutrients and organic matter in furnace ashes enriched with municipal sewage sludge and plant material (2009–2012)

Rodzaj roślinności Vegetation type	Dawka osadów ściekowych [t·ha ⁻¹] Dose of sewage sludge	Głębokość pobierania [cm] Depth [cm]	Cechy Traits																							
			Podłoże Substrate																							
			pH [w 1n KCl]			P [mg·kg ⁻¹]			K [mg·kg ⁻¹]			Mg [mg·kg ⁻¹]			materia organiczna organic matter [g·kg ⁻¹]											
2009	2010	2011	2012	\bar{x}	2009	2010	2011	2012	\bar{x}	2009	2010	2011	2012	\bar{x}	2009	2010	2011	2012	\bar{x}							
Kontrola	0	popiół ash	8,7	8,7	8,5	8,5	8,6	160	159	235	137	173	105	146	186	102	102	152	175	133	101,2	110,5	77,5	122,7	103,0	
A	0	0–10 10–20	7,3 7,4	8,4 8,4	8,6 8,0	8,2 8,1	151 165	142 161	190 150	136 135	155 153	146 181	232 207	43 69	139 162	175 285	154 294	144 199	91 197	141 244	167,2 185,6	149,5 178,6	72,8 81,7	32,7 143,8	105,6 147,4	
B	350	0–10 10–20	7,3 7,6	7,9 7,9	7,5 7,5	7,7 7,8	203 214	113 187	244 248	141 139	175 197	157 95	136 121	66 64	54 37	103 79	153 121	143 125	180 171	104 66	145 121	107,5 97,8	107,3 109,1	104,6 106,9	107,4 105,6	
C	350	0–10 10–20	7,5 7,8	7,5 7,4	7,8 8,0	7,6 7,7	262 257	209 207	194 183	190 179	214 207	168 129	77 76	85 78	76 37	102 80	192 190	122 94	88 99	204 109	152 123	117,7 101,2	125,5 105,3	122,2 99,8	136,3 110,0	125,4 104,1
NIR $\alpha = 0,05$ LSD $\alpha = 0,05$			r.n. n.s.	r.n. n.s.	r.n. n.s.	r.n. n.s.	30,22	30,22	30,22	30,22	30,22	11,14	11,14	11,14	11,14	15,23	15,23	15,23	15,23	15,23	12,62	12,62	12,62	12,62	12,62	
Material roślinny Plant material																										
			Ca [g·kg ⁻¹]			P [g·kg ⁻¹]			K [g·kg ⁻¹]			Mg [g·kg ⁻¹]			materia organiczna [g·kg ⁻¹]											
2009	2010	2011	2012	\bar{x}	2009	2010	2011	2012	\bar{x}	2009	2010	2011	2012	\bar{x}	2009	2010	2011	2012	\bar{x}	2009	2010	2011	2012	\bar{x}		
2,52	3,01	1,41	2,21	2,29	2,44	2,02	2,00	2,14	2,15	15,07	16,98	35,00	20,65	20,65	1,51	1,86	4,20	3,01	2,64	–	–	–	–	–		
2,22	2,34	1,26	2,86	2,17	2,98	2,96	2,80	2,39	2,78	14,02	13,28	14,20	28,54	17,51	1,64	1,29	3,80	1,32	2,00	–	–	–	–	–		
2,64	2,56	1,99	3,20	2,60	3,88	3,26	3,45	2,40	3,25	12,26	12,93	15,32	35,04	18,89	2,24	1,96	4,24	2,44	2,72	–	–	–	–	–		

Objaśnienia: A – roślinność sukcesji naturalnej (wierzchowina), B – kostrzewa trzcinowa (górze z boczna), C – kostrzewa trzcinowa (dół z boczna), r.n. – różnica nieistotna.

Explanations: A – vegetation of natural succession (top parts of hill), B – *Festuca arundinacea* Schreb. (upper parts of slope), C – *Festuca arundinacea* Schreb. (lower parts of slope), n.s. – not significant difference.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 4. Zawartość metali ciężkich w podłożu popiołów paleniskowych wzbogaconych osadem ścieków komunalnych oraz w materiale roślinnym (2009–2012)

Table 4. Content of heavy metals in the ash dumps area and thickened municipal sludge and plant material (2009–2012)

Rodzaj roślinności Vegetation type	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge [t·ha ⁻¹]	Głębokość pobierania Depth [cm]	Zawartość składników Content of elements [mg·kg ⁻¹]									
			Podłoże Substrate									
			Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cr	Hg
Kontrola Control	0	popiół ash	0,159	37,87	24 798,9	375,39	34,60	25,86	57,85	15,88	27,43	0,419
A	0	0–10 10–20	0,213 0,169	37,14 36,09	20 459,7 22 910,3	431,05 446,32	32,37 34,52	21,95 24,49	44,92 65,38	13,52 15,59	26,79 27,03	0,396 0,416
B	350	0–10 10–20	0,208 0,258	14,91 23,60	10 768,9 15 433,2	296,55 374,85	10,65 17,52	11,96 16,78	101,31 149,12	4,49 9,23	17,71 25,49	0,164 0,339
C	350	0–10 10–20	0,380 0,256	38,57 29,37	19 166,5 17 985,3	456,10 430,22	18,58 17,59	25,28 23,35	281,85 166,19	6,77 6,01	27,12 26,66	0,332 0,264
			Materiał roślinny Plant material									
A			<0,06	1,38	68,2	9,35	0,223	0,398	18,58	0,022	0,646	0,006
B			<0,06	3,86	67,8	10,86	0,424	0,434	21,51	0,038	0,656	0,007
C			<0,06	3,88	82,3	11,27	0,498	0,586	25,59	0,043	0,891	0,009
Wartość dopuszczalnych stężeń w glebie lub ziemi ¹⁾ Value of permissible concentrations in soil or earth ¹⁾			4	150	5 700 ^{a)}	1 500	100	100	300	20	150	2
Wartość dopuszczalnych stężeń w roślinach jako paszy dla zwierząt ²⁾ Value of allowable concentrations in plants as fodder for animals ²⁾			–	–	20–50	20–60	–	–	–	1	3–12	0,03
Wartości krytyczne metali śladowych przyjęte do oceny roślin pod względem ich przydatności paszowej ³⁾ Critical values of trace metals assumed for plant evaluation with regard to fodder suitability ³⁾			≤0,5	25–50	–	–	≤50,0	≤10,0	≤100,0	–	–	–

*¹⁾ Średnia zawartość w glebie piaszczystej.

*²⁾ Average content in sandy soil.

¹⁾ Załącznik do rozporządzenia Ministra Środowiska z dn. 9.09.2002 r.

¹⁾ Assumptions of Ministry of Environment of 9.09.2002 (Dz.U. Nr 165 poz. 1359).

²⁾ Baran S., Turski R. Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. Wyd. AR Lublin 1996: ss. 223.

³⁾ Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska-Terelak M., Terelak H., Witek T. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. IUNG Puławy 1993: ss. 20.

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

Źródło: *wyniki własne*. Source: *own study*.

Odnotowano zwiększoną zawartość substancji organicznej oraz przyswajalnego P i Mg w dolnej części zbocza, szczególnie w warstwie próchnicznej, co można tłumaczyć sphywami substancji pokarmowych po zboczu składowiska. Porównując uzyskane wyniki badań z wynikami z lat 2006–2008 [KLIMONT, BULIŃSKA-RADOMSKA 2009] stwierdzono zdecydowanie mniejszy przyrost materii organicznej oraz zmniejszenie zawartości P i Mg w podłożu, co prawdopodobnie jest powodowane wyczerpywaniem składników pokarmowych wniesionych do podłoża z osadem ściekowym.

Zawartość makroelementów w roślinach pobranych ze zrehabilitowanego zbocza składowiska mało się różniła od określonej w trawach porastających laguny odwodnionych osadów ściekowych [SIUTA 2004].

Badania warstwy próchnicznej i podpróchnicznej podłoża wykazały przekroczenie dopuszczalnych stężeń Fe we wszystkich analizowanych próbkach pochodzących z obydwu warstw z góry i dołu zbocza, wierzchowiny, a także w wariantcie kontrolnym (tab. 4). Zawartość pozostałych 9 metali ciężkich nie przekroczyła dopuszczalnych wartości. Podobne wyniki uzyskali MAJTKOWSKI i MAJTKOWSKA [2012] na hałdzie popiołów paleniskowych, KLIMONT i in. [2013] – na składowisku odpadów komunalnych pokrytych warstwą popiołu oraz GRZYWNOWICZ i STRUTYŃSKI [2000] – na glebie mineralnej. Zawartość Ni, Pb, As, Cr i Hg zmniejszyła się we wszystkich próbkach pobranych z trzech stanowisk. Zawartość wszystkich 10 pierwiastków w poziomie próchnicznym w górnej części zbocza była mniejsza niż w warstwie podpróchnicznej, co może świadczyć o ich wymywaniu w głąb profilu. W dolnej części zbocza zawartość wszystkich ocenianych pierwiastków jest większa w wierzchniej, próchnicznej warstwie złoża, co może wskazywać, że wprowadzone wraz z osadem mikroelementy bardzo powoli wędrują w głąb profilu.

Laboratoryjna ocena materiału roślinnego pobranego z wierzchowiny, a także z góry i dołu zbocza składowiska wykazała niewielkie przekroczenie dopuszczalnych norm tylko w przypadku Fe – odpowiednio: 68,2, 67,8 i 82,3 mg·kg⁻¹ przy normie 20–50 mg·kg⁻¹. Może to być związane z dużą zawartością tego pierwiastka w podłożu (tab. 4). Ilość pozostałych metali ciężkich nie przekroczyła dopuszczalnych stężeń w roślinach jako paszy dla zwierząt ani wartości krytycznych przyjętych do oceny roślin pod względem ich przydatności paszowej. Podobne wyniki uzyskał KLIMONT i in. [2013], badając zawartość metali ciężkich w roślinach porastających składowisko odpadów komunalnych, pokrytych popiołem użyźnionym osadem ściekowym. Większe zawartości metali ciężkich zanotowali SIUTA [2004] w roślinach rosnących na podłożach lagun osadowych oraz SIUTA i KUTLA [2005] – na złożach popiołowych nawiezionych osadem.

Wnioski

1. Wprowadzenie zagęszczonych osadów ścieków komunalnych do powierzchniowej warstwy popiołów paleniskowych stworzyło warunki do wzrostu i rozwoju roślin oraz tworzenia gleby.
2. Na powierzchni składowiska, na której wysiano mieszankę traw z motylkowatymi zachodziły dynamiczne zmiany bujności i składu roślinności. Najlepiej, z każdym

rokiem, rozwijała się kupkówka pospolita, kostrzewa łąkowa, lucerna siewna, a następnie wiechlina łąkowa i życica trwała. Tymotka łąkowa rozwijała się słabo, a życica wielokwiatowa całkowicie wypadła z runi.

3. Kostrzewa trzcinowa i stokłosa bezostna, wysiane w czystym siewie, rozwijały się bujnie i okazały się gatunkami najbardziej przydatnymi do rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych użyźnianych osadem ściekowym.
4. Osady ściekowe wprowadzone do popiołów i porastająca je roślinność zainicjowały życie biologiczne w martwym podłożu, gromadząc materię organiczną, składniki pokarmowe i wodę.
5. Zastosowanie osadów ściekowych do powierzchniowego użyźnienia popiołów wpłynęło różnicująco na zawartość metali ciężkich w podłożu, ale ta, z wyjątkiem żelaza, nie przekroczyła dopuszczalnych stężeń i nie miała większego wpływu na zawartość tych pierwiastków w roślinach zebranych z tych podłoży.
6. Na wierzchołku składowiska popiołu, w wyniku spontanicznej sukcesji, pojawiła się pionierska roślinność zielna i drzewiasta.

Bibliografia

- GILEWSKA M., PRZYBYŁA Cz. 2001. Wykorzystanie osadów ściekowych w rekultywacji składowisk popiołowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Nr 477 s. 217–222.
- GÓRAL S. 2001. Roślinność zielna w ochronie i rekultywacji gruntów. Inżynieria Ekologiczna. Nr 3 s. 161–178.
- GÓRAL S., ROLA S. 2001. Trawy na popiołach elektrociepłowni nawożonych osadami ściekowymi. Inżynieria Ekologiczna. Nr 3 s. 146–150.
- GÓRAL S., SYBILSKA A. 2000. Przydatność polskich odmian hodowlanych (*Festuca arundinacea* Schreb.) do rekultywacji gruntów zdewastowanych. Łąkarstwo w Polsce. Nr 3 s. 199–204.
- GRZYWNOWICZ I., STRUTYŃSKI J. 1999. Zmiany niektórych właściwości chemicznych gleby po zastosowaniu osadów ściekowych do celów nawozowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Nr 467 s. 299–306.
- GRZYWNOWICZ I., STRUTYŃSKI J. 2000. Rolnicze zagospodarowanie osadów ściekowych jako źródło zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Nr 472 s. 297–304.
- KLIMONT K. 2011. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego i popiołów paleniskowych. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 2 s. 165–176.
- KLIMONT K., BULIŃSKA-RADOMSKA Z. 2009. Badania rozwoju wybranych gatunków traw do umacniania składowisk popiołów paleniskowych z elektrociepłowni. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 2 s. 135–145.
- KLIMONT K., BULIŃSKA-RADOMSKA Z. 2010. Przydatność wybranych gatunków roślin do rekultywacji składowiska odpadów komunalnych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Nr 556 s. 827–835.

KLIMONT K., BULIŃSKA-RADOMSKA Z., OSIŃSKA A., BAJOR P. 2013. Uprawa i spontaniczna roślinność na składowisku odpadów komunalnych pokrytych odpadem paleniskowym użytym osadem ściekowym. Biuletyn IHAR. Nr 270 s. 109–121.

MAJTKOWSKI W., MAJTKOWSKA G. 2012. Fitosanitarna rola szaty roślinnej na zrehabilitowanej hałdzie popiołów w Sowlanach k. Białegostoku. Biuletyn IHAR 263 s. 55–63.

PROŃCZUK I. 1994. Popioły, melioracja i ochrona. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie. Nr 5 s. 8–12.

SIUTA I. 2004. Rekultywacja terenu lagun osadowych w oczyszczalni ścieków „Hajdów”. Inżynieria Ekologiczna. Nr 9 s. 43–54.

Siuta J., KUTLA G. 2005. Rekultywacyjne działanie osadów ściekowych na złożach odpadów paleniskowych energetyki węglowej. Inżynieria Ekologiczna. Nr 10 s. 58–69.

Piotr Bajor, Zofia Bulińska-Radomska, Krzysztof Klimont, Agnieszka Osińska

EVALUATION OF THE DEVELOPMENT OF VEGETATION ON INCINERATION ASH DISPOSAL AREA FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE

Summary

In the years 2009–2012 were studied some species of grass and legumes suitable for biological reclamation of incineration ash disposal area fertilized with municipal sewage sludge and their soil-forming operation. Reclamation of ash through the introduction of surface sediments of municipal waste water created conditions for intensive development of vegetation and the initiation of soil formation process. On the reclaimed soil orchard grass and meadow fescue and from leguminosae family lucerne sativa were best developed, then Kentucky bluegrass and perennial ryegrass. Timothy-grass was least developed and Italian ryegrass completely fell out of the green growth. Smooth brome and tall fescue sown in pure stand grew luxuriantly and have proven to be the most suitable species for reclamation of this ground type. Sewage sludge placed on the ash and vegetation growing on them initiated biological life in the dead substrate, accumulate organic matter, nutrients and water. Fertilization of the surface of incineration ash disposal area with sediments of municipal sewage had a differentiating effect on the content of heavy metals in reclaimed soil and plants growing on it. At the top of incineration ash disposal area developed pioneering herbaceous and woody vegetation of spontaneous succession.

Key words: incineration ash disposal area, sewage sludge, soil-forming process, land reclamation, reclamation plants

Adres do korespondencji:

dr inż. Witold Kowalik

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi

ul. Głęboka 28, 20–612 Lublin

tel. 81 531-97-13; e-mail: witold.kowalik@up.lublin.pl

