

<sup>1</sup>Katedra Chemii Rolnej, <sup>2</sup>Katedra Łąkarstwa, Akademia Rolnicza w Krakowie  
al. A. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, Poland

Jacek Antonkiewicz<sup>1</sup>, Adam Radkowski<sup>2</sup>

*Przydatność wybranych gatunków traw i roślin motylkowatych do  
biologicznej rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych*

---

Usability of selected grass and legume species for biological reclamation of ash dumps

ABSTRACT. Ash disposal sites should be covered by a vegetation mantle immediately after they have been formed in order to protect them against water and wind erosion and to ensure an aesthetic view of the countryside. The vegetal cover of scarps and terraces of disposal sites and ash heaps plays a most important role in biological reclamation of disposal site. Botanical composition was affected by the kind of used waste. Utilization of municipal sludge was beneficial for tall fescue (*Festuca arundinacea*) growth, whereas the use of ash was more advantageous for red fescue (*Festuca rubra*). Among all sown plants tall fescue (*Festuca arundinacea*) was the most susceptible species to biological recultivation of furnace ash fertilized with sludge. A high diversification of reclamation mixture yielding depending on sludge and ash dose was found. The yield of reclamation mixture ranged between 0.15 and 11.81 t/ha<sup>-1</sup>, depending on the object. The highest reclamation mixture yield was generated on the object where sludge was used with ash in 3/4:1/4 weight ratio, and the lowest was obtained on the object where only ash addition was applied.

KEY WORDS: legume-grass mixture, botanical composition, yield, sludge, ash, reclamation

Składowiska odpadów paleniskowych powinny być pokrywane szatą roślinną natychmiast po ich ukształtowaniu w celu ochrony przed erozyjnym działaniem wody i wiatru oraz zapewnienia estetyki krajobrazu. Roślinna zabudowa hałd odpadów paleniskowych spełnia bardzo istotną rolę w biologicznej rekultywacji terenu składowiskowego [Rogalski i in. 1998; Kitczak i in. 1999]. Hałdy popiołów wymagają także zabezpieczenia przed migracją metali ciężkich do wód gruntowych, a po zakończeniu procesu rekultywacji powinny być dopro-

wadzone do stanu produkcyjności jako grunty uprawne lub tereny przeznaczone do stanu zadrzewienia i zakrzewienia [Maciak i in. 1976, 1979]. Celem badań było poznanie wpływu osadów ściekowych i popiołów paleniskowych na skład botaniczny i plon roślin.

#### METODY

Badania przeprowadzono w latach 2002–2004, w warunkach doświadczenia polowego zlokalizowanego na terenie Miejsko-Przemysłowej Oczyszczalni Ścieków EMPOŚ w Oświęcimiu. Doświadczenie polowe założono w lipcu 2002 roku, w układzie losowanych bloków. Powierzchnia poletek wynosiła 8 m<sup>2</sup>. Schemat doświadczenia obejmował sześć obiektów (każdy w czterech powtórzeniach), różniących się dawką wprowadzonych osadów ściekowych i popiołów paleniskowych: I. obiekt kontrolny (bez dodatku odpadów); II. 200 t/ha<sup>-1</sup> s.m. osadu; III. 200 t/ha<sup>-1</sup> s.m. popiołu; IV. 150 t/ha<sup>-1</sup> s.m. osadu + 50 t/ha<sup>-1</sup> s.m. popiołu; V. 50 t/ha<sup>-1</sup> s.m. osadu + 150 t/ha<sup>-1</sup> s.m. popiołu; VI. 100 t/ha<sup>-1</sup> s.m. osadu + 100 t/ha<sup>-1</sup> s.m. popiołu. Osady i popiół oraz ich mieszaniny zastosowano powierzchniowo. Doświadczenie polowe założono na glebie mineralnej, o składzie granulometrycznym gliny średniej.

W doświadczeniu wysiano mieszankę składającą się z traw i roślin motylkowatych o następującym składzie: *Festuca rubra* (L.) – kostrzewa czerwona ‘Brodzińska’ (40%), *Festuca arundinacea* (Schreb.) – kostrzewa trzcinowa ‘Skarpa’ (15%), *Poa pratensis* (L.) – wiechlina łąkowa ‘Skiz’ (20%), *Lotus corniculatus* (L.) – komonica zwyczajna ‘Skrzeszowicka’ (10%), *Trifolium repens* (L.) – koniczyna biała ‘Haifa’ (15%). Rośliny wysiano ręcznie w trzeciej dekadzie lipca 2002 roku, a ilość wysiewu mieszanki wynosiła kg ha<sup>-1</sup>. Norma wysiewu mieszanki została zwiększona o 20% ze względu na niekorzystne warunki glebowe, jakimi cechują się popioły, stanowiące utwory jałowe o złych właściwościach powietrzno-wodnych [Bogacz i in. 1995]. Początkowo zasiewy mieszanki zraszano wodą w miarę wysychania podłoża na głębokość 2 cm. Po dwu tygodniach od wysiewu obserwowano wschody. Rośliny w pierwszym roku skoszono w trzeciej dekadzie września, natomiast w kolejnych latach koszone trzykrotnie, pierwszy raz w fazie kłoszenia dominujących gatunków traw, a pozostałe pokosy po upływie 6–7 tygodni. Po skoszeniu mieszankę roślin wysuszono w suszarce, z wymuszonym obiegiem powietrza, w temp 70°C, a następnie określono wielkość plonu suchej masy. Do wykonywania obliczeń statystycznych zastosowano arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel 7.0. Istotność różnic między porównywanymi średnimi plonów określano metodą Duncana. Analizę wariancji i test Duncana wykonywano przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Ocenę porostu, stop-

nia pokrycia powierzchni przez rośliny i jego składu gatunkowego przeprowadzano w pełni okresu wegetacyjnego każdego roku przed pierwszym pokosem. Wycenę składu botanicznego mieszanki wykonywano metodą Klappa. Zadarnienie określano wizualnie na powierzchni 1 m<sup>2</sup>, wybranej losowo na każdym poletku. Przy ocenie tej określano procent powierzchni niezadarnionej.

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Rozwój wysianej mieszanki roślin uzależniony był od dawki zastosowanego osadu ściekowego i popiołu paleniskowego oraz ich mieszanin. W roku siewu stwierdzono różnice w zadarnieniu, pokryciu powierzchni źdźbłami i liśćmi traw (tab. 1). Wykazano, że zastosowane do gleby 200 t s.m. osadu (obiekt II) wpłynęło na poprawę zadarnienia powierzchni w porównaniu z obiektem kontrolnym. Spośród badanych wariantów stwierdzono, że tylko kontrola i obiekt, w którym zastosowano wyłącznie popiół paleniskowy, cechowały się słabym zadarnieniem. Na obiekcie kontrolnym roślinność pokrywała grunt od 75% w pierwszym roku do 85% w trzecim roku badań. Obiekt z popiołem paleniskowym (III) wyróżniał się jeszcze mniejszym pokryciem powierzchni od 50 do 70%. Pozostałe obiekty, w których popioły wymieszano z osadem w różnych proporcjach wagowych, cechowały się powierzchniami dobrze zadarnionymi. Fakt ten wynikał z lepszych warunków wilgotnościowych.

Spośród wysianych gatunków najlepiej rozwijała się kostrzewa trzciniowa (tab. 1). Szczegółowa analiza składu botanicznego wykazała, że gatunek ten najlepiej rozwijał się w obiekcie V, w którym zastosowano 50 t ha<sup>-1</sup> s.m. osadu + 150 t ha<sup>-1</sup> s.m. popiołu. Trawa ta należy do najbujniej rosnących, a ze względu na silny system korzeniowy i odporność na niekorzystne warunki środowiska może być uznana za najbardziej przydatną do rekultywacji terenów zdegradowanych [Góral, Sybilska 2000]. Gatunek ten już w roku wysiewu odznaczał się równomiernymi wschodami oraz zwartym łanem. Ponadto po skoszeniu szybciej odrastał niż inne komponenty mieszanki. W rezultacie na obiektach zawierających popiół wymieszany z osadem uzyskano wyrównany łan, bez pustych miejsc. Na obiektach I i III pomimo niepełnego zadarniania, kostrzewa trzciniowa była także gatunkiem dominującym.

Na obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie popiół paleniskowy (III), dominowała w zbiorowisku roślinnym kostrzewa czerwona. Ta trawa rozłogowo-luźnokepkowa dobrze zadarniała i okrywała powierzchnię, pomimo że popiół paleniskowy nie sprzyjał rozwojowi roślin. Zastosowany wyłącznie popiół w ilości 200 t ha<sup>-1</sup> s.m. opóźniał wschody roślin – różnica wynosiła 2 tygodnie w porównaniu z obiektami, w których zastosowano mieszaniny osadowo-popiołowe.

Tabela 1. Zadarnianie powierzchni (%) i skład botaniczny  
Table 1. Cover of the herb layer (%) and botanical composition

Gatunek Species	Obiekt Object																	
	I*			II			III			IV			V			VI		
	Sezon wegetacji Seasons of vegetation																	
	02	03	04	02	03	04	02	03	04	02	03	04	02	03	04	02	03	04
Zadarnianie powierzchni (%)	75	80	85	100	100	100	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Festuca arundinaceae</i> Schreb.	30	40	32	40	45	49	30	35	28	40	55	50	50	54	75	35	50	45
<i>Festuca rubra</i> L.	20	28	15	28	33	10	38	45	35	30	35	5	38	39	15	25	30	45
<i>Poa pratensis</i> L.	6	2	10	2	2	38	5	2	6	3	6	44	1	3	9	6	3	8
<i>Dactylis glomerata</i> L.	2	+	+						2									
<i>Agropyron repens</i> L.																1	1	
<i>Calamagrostis epigeios</i> L.	2	2	2	+			+	2	2	1	1			1				1
<i>Trifolium repens</i> L.	30	15	2	25	15		20	7	5	25	2		8	+		30	15	
<i>Lotus corniculatus</i> L.	5	10	35	+	+		3	8	20	+	+		+	+				
<i>Cirsium oleraceum</i> L.	2	+		1	1		+	+			+	+						
<i>Cirsium arvense</i> L.	+	+	+	+	+	+	1	+	+			+						
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	1	+	+		+	+			+		+	+	+	+				
<i>Polygonum persicaria</i> L.					+	+		+	+				+	+				
<i>Chenopodium album</i> L.	1	+			+	+			+							2	+	
<i>Achillea millefolium</i> L.	+	+	+		+	+		+	+							+	+	
<i>Plantago lanceolata</i> L.			+		+	+												
<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.									+				+	+	+			
<i>Sonchus oleraceus</i> L.				1	1									+	+		+	+
<i>Rumex crispus</i> L.									+	+				+	+			
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i> L.		+	+		+	+			+		+			+	+		+	+
<i>Anthriscus silvestris</i> L.	+	+	+		+	+							+	+	+			
<i>Dryopteris cristata</i> L.					+	+			+								+	+
<i>Arcium lappa</i> L.									+									
<i>Symphytum officinale</i> L.			+															+
<i>Urtica dioica</i> L.									+									
<i>Galium verum</i> L.			+															
<i>Ranunculus repens</i> L.			+															

\* Obiekty Objects: I. kontrola control; II. osad sludge 200 t ha<sup>-1</sup> s.m. d.w.; III. popiół ash 200 t ha<sup>-1</sup> s.m. d.w.; IV. 150 t ha<sup>-1</sup> s.m. d.w. osad sludge + 50 t ha<sup>-1</sup> s.m. d.w. popiół ash; V. 50 t ha<sup>-1</sup> s.m. d.w. osad sludge + 150 t ha<sup>-1</sup> s.m. d.w. popiół ash; VI. 100 t ha<sup>-1</sup> s.m. d.w. osad sludge + 100 t ha<sup>-1</sup> s.m. d.w. popiół ash.

Tabela 2. Plon suchej masy mieszanki roślin w t ha<sup>-1</sup>  
 Table 2. Yield of dry mass of mixture in t from ha

Obiekt Object	Rok Year								
	2002	2003				2004			
		Pokos Cut				Pokos Cut			
		I	II	III	Suma Sum	I	II	III	Suma Sum
I	0,49	1,39	1,74	1,26	4,39	1,42	1,71	1,20	4,33
II	2,45	4,15	3,17	2,91	10,22	4,06	2,82	2,54	9,41
III	0,15	0,92	0,98	0,75	2,65	1,01	0,91	0,67	2,60
IV	2,78	4,84	3,75	3,21	11,81	4,37	3,36	2,84	10,56
V	0,80	2,59	2,17	2,10	6,86	2,66	2,13	2,00	6,79
VI	2,26	3,74	2,33	2,15	8,21	3,37	2,64	2,21	8,21
NRI LSD <sub>(0,05)</sub>	0,17	0,21	0,19	0,21	0,42	0,13	0,13	0,18	0,25

Warto nadmienić, że pierwsze wschody roślin zarejestrowano po 18 dniach w obiektach, w których zastosowano mieszaniny osadowo-popiołowe, tłumaczyć ten fakt można między innymi optymalnymi warunkami do kiełkowania roślin.

Z wysiewanych traw wolno rozwijała się wiechlina łąkowa. Trawa ta w nomenklaturze łąkarskiej należy do traw niskich, czyli podszywkowych, zajmujących dolne piętra runi łąkowej. W rezultacie konkurencyjność tego gatunku w stosunku do traw wysokich jest mniejsza.

Koniczyna biała okazała się mało przydatna do rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych. Jej udział w poroście w pierwszym roku wegetacji był wysoki i wahał się, w zależności od obiektu, od 8% do 30% (tab. 1). Natomiast w drugim roku badań koniczyna biała została wyparta zwłaszcza w obiektach III–V. W trzecim roku wegetacji obecność tego gatunku stwierdzono w kontroli i obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie popiół paleniskowy. Według Gosa [1999] podłoże popiołów paleniskowych charakteryzuje odczyn alkaliczny, zawiera ono stosunkowo duże ilości składników pokarmowych niezbędnych do wzrostu i rozwoju roślin. Stąd też w tych warunkach utrzymywała się koniczyna biała.

Udział komonicy zwyczajnej w obiektach, w których zastosowano wyłącznie osad (II) oraz mieszaniny osadowo-popiołowe (IV–VI), był niewielki, wystąpiła ona w ilościach śladowych. Podobnie jak w przypadku koniczyny białej, większy udział tej rośliny odnotowano w kontroli oraz obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie popiół w ilości 200 t ha<sup>-1</sup> s.m. Koniczyna biała i komonica zwyczajna słabo rosły na mieszaninach osadowo-popiołowych, ponieważ źle znosiły konkurencję innych gatunków, szczególnie kostrzewy trzcinowej.

W drugim i trzecim roku badań zwiększyła się liczba gatunków, które pojawiły się samorzutnie. Z traw były to: *Dactylis glomerata* (L.) kupkówka pospolita, *Agropyron repens* (L.) perz właściwy, *Calamagrostis epigeios* (L.) trzcinnik piaszkowy, a pozostałe rośliny to: *Cirsium oleraceum* (L.) ostrożeń ogrodowy, *Cirsium arvense* (L.) ostrożeń polny, *Matricaria chamomilla* (L.) rumianek pospolity, *Polygonum persicaria* (L.) rdest plamisty, *Chenopodium album* (L.) komosa biała, *Achillea millefolium* (L.) krwawnik pospolity, *Plantago lanceolata* (L.) babka lancetowata, *Capsella bursa-pastoris* (L.) tasznik pospolity.

Plon suchej masy mieszanki roślin z kolejnych lat prowadzenia doświadczenia przedstawiono w tabeli 2. Już w pierwszym roku wegetacji po zastosowaniu osadu ściekowego i popiołu paleniskowego stwierdzono istotne różnicowanie w plonie suchej masy testowanej mieszanki roślin. Wielkość plonu mieszanki traw i roślin motylkowych była bardzo różnicowana i zależała od dawki osadu, popiołu i ich mieszanin. Plon badanych roślin zebranych w pierwszym roku wegetacji wahał się od 0,15 do 2,78 t ha<sup>-1</sup> (tab. 2). Najwyższy istotny plon mieszanki roślin uzyskano z obiektu IV, na którym zastosowano osad z popiołem w stosunku wagowym 3/4 : 1/4. Wielkość plonu z tego obiektu była ponad 5,6 razy

wyższa w porównaniu z kontrolą. Na obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie osad ściekowy, również zarejestrowano pięciokrotny wzrost plonu w porównaniu z kontrolą. Na obiekcie VI, gdzie zastosowano osad i popiół w ilości po 100 t ha<sup>-1</sup> s.m., zarejestrowano także wysoki, bo ponadczterokrotnie wyższy plon w porównaniu z obiektem kontrolnym. Zastosowanie wyłącznie popiołu paleniskowego (obiekt III) w sposób istotny obniżyło wielkość plonu w porównaniu z kontrolą. Na badanym obiekcie uzyskany plon stanowił 31% plonu uzyskanego na obiekcie kontrolnym. Wysoka wartość nawozowa osadu ściekowego uległa obniżeniu w wyniku znacznego dodatku popiołu (obiekt V). Plon uzyskany w tym obiekcie wynosił 0,8 t ha<sup>-1</sup> i był ponad 1,6-krotnie wyższy w porównaniu z kontrolą.

W drugim roku prowadzenia doświadczenia plon badanej mieszanki roślin wahał się w zakresie od 2,65 do 11,81 t ha<sup>-1</sup> (tab. 2). Podobnie jak w pierwszym roku wegetacji zarejestrowano istotny wpływ osadów, popiołów oraz ich mieszanin na jego wielkość. Najwyższy plon uzyskano na obiekcie IV, w którym wymieszano osad z popiołem w stosunku wagowym 3/4:1/4, był on ponad 2,6 razy wyższy w porównaniu z kontrolą. Ponad 2,3-krotnie wyższy plon uzyskano także na obiekcie II, gdzie zastosowano wyłącznie osad ściekowy. Mieszanina osadowo-popiołowa (1:1) również wpłynęła istotnie na podwyższenie plonu – był 1,8 razy wyższy w porównaniu z obiektem kontrolnym. Nieco niższy plon, aczkolwiek istotnie wyższy w porównaniu z obiektem kontrolnym, uzyskano także w obiekcie, w którym zastosowano 50 t ha<sup>-1</sup> s.m. osadu + 150 t ha<sup>-1</sup> s.m. popiołu. Zastosowany wyłącznie popiół paleniskowy istotnie obniżył wielkość plonu i stanowił 60% wielkości plonu uzyskanego w obiekcie kontrolnym.

W trzecim roku prowadzenia doświadczenia uzyskana wielkość plonu mieszanki roślin była porównywalna z rokiem poprzednim. Plon suchej masy mieszanki wahał się, w zależności od obiektu, w granicach od 2,60 do 10,56 t ha<sup>-1</sup> (tab. 2). W trzecim roku wegetacji zarejestrowano również istotny wpływ osadu, popiołu oraz ich mieszanin na wielkość plonu roślin. Najwyższy plon uzyskano na obiekcie IV, a najniższy na obiekcie, na którym zastosowano wyłącznie popiół paleniskowy. Rozpatrując poszczególne odrosty mieszanki roślin w latach 2003–2004, należy stwierdzić, że najwyższe plony uzyskano z I pokosu, a najniższe z III pokosu. W przypadku obiektu kontrolnego zarejestrowano najwyższy plon w drugim pokosie, a najniższy w trzecim. W drugim i trzecim roku wegetacji wielkość plonu mieszanki roślin była, w zależności od obiektu, od 3,6 do 17,6 razy wyższa w porównaniu z pierwszym rokiem badań. Stosunkowo niski plon uzyskany w pierwszym roku badań wynika między innymi z niepełnego okresu wegetacji.

Niniejsze badania potwierdziły dotychczasowe wyniki wskazujące na wysoką wartość nawozową osadów ściekowych [Kalembasa, Kuziemska 1999]. Z przeprowadzonych badań wynika, że wartość nawozowa osadu z popiołem wymieszana w stosunku wagowym 3/4:1/4, wyrażona plonem suchej masy mieszanki roślin, była wyższa w porównaniu z kontrolą i obiektem, w którym zastosowano wyłącznie osad, a także popiół. Natomiast w badaniach Kalembasy i Wysokińskiego [2002] stwierdzono, że zastosowane wyłącznie osady ściekowe wpłynęły na większy przyrost plonu aniżeli mieszaniny osadowo-popiołowe.

#### WNIOSKI

1. Skład botaniczny był uzależniony od rodzaju zastosowanego odpadu. Zastosowanie osadu komunalnego stymulowało rozwój kostrzewy trzcinowej, natomiast popiołu – kostrzewy czerwonej.

2. Spośród wysianych roślin najbardziej przydatnym gatunkiem do biologicznej rekultywacji popiołów paleniskowych nawożonych osadem okazała się kostrzewa trzcinowa.

3. Rośliny motylkowate drobnonasienne dobrze rosły na popiołach oraz w kontroli, znosząc konkurencję traw. W drugim i trzecim roku wegetacji zaczęły rozwijać się gatunki niewysiane w mieszance roślin z powodu rozsiewania się roślin sąsiadujących obok doświadczenia.

4. Stwierdzono duże zróżnicowanie w zakresie plonowania mieszanki roślin zależnie od dawki osadu i popiołu paleniskowego oraz roku badań. Istotnie najwyższy plon mieszanki uzyskano z obiektu, w którym zastosowano 150 t ha<sup>-1</sup> s.m. osadu i 50 t ha<sup>-1</sup> s.m. popiołu, a najniższy plon otrzymano z obiektu, gdzie zastosowano wyłącznie popiół paleniskowy.

#### PIŚMIENNICTWO

- Bogacz A., Chodak T., Szerszeń L. 1995. Badania nad przydatnością popiołów lotnych z elektrowni Opole do zagospodarowania rolniczego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 418, 671–676.
- Gos A. 1999. Wzrost i rozwój niektórych gatunków traw i roślin motylkowatych na popiele z dodatkiem biohumusu. Fol. Univ. Agric. Stetin. 197, Agricultura 75, 75–80.
- Góral S., Sybilska A. 2000. Przydatność polskich odmian hodowlanych *Festuca arundinacea* Schreb. do rekultywacji gruntów zdewastowanych. Łąkarstwo w Polsce. 3, 55–62.
- Kitczak T., Gos A., Czyż H., Trzaskoś M. 1999. Roślinność hałd popioło-zużli. Fol. Univ. Agric. Stetin. 197, Agricultura 75, 179–186.
- Kalembasa S., Kuziemska B. 1999. Wpływ dawki i terminu stosowania osadów na plon siana oraz wartość współczynników wykorzystania azotu i fosforu z osadów. Folia Univ. Agric. Stetin. 200, Agricultura 77, 121–124.



- Kalembasa S., Wysokiński A. 2002. Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem węgla brunatnego lub z CaO na plon i skład chemiczny roślin. Cz. I. Plon roślin. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482, 251–256.
- Maciak F., Liwski S., Prończuk J. 1976. Rekultywacja rolnicza składowisk odpadów paleniskowych (popiołów) z węgla brunatnego i kamiennego. Część I. Wzrost roślinności na składowiskach popiołu w zależności od zabiegów agrotechnicznych i nawożenia. Roczn. Gleb. 27, 4, 149–169.
- Maciak F., Liwski S., Jeżewski Z. 1979. Rekultywacja hałdy popiołu z węgla brunatnego elektrowni Konin przez zadrzewienie i zakrzewienie. Roczn. Gleb. 30, 3, 179–198.
- Rogalski M., Kapela A., Kardynańska S., Wieczorek A., Kryszak J. 1998. Badania nad początkowym wzrostem i rozwojem niektórych gatunków traw rosnących na popiołach z elektrowni Dolna Odra. Arch. Ochr. Środ. 24, 3, 123–128.