

PLONOWANIE ORAZ ZAWARTOŚĆ MAKROELEMENTÓW W WYBRANYCH ROŚLINACH ENERGETYCZNYCH UPRAWIANYCH NA ZMODYFIKOWANYCH DODATKIEM MATERIAŁÓW MINERALNYCH I ORGANICZNYCH ODPADACH Z FLOTACJI RUD MIEDZI

LESZEK KORDAS¹, WANDA TASZ²

¹*Katedra Kształtowania Agroekosystemów i Terenów Zieleni
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

²*KGHM CUPRUM, Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław*

leszek.kordas@up.wroc.pl

Synopsis. Dwuczynnikowe doświadczenie mikroplotkowe z wybranymi roślinami energetycznymi i różnymi sposobami rekultywacji odpadów flotacyjnych polegające na dodaniu do nich materiałów organicznych i mineralnych prowadzone było w latach 2009–2011 na jednym z najstarszych składowisk odpadów z flotacji rud miedzi „KONRAD” nr 1 w Iwinach koło Bolesławca. Przeprowadzone trzyletnie badania wykazały, że do najbardziej przydatnych do rekultywacji i produkcji biomasy należą: mieszanka M-2 (*Panicum virgatum* i *Lotus corniculatus*) oraz mieszanka M-1 (*Lolium perenne*, *Poa pratensis* i *Lotus corniculatus*) a w dalszej kolejności *Spartina pectinata*, *Miscanthus giganteus*, *Helianthus tuberosus* i *Salix viminalis*. Najbardziej stymulującymi wzrost i rozwój roślin doświadczalnych podłożami okazało się podłoże nr III (odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + słoma), IV (odpady flotacyjne + słoma) i II (odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + trociny).

Słowa kluczowe – *key words*: odpady poflotacyjne – *flotation wates*, rekultywacja – *reclamation*, rośliny energetyczne – *energy crops*

WSTĘP

Do najważniejszych problemów ochrony środowiska terenów przemysłu miedziowego zaliczyć należy rekultywację wielko-powierzchniowych, nadpoziomowych składowisk odpadów z flotacji rud miedzi. Składowiska te stwarzają duże trudności w rekultywowaniu i zagospodarowaniu ich powierzchni, głównie z powodu: [Chodaki in. 2005, Krajewski i in. 1998, Krzaklewski 1988, Tasz 2005, Tasz i Kordas 2010]:

- nieodpowiednich warunków powietrzno-wodnych (mała przewodność i porowatość, wysoki stopień kurczliwości w czasie susz i zlewność w czasie opadów),
- nadmiernej zawartości niektórych metali ciężkich, głównie miedzi i ołowiu,
- wysokiego odczynu (pH),
- braku substancji organicznej,
- niedoboru podstawowych makro i mikroelementów,
- braku aktywności biologicznej powierzchniowej warstwy odpadów.

Na wysokość plonowania roślin wpływa wiele czynników biologicznych związanych ze specyficznymi właściwościami gatunku i odmiany rośliny, siedliskowych wynikających z jakości podłoża gruntowego i agrotechnicznych oraz abiotycznych związanych z klimatem. Szczeg-

gólnie ważnym czynnikiem wpływającym na plonowanie roślin ma jakość podłoża odpadowego, kształtującego siedlisko glebowe.

Na odpadach występują w zależności od warunków pogodowych skrajnie niekorzystne dla roślin, a zwłaszcza dla roślin drzewiastych, wahania wilgotności. Na wywyższeniach w warstwie ryzosferowej, odpady mogą w okresie bezopadowym pękać, przesuszać i powodować zamieranie rosnących tam roślin, zaś w przypadku obfitych opadów woda wypełnia całkowicie pory i stwarza warunki beztlenowe, co może powodować obumieranie roślin. W wyniku powyższych zjawisk rośliny drzewiaste lub drzewa są wysadzone z podłoża, a ich pokrój jest zniekształcony [Mazur 2002]. W roku 1978 na składowisku „KONRAD” nr 1 w Iwinach, przystąpiono do rekultywacji roślinnością drzewiastą. W roku 2006 wykonano inwentaryzację terenową i stwierdzono, że przyjęty sposób rekultywacji nie przyniósł oczekiwanych rezultatów [Gawron i in. 2007]. Dlatego też podjęto próbę zagospodarowania i rekultywacji składowiska odpadów z flotacji rud miedzi ponownie, poprzez modyfikację podłoża oraz wprowadzenie gatunków roślin o wysokim potencjale plonowania które można by wykorzystać do produkcji energii cieplnej bądź elektrycznej (tzw. roślin energetycznych), a ponadto do fitoremediacji metali śladowych z odpadów [Kabała i in. 2010, Ociepa i in. 2008, Wrzosek i in. 2008].

Celem pracy było opracowanie metody rekultywacji, wyłączonych z eksploatacji składowisk odpadów flotacyjnych Starego Zagłębia Miedziowego z równoczesną możliwością produkcji biomasy dla celów energetycznych, poprzez zastosowanie dodatków stymulujących wzrost i rozwój roślin.

MATERIAŁ I METODY

Badania możliwości uprawy roślin dla rekultywacji powierzchni i produkcji biomasy, poprzez bioaktywację odpadów i modyfikację ich właściwości fizykochemicznych, wykonano na jednym z najstarszych składowisk „KONRAD nr 1” w Iwinach koło Bolesławca. Doświadczenie mikroplotkowe z wybranymi roślinami do rekultywacji powierzchni i ich uprawy na potrzeby energetyczne oraz dla określenia ich plonowania. Do poprawy i rewitalizacji siedliska gruntowego (tworzącego glebę) użyto materiałów organiczno-mineralnych, w celu uaktywnienia mikroorganizmów w podłożu odpadowym i polepszenia jego warunków powietrzno-wodnych. Ponadto uzupełniono deficytowe makroelementy (azot i fosfor) poprzez nawożenie mineralne zmodyfikowanego podłoża. Stosowano corocznie nawożenie azotem w postaci saletry amonowej w ilości $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w trzech dawkach ($70/70/60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz nawożenie fosforem w formie superfosfatu w ilości $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w dwóch dawkach ($150/50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Ze względu na brak jakiegokolwiek innej roślinności niż testowane rośliny nie było potrzeby odchwaszczania.

Dwuczynnikowe doświadczenie mikroplotkowe prowadzone było w latach 2009–2011 (to jest po 38 latach od zakończenia eksploatacji składowiska) w czterech powtórzeniach [Monografia 2007]. Czynnikiem doświadczenia (czynnik I) były wybrane rośliny „energetyczne” uprawiane na zmodyfikowanym odpadzie poflotacyjnym w ten sposób, że dodano do nich różnego typu materiały organiczne i mineralne (czynnik II). Materiały te oraz odpowiednie ich kombinacje posłużyły jako główne stymulatory aktywności biologicznej, wymienionych wyżej odpadów i poprawy warunków pobierania składników pokarmowych przez rośliny doświadczalne. W wyniku dodania mineralnych i organicznych materiałów, utworzono sześć podłoży o numerach od I do VI. Dla celów kontrolno porównawczych, utworzono siódme podłoże 0, samych tylko odpadów flotacyjnych. Poniżej podano skład podłoży i kombinacje użytych materiałów:

- I – odpady flotacyjne + piasek ze żwirem,
- II – odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + trociny,

- III – odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + słoma,
- IV – odpady flotacyjne + słoma,
- V – odpady flotacyjne + trociny,
- VI – odpady flotacyjne + słoma + trociny,
- 0 (kontrolne) – odpady flotacyjne.

Odpad poflotacyjny zalegający od 38 lat w formie nienaruszonej tworzy zwarte podłoże, które przed wsianiem lub sadzeniem roślin wymagało wzniesienia na głębokość 20 cm. Po jego spulchnieniu na odpowiednie poletka nawieziono materiały organiczne oraz mineralne i wymieszano glebogryzarką do głębokości 10 cm. W tak uprawione i przygotowane podłoża, wysiano nawozy mineralne (pierwsza dawka), w ilościach niezbędnych dla wzrostu i rozwoju roślin doświadczalnych [Tasz 2005, Tasz i Kordas 2010], a następnie wysiano lub posadzono następujące gatunki roślin: miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus*), spartina preriowa (*Spartina pectinata*), słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus*) i wierzbę wiciową (*Salix viminalis*) oraz dwie mieszanki traw z komonicą różkową (M-1 i M-2). Mieszanek M-1 stanowiły *Lolium perenne*, *Poa pratensis* oraz *Lotus corniculatus* a mieszanek M-2 *Panicum virgatum* i *Lotus corniculatus*. Przy doborze roślin, ze względu na suche stanowisko oraz bardzo niską zawartość składników pokarmowych osadu, uwzględniono ich niskie wymagania pokarmowe i wodne. Zebrane rośliny były suszone a następnie ważone. Plon suchej masy przeliczono na powierzchnię metra kwadratowego. Ponadto oznaczono zawartości wybranych makroelementów: formy przyswajalne P i K metodą Egnera-Riehma, azot ogólny metodą Kjeldahla. Próbkę roślinną do oznaczeń makroelementów były mineralizowane na mokro w stężonym kwasie siarkowym z dodatkiem wody utlenionej; azot oznaczano metodą Kjeldahla, fosfor spektrofotometrycznie, potas metodą fotometrii płomieniowej.

Opady atmosferyczne w rejonie prowadzonego doświadczenia dla wielolecia (1971–2000) w okresie od IV do X, wynosiły 420 mm, co dowodzi, że pod względem zapotrzebowania na wodę, rośliny dobrano prawidłowo (tab. 1). Dane meteorologiczne dotyczące opadów atmosferycznych pochodziły z posterunku opadowego IMGW w Iwinach, oddalonego od rejonu badań około 1,5 km, natomiast temperatury ze stacji meteorologicznej IMGW w Tomaszowie Bolesławieckim, oddalonej od rejonu badań około 8,5 km. Dla łącznej oceny warunków termicznych i pluwiometrycznych w okresie wegetacyjnym, zastosowano współczynnik hydrotermiczny Sielianiowa, charakteryzujący klimat danego regionu pod względem bilansu wodnego [Bartoszek i Banasiewicz 2007, Skowera i Puła 2004]:

$$k = P/0,1\Sigma t$$

gdzie P – jest sumą miesięczną opadów atmosferycznych, Σt – sumą średnich dobowych temperatur powietrza z tego miesiąca [Hutorowicz i in. 2008].

Ocenę statystyczną przeprowadzono tylko w stosunku do plonowania, osobno dla roślin i dla podłoża jednak nie wykazała ona jakichkolwiek istotnych różnic statystycznych. Wyniki dotyczące makroelementów nie poddano analizie statystycznej ponieważ pobierano obiektowo i zestawiono na średnich próbkach obiektowych. Szczegółowy opis procentowego udziału poszczególnych dodatków a także skład mieszanek jest przedmiotem zgłoszenia patentowego

WYNIKI I DYSKUSJA

Po okresie trzech lat badań zawartość poszczególnych makroelementów w podłożu była wyraźnie zróżnicowana w zależności od podłoża i uprawianej rośliny (tab.1). Zmodyfikowane podłoże w zależności od zastosowanego materiału, stanowiło dla roślin bardzo zróżnicowane

Tabela 1. Warunki hydrotermiczne w rejonie składowiska odpadów flotacyjnych
 Table 1. Hydrothermal conditions in flotation waste stockpile region

Rok Year	Wartość (a) oraz klasy (b) współczynnika k Value (a) and classes (b) of coefficient k	Miesiąc – Month								Okres Period	
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV–IX	IV–X	
2009	a	0,1	1,6	2,4	1,7	1,0	0,5	3,1	1,3	1,5	
	b	s.s.	o.	w.	d.w.	s.	b.s.	s.w.	d.s.	o.	
2010	a	1,7	2,7	0,7	1,1	4,0	3,8	0,4	2,3	2,1	
	b	d.w.	b.w.	b.s.	d.s.	s.w.	s.w.	s.s.	w.	w.	
2011	a	1,1	1,4	1,2	2,9	1,3	0,7	1,7	1,5	1,5	
	b	d.s.	o.	d.s.	b.w.	d.s.	b.s.	d.w.	o.	o.	
1971–2000	a	2,0	1,5	1,5	1,6	1,3	1,2	1,6	1,5	1,5	
	b	d.w.	o.	o.	o.	d.s.	d.s.	o.	o.	o.	

* – s.s. – skrajnie suchy – *extremely dry* ($k \leq 0,4$); b.s. – bardzo suchy – *very dry* ($0,4 < k \leq 0,7$); s. – suchy – *dry* ($0,7 < k \leq 1,0$); d.s. – dość suchy – *quite dry* ($1,0 < k \leq 1,3$); o. – optymalny – *optimal* ($1,3 < k \leq 1,6$); d.w. – dość wilgotny – *quite wet* ($1,6 < k \leq 2,0$); w. – wilgotny – *wet* ($2,0 < k \leq 2,5$); b.w. – bardzo wilgotny – *very wet* ($2,5 < k \leq 3,0$); s.w. – skrajnie wilgotny – *extremely wet* ($k > 3,0$)

środowisko do rozwoju, stąd też różna wielkość plonów poszczególnych roślin i różna zawartość końcowa poszczególnych makroelementów w podłożu która wynikała także ze zróżnicowanego zapotrzebowania na nie przez poszczególne rośliny a także wielkość ich plonowania. Na podłożu bez dodatków (kontrolnym), w większości przypadków nastąpił wzrost azotu i fosforu. Wynika to z faktu corocznego wysokiego nawożenia przy jednoczesnym niskim plonowaniu roślin uprawianych na tym podłożu. W przypadku pozostałych podłoży (II–VI), zawartość makroskładników była bardzo zróżnicowana i wynikała z potrzeb nawozowych poszczególnych gatunków roślin i wielkości ich plonu. Zawartość potasu wszystkich podłożach zachowywała stosunkowo dużą stabilność, co wynikało głównie z wysokiej jego zawartości w odpadach flotacyjnych.

Zawartość składników pokarmowych w roślinie (tab. 3) jest uzależniona przede wszystkim od gatunku, fazy rozwojowej, organu rośliny i rodzaju oraz poziomu nawożenia, żyzności gleby i przebiegu pogody w okresie wegetacyjnym, a szczególnie od wilgotności, temperatury i stopnia natlenienia gleby [Borkowska i Lipiński 2007].

W zestawieniu z danymi z literatury [Borkowska i Lipiński 2007, Celińska 2009, Kościak 2007, Kowalczyk-Juśko 2010], uzyskana biomasa na składowisku charakteryzowała się wyższymi zawartościami makroelementów tj. azot, fosfor i potas. Biomasa z mieszanek traw i komyicy M-1 i M-2, uzyskana na składowisku odpadów flotacyjnych rud miedzi, w porównaniu do danych z literatury [Madej i in. 2010] charakteryzowała się niższą zawartością azotu, fosforu i potasu. Zawartość makroelementów w roślinie była w dużym stopniu zależna od jej potencjalnych możliwości pobierania w zależności od warunków siedliskowych.

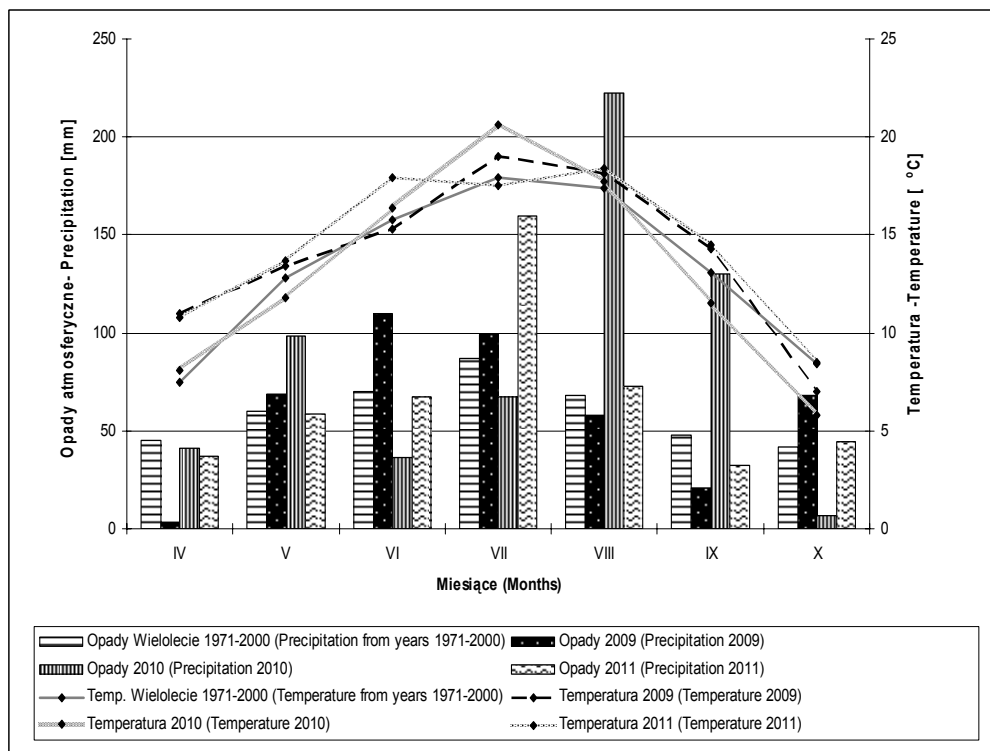
Tabela 2. Zawartości wybranych makroelementów ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w podłożach, średnie z lat 2009 – 2011
 Table 2. Contents of selected macroelements ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in substrates, mean from years 2009 – 2011

Gatunek <i>Species</i>	Makro- element <i>Macro- element</i>	Podłoże – <i>Substrate</i>						
		0*	I	II	III	IV	V	VI
<i>Helianthus tuberosus</i>	N	533	458	519	538	602	596	629
	P	17,8	20,7	20,0	21,9	6,6	6,3	8,9
	K	293	243	297	303	317	300	342
<i>Miscanthus giganteus</i>	N	770	625	579	789	698	861	832
	P	8,1	12,3	8,9	10,5	7,5	14,7	11,7
	K	268	238	308	308	333	307	352
<i>Salix viminalis</i>	N	557	486	571	574	643	717	602
	P	5,1	24,0	11,2	19,8	8,2	13,9	9,9
	K	292	208	268	287	337	308	320
<i>Spartina pectinata</i>	N	583	486	604	564	620	669	698
	P	7,3	6,8	7,7	11,4	12,1	6,4	7,3
	K	292	208	268	287	337	308	320
Mieszanka – <i>Mixture</i> M-1**	N	421	469	495	472	897	452	586
	P	7,5	11,7	9,1	9,0	6,4	4,6	7,7
	K	268	188	250	277	292	293	323
Mieszanka – <i>Mixture</i> M-2	N	488	374	511	436	676	568	668
	P	7,0	8,6	5,2	5,8	6,7	4,5	7,5
	K	293	243	297	303	317	300	342

* – kontrola (odpady flotacyjne) – control treatment (flotation wastes), I – odpady flotacyjne + piasek ze żwirem – flotation wastes + sand and gravel, II – odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + trociny – flotation wastes + sand and gravel + sawdust, III – odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + słoma – flotation wastes + sand and gravel + straw, IV – odpady flotacyjne + słoma – flotation wastes + straw, V – odpady flotacyjne + trociny – flotation wastes + sawdust, VI – odpady flotacyjne + słoma + trociny – flotation wastes + straw + sawdust

** – Mieszanka – *Mixture* (M-1): *Panicum virgatum*, *Lotus corniculatus*; Mieszanka – *Mixture* (M-2): *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Lotus corniculatus*

Drugim bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na plonowanie wybranych w doświadczeniu roślin, jest przebieg warunków pogodowych (ilość opadów atmosferycznych i temperatura powietrza (rys. 1). W pracy wykorzystano do oceny warunków hydrotermicznych współczynnik Sielianinowa (k), w którym wyróżniamy podział na dziewięć klas wartości, umożliwiającą wyodrębnienie zarówno warunków ekstremalnie suchych jak i ekstremalnie wilgotnych. Za warunki ekstremalne przyjęto takie wartości k, które mieszczą się w przedziałach niższych od 0,7, a więc warunki skrajnie suche i bardzo suche oraz wartości powyżej 2,5, to jest warunki bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne. Miarodajne wyniki tego współczynnika, otrzymuje się tylko przy wartościach średnich dobowych temperatur powietrza powyżej 8°C. Metodę tę można więc stosować dla okresu wegetacyjnego, czyli od kwietnia do października [Hutowicz i in.2008]



Rys. 1. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych (mm) oraz średnie miesięczne temperatury powietrza (°C)

Fig. 1. Monthly precipitation sums (mm) and mean monthly air temperatures (°C)

W trakcie prowadzonych obserwacji (2009–2011 r.), występowały niekorzystne warunki meteorologiczne, trwające w dłuższych bądź krótszych okresach, objawiające się brakiem lub nadmiarem opadów atmosferycznych oraz niekorzystnymi warunkami termicznymi powietrza. W okresie tym, odnotowano warunki hydrotermiczne skrajnie wilgotne w październiku 2009 r. i w sierpniu a także we wrześniu 2010 r., bardzo wilgotne w maju 2010 r. i w lipcu 2011 r., natomiast skrajnie suche w kwietniu 2009 r. i w październiku 2010 r., bardzo suche we wrześniu 2009 r., i w czerwcu 2010 r. oraz we wrześniu 2011 r. (tab.3). Warunki hydrotermiczne w wymienionych dziesięciu miesiącach uznano za ekstremalnie niekorzystne dla wegetacji roślin, które mogły się przyczynić do obniżenia wysokości plonów badanych roślin. Porównując okresy od IV do X z trzech lat badań stwierdzić można, że wymienione okresy były podobne w dwóch latach tj. 2009 i 2011, a ich warunki hydrotermiczne, zakwalifikowano jako optymalne. Warunki hydrotermiczne w okresie od IV do X 2010 r. uznano za wilgotne.

Średnie plony z trzech lat, wszystkich badanych roślin (tab. 4), były najmniejsze na podłożu kontrolnym (0 – same odpady). Najniższą plonującą rośliną na podłożu 0 była *Salix viminalis*, której średnia wydajność z trzech lat badań wynosiła $1,0 \text{ g s.m.}\cdot\text{m}^{-2}$, nieco większą wydajność charakteryzował się *Helianthus tuberosus* ($7 \text{ g s.m.}\cdot\text{m}^{-2}$), a najwyższą plonowały mieszanki traw z koniczą M-1 i M-2, odpowiednio $209 \text{ g s.m.}\cdot\text{m}^{-2}$ i $220 \text{ g s.m.}\cdot\text{m}^{-2}$. *Miscanthus giganteus*

Tabela 3. Zawartości makroelementów ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w roślinach, średnie z lat 2009 – 2011Table 3. Contents of macroelements ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ DM) in plants means from years 2009 – 2011

Gatunek <i>Species</i>	Makro- element <i>Macro- element</i>	Podłoże – <i>Substrate</i>						
		0*	I	II	III	IV	V	VI
<i>Helianthus tuberosus</i> (łodygi wraz z liśćmi – <i>stems with leaves</i>)	N	8,7 ¹	9,0 ¹	10,2	8,6	10,3	9,0	10,2 ²
	P	1,7 ¹	1,5 ¹	1,5	1,4	1,7	1,6	1,3 ²
	K	8,2 ¹	6,5 ¹	9,1	8,8	11,4	11,2	10,6 ²
<i>Miscanthus giganteus</i>	N	8,0	8,8	8,7	8,7	8,8	9,0	8,3
	P	1,4	1,4	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3
	K	6,5	6,4	6,0	5,7	6,5	6,4	6,3
<i>Salix viminalis</i>	N	6,1	9,7	9,2	13,6	11,5	10,5	9,3
	P	0,7	2,2	2,0	1,9	1,7	1,8	1,6
	K	6,8	6,7	7,3	7,2	8,7	8,6	7,2
<i>Spartina pectinata</i>	N	7,1	7,2	7,5	6,6	6,7	7,6	6,5
	P	1,1	1,0	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1
	K	6,1	6,1	5,7	5,8	5,3	5,3	4,9
Mieszanka – <i>Mixture</i> M-1**	N	11,7	12,1	13,6	16,5	12,6	15,6	16,2
	P	2,4	2,6	2,5	2,7	2,5	2,2	2,2
	K	11,3	13,3	12,8	15,5	12,9	12,6	10,4
Mieszanka – <i>Mixture</i> M-2	N	9,2	9,2	11,9	11,9	10,1	13,8	8,0
	P	1,7	1,9	1,9	2,0	2,0	1,8	1,4
	K	6,8	8,6	8,3	8,3	9,2	6,9	4,4

¹ – zawartość z 2009 – *content from 2009*, ² – średnia zawartość z 2009 i 2011 – *mean content from 2009 and 2011*

*, ** – objaśnienia jak w tabeli 2 – *explanation see table 2*

Tabela 4. Plon badanych roślin ($\text{g s.m.}\cdot\text{m}^{-2}$)Table 4. Yield of studied plants ($\text{g DM}\cdot\text{m}^{-2}$)

Gatunek – <i>Species</i>	Rok – <i>Year</i>	Podłoże – <i>Substrate</i>						
		0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Helianthus tuberosus</i> (łodygi wraz z liśćmi – <i>stems with leaves</i>)	2009	22	61	43	73	85	58	55
	2010	0	0	34	58	67	46	44
	2011	0	0	160	220	310	180	0
	średnia – <i>mean</i>	7	20	79	117	154	95	33

Tabela 4. cd.
Table 4. cont

Gatunek – <i>Species</i>	Rok – <i>Year</i>	Podłoże – <i>Substrate</i>						
		0	I	II	III	IV	V	VI
<i>Miscanthus giganteus</i>	2009	35	103	95	53	39	39	31
	2010	25	80	71	41	27	30	23
	2011	100	100	260	540	380	140	220
	średnia – <i>mean</i>	53	94	142	211	149	70	91
<i>Salix viminalis</i>	2009	2	12	21	6	5	14	19
	2010	1	10	6	4	4	11	15
	2011	0	220	580	420	20	70	4
	średnia – <i>mean</i>	1,0	81	202	143	10	32	13
<i>Spartina pectinata</i>	2009	37	120	103	96	77	71	57
	2010	30	94	82	76	61	56	45
	2011	20	170	140	640	440	220	80
	średnia – <i>mean</i>	29	128	108	271	193	116	61
Mieszanka – <i>Mixture</i> M-1**	2009	22	59	53	64	61	22	27
	2010	156	440	802	798	383	379	341
	2011	450	570	420	430	810	710	520
	średnia – <i>mean</i>	209	356	425	431	418	370	296
Mieszanka – <i>Mixture</i> M-2	2009	18	54	47	7	29	0,2	3
	2010	161	508	950	946	439	393	343
	2011	480	910	600	1320	1690	1190	250
	średnia – <i>mean</i>	220	491	532	758	719	528	199

*, ** – objaśnienia jak w tabeli 2 – *explanation see table 2*

i *Spartina pectinata* osiągnęły najwyższą wydajność na podłożu III (odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + słoma). Ich średni plon z trzech lat wyniósł odpowiednio 211 i 271 g s.m.·m⁻². Uzyskane plony są relatywnie niskie w porównaniu do danych literaturowych [Kabała i in. 2010, Kuś i Matyka 2009, Lisowski i Porwisiak 2010], co można wytłumaczyć niekorzystnymi warunkami siedliskowymi i meteorologicznymi trwającymi w dłuższych bądź krótszych okresach prowadzenia doświadczenia, jak również tym, że *Miscanthus giganteus* i *Spartina pectinata*, pełnię plonowania osiągają dopiero w 3–5 roku uprawy na glebach użytkowanych rolniczo [Chołuj i in. 2008], a na badanym przemysłowym obiekcie, pełne plonowanie będzie osiągane jeszcze później.

W okresie 2009–2011 najwyżej plonującymi roślinami w okazały się mieszanki traw z koniczą M-1 i M-2. Mieszanka *Lolium perenne*, *Poa pratensis* i *Lotus corniculatus* (M-1) wydała najwyższy średni plon z trzech lat w ilości 431 g s.m.·m⁻² na podłożu III, ale porównywalne plony uzyskano również na podłożu II (odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + trociny)

i IV (odpady flotacyjne + słoma), odpowiednio 425 i 418 g s.m. \cdot m⁻² (tab. 4). Największy średni plon z okresu trzech lat mieszanki (M-2) (*Panicum virgatum* z *Lotus corniculatus*) odnotowano na podłożu III w ilości 758 g s.m. \cdot m⁻². Nieco mniejszy średni plon w ilości 719 g s.m. \cdot m⁻², zebrano na podłożu IV. *Helianthus tuberosus* najwyższy średni plon z trzech lat osiągnął na poziomie 154 g s.m. \cdot m⁻² na podłożu IV, natomiast *Salix viminalis* 202 g s.m. \cdot m⁻², osiągnęła na podłożu II.

W uprawach *Helianthus tuberosus* i *Salix viminalis* odnotowano całkowite wyginiecia roślin na większości mikropoletk. Brak roślin *Helianthus tuberosus*, odnotowano na trzech powtórzeniach w 2010 r. na mikropoletkach z podłożem 0 i I, a w roku 2011 na podłożu VI. W roku 2011 rośliny *Salix viminalis* wyginęły na mikropoletkach z samym tylko odpadem flotacyjnym (0).

Z porównania wysokości plonów badanych roślin, na zmodyfikowanych podłożach (I–VI), o podobnych optymalnych warunkach hydrotermicznych, jakie były w okresie od IV do X 2009 r. i 2011 r. wynika, że na większości podłoży następował wzrost plonowania w roku 2011 w stosunku do roku 2009. Wyjątkiem było tylko podłoże VI (odpady flotacyjne + słoma + trociny), na którym około pięciokrotnie spadł plon *Salix viminalis*. Tłumaczyć to można między innymi niedostosowaniem się roślin do warunków siedliskowych podłoża, ulepszonego słomą i trocinami. Warunki hydrotermiczne uznane za wilgotne w okresie od IV do X 2010 r. spowodowały spadki plonów *Helianthus tuberosus*, *Miscanthus giganteus*, *Salix viminalis* i *Spartina pectinata* na wszystkich siedmiu podłożach. Jedynie mieszanki traw z konicą M-1 i M-2 wykazały się wyższymi plonami na wszystkich podłożach.

Analizując średnie plony roślin z trzech lat badań stwierdzić można, że najlepszym podłożem dla wzrostu i rozwoju *Miscanthus giganteus* i *Spartina pectinata* było podłoże III, utworzone z odpadów z dodatkiem piasku i żwiru oraz słomy. *Salix viminalis* największy średni plon z trzech lat wydał na podłożu II, w skład którego wchodził odpad z dodatkiem piasku i żwiru oraz trocin. Natomiast *Helianthus tuberosus* najlepiej rozwijał się na podłożu utworzonym z odpadu z dodatkiem słomy. Mieszanki i traw z konicą M-1 i M-2, najwyższe plony wydały na podłożu III (odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + słoma), ale również zadawalające plony uzyskano na podłożach IV i II.

Analiza wariancji przeprowadzona osobno dla roślin i modyfikowanych podłoży nie wykazała istotności różnic. Wynika to z dużej rozpiętości w wielkości uzyskanych wyników a te wynikają ze specyficznych cech porównywanych roślin i podłoży.

WNIOSKI

1. Uzyskane wyniki badań pozwalają zaliczyć do najbardziej przydatnych do rekultywacji i produkcji biomasy: mieszankę *Panicum virgatum* i *Lotus corniculatus* (M-2), oraz mieszankę (M-1) *Lolium perenne*, *Poa pratensis* i *Lotus corniculatus* a w dalszej kolejności *Spartina pectinata*, *Miscanthus giganteus*, *Helianthus tuberosus* i *Salix viminalis*.
2. Przeprowadzone trzyletnie badania pozwalają stwierdzić, że najskuteczniej stymulującymi wzrost i rozwój roślin doświadczalnych podłożami, okazały się podłoża nr III (odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + słoma), IV (odpady flotacyjne + słoma) i II (odpady flotacyjne + piasek ze żwirem + trociny), natomiast najgorzej plonowały badane rośliny na podłożu 0 (same odpady) i na podłożu VI (odpady flotacyjne + słoma + trociny).
3. Przydatność wszystkich zmodyfikowanych podłoży do uprawy roślin użytych w doświadczeniu, określić można według następującej kolejności III < IV < II < V < I < VI.
4. Zawartość makroelementów w roślinie była wyraźnie skorelowana z jej zawartością w podłożu i potencjalnymi możliwościami roślin do ich gromadzenia oraz plonem biomasy.

PIŚMIENNICTWO

- Bartoszek K., Banasiewicz I. 2007. Agrometeorologiczna charakterystyka okresu wegetacyjnego 2005 w rejonie Lublina na tle wielolecia 1951–2005. *Acta Agrophys.* 9(2): 275–283.
- Borkowska H., Lipiński W. 2007. Zawartość wybranych pierwiastków w biomasie kilku gatunków roślin energetycznych. *Acta Agrophys.* 10(2): 287–292.
- Celińska A. 2009. Charakterystyka różnych gatunków upraw energetycznych w aspekcie ich wykorzystania w energetyce zawodowej. *Pol. Energ.* 12(2/1): 59–72.
- Chodak T., Kaszubkiewicz J., Mizera A. 2005. Badania wartości glebotwórczej odpadów flotacyjnych i składowiska skały płonnej K-I w rejonie Iwin w aspekcie ich podatności na zabiegi rekultywacyjne. *Cuprum* 1: 57–95.
- Chołuj D., Podlaski S., Wiśniewski G., Szmalec J. 2008. Kompleksowa ocena biologicznej przydatności 7 gatunków roślin wykorzystywanych na cele energetyczne. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 11: 81–99.
- Gawron M., Chodak T., Szerszeń L. 2007. Wybrane właściwości osadów poflotacyjnych ze zbiornika „Konrad” nr 1 w Iwinach z uwzględnieniem ich przydatności do rekultywacji biologicznej. *Zesz. Nauk. Uniw. Zielon.* 133, Ser. Inż. Środ. 13: 95–102
- Hutorowicz H., Grabowski J., Olba-Zięty E. 2008. Częstotliwość występowania okresów posusznych i suchych w dwóch mezoregionach Pojezierza Mazurskiego. *Acta Agrophys.* 12(3): 663–673.
- Kabała C., Karczewska A., Kozak M. 2010. Przydatność roślin energetycznych do rekultywacji i zagospodarowania gleb zdegradowanych. *Zesz. Nauk. UP Wrocław* 576, Rol. 46: 97–118.
- Kościk B. 2007. Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego. *Wyd. Nauk. PWSZ Jarosław*: ss. 66.
- Kowalczyk-Juško A. 2010. Redukcja emisji zanieczyszczeń dzięki zastąpieniu węgla biomasą spartiny preriowej. *Probl. Inżyn. Rol.* 4: 69–77.
- Krajewski J., Basińska M., Horodecki W. 1998. Problemy rekultywacji składowisk odpadów z flotacji rud miedzi. W materiałach polsko-niemieckiej konferencji naukowo-technicznej pt. *Rekultywacja i ochrona środowiska w regionach górniczo-przemysłowych. Część I.* *Wyd. Tow. Przyj. Nauk, Legnica*: 130–141.
- Krzaklewski W. 1988. Leśna rekultywacja i biologiczne zagospodarowanie nieużytków przemysłowych. *Wyd. AR Kraków*: ss.106
- Kuś J., Matyka M. 2009. Wydajność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w zależności od jakości gleby. *Fragm. Agron.* 26(4): 103–110.
- Lisowski J., Porwisiak H. 2010. Wpływ nawożenia osadami na plon miskanta (*Miscanthus giganteus*). *Fragm. Agron.* 27(4): 194–101.
- Madej M., Siuta J., Wasiak G. 2010. Zieleni Warszawy źródłem surowca do produkcji kompostu. Część II. Skład chemiczny mas roślinnych z różnych powierzchni zieleni warszawskiej. *Inż. Ekol.* 23: 22–36. *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.* 2007. Wydanie 2. KGHM CUPRUM, CBR Wrocław: ss.1080.
- Mazur W. 2002. Czynniki ograniczające wprowadzenie roślinności drzewiastej na zbiorniki odpadów flotacyjnych KGHM Polska Miedź S.A. *Mat. Symp. „Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe”.* Siwicki R. (red.), Poznań-Kórnik, 2: 585–594.
- Ociepa A., A., Lach J., Gałczyński Ł. 2008. Korzyści i ograniczenia wynikające z zagospodarowania gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi pod uprawy roślin przemysłowo-energetycznych. *Proceed. EC Opolo* 2(1): 231–235.
- Skowera B., Puła J. 2004. Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. *Acta Agrophys.* 3(1): 171–177.
- Tasz W., 2005. Darniotwórczy sposób stabilizacji zboczy składowisk odpadów z flotacji rud miedzi. *Mat. Konf. „Rekultywacja Środowisk Zdegradowanych”.* Lublin 30–31 sierpnia 2005: 78–86.
- Tasz W., Kordas L. 2010. Możliwości zasiedlenia roślinami energetycznymi nieczynnych składowisk odpadów z flotacji rud miedzi. *Cuprum* 1: 65–75.
- Wrzosek J., Gawroński St., Gworek B. 2008. Zastosowanie roślin energetycznych w technologii fitoremediacji. *Ochr. Środ. Zas. Nat.* 37: 139–151.

L. KORDAS, W. TASZ

**YIELDING AND CONTENT OF MACROELEMENTS OF SELECTED ENERGY CROPS
GROWN ON MODIFIED BY ADDITION OF MINERAL AND ORGANIC FROM FLOTATION
TAILINGS OF COPPER ORES**

Summary

Two factorial microplot experiment with selected energy crops and varying methods of post-flotation wastes reclamation consist in addition of mineral and organic materials was conducted in 2009–2011 on one of the oldest flotation waste stockpile of copper ores in Iwiny “KONRAD” no. 1. Three-year studies have shown that the most useful crops for reclamation and biomass production are: mixture of *Panicum virgatum* with *Lotus corniculatus* (M-2) and mixture of *Lolium perenne*, *Poa pratensis* and *Lotus corniculatus* and following: *Spartina pectinata*, *Miscanthus giganteus*, *Helianthus tuberosus* and *Salix viminalis*, and the most stimulating ground for growth and development of crops were substrates no. III (flotation tailings + sand with gravel + straw), IV (flotation tailings + straw) and II (flotation tailings + sand with gravel + sawdust).