

KRYSTYNA CIARKOWSKA<sup>1</sup>, EWA HANUS-FAJERSKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

<sup>2</sup>Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

## PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNYCH I BIOLOGICZNYCH MATERIAŁÓW POFLOTACYJNYCH OBSADZONYCH ZRÓŻNICOWANYM MATERIAŁEM ROŚLINNYM

### COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF POST-FLOATATION MATERIALS PLANTED WITH DIVERSIFIED PLANT MATERIAL

**Streszczenie.** Celem pracy było porównanie wpływu materiału roślinnego, stosowanego w trakcie biologicznej rekultywacji zwałowiska materiałów po flotacji rud cynku i ołowiu, na wybrane właściwości fizyczno-chemiczne i biologiczne podłoża. Sposób zagospodarowania skarpy osadnika wywierał wpływ na zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w próbach podłoża pobranych z badanych stanowisk. Nagromadzenie tych pierwiastków oznaczono w podłożach porośniętych darnią pochodzącą z hydroobsiewu oraz w podłożu porośniętym w wyniku 10-letniej sukcesji. Pędy *Prunus spinosa*, charakteryzowały się większym stopniem akumulacji kadmu, ołowiu i cynku niż rośliny z rodziny *Poaceae*. Aktywność ureazy była wprost proporcjonalna do stopnia pokrycia powierzchni stanowiska przez rośliny, dlatego największą aktywnością omawianego enzymu charakteryzowało się podłoże skarpy porośniętej darnią powstałą w wyniku sukcesji. Rezultaty doświadczenia wskazały na możliwości zastosowania *Prunus spinosa* do rekultywacji biologicznej skarpy osadnika materiałów poflotacyjnych.

**Słowa kluczowe:** osadnik materiałów po flotacji rud cynku i ołowiu, metale ciężkie, aktywność ureazy, *Prunus spinosa*

## Wstęp

Na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej występują bogate złoża rud cynkowo-olowiowych w trzech regionach: bytomskim, olkuskim i chrzanowskim. W regionie olkuskim wydobycie i przerób rud cynku i ołowiu trwają nieprzerwanie od trzynastego wieku aż do dziś. Zanieczyszczenie metalami ciężkimi gruntów i wód tego obszaru oraz przekształcenia geomechaniczne terenu w postaci hałd i wyrobisk spowodowały znaczną degradację środowiska (CABAŁA 1996, LISZKA i ŚWIC 2004). Od połowy ubiegłego wieku wydobycie i przerób cynku prowadzą Zakłady Górniczo-Hutnicze „ZGH Bolesław” z siedzibą w Bukownie, które na mocy prawa zobowiązane są do rekultywacji zdegradowanych obszarów. Poważny problem stanowi tu zabezpieczenie zwałowisk materiałów poflotacyjnych – ze względu na ich silne skażenie metalami ciężkimi, niewielką pojemność wodną oraz dużą podatność na erozję wietrzną i wodną. Utrudnia to rozwój pokrywy roślinnej na tego rodzaju podłożu (KRZAKLEWSKI i PIETRZYKOWSKI 2002, ALVAREZ i IN. 2003). Utworzenie pokrywy roślinnej na tych terenach jest niezbędnym warunkiem stabilizacji podłoża, a przy odpowiednim doborze materiału roślinnego może być równocześnie pierwszym etapem remediacji, prowadzącym do oczyszczenia z toksycznych metali i umożliwiającym odtworzenie ekosystemów.

Jednym ze sposobów rekultywacji terenów silnie zanieczyszczonych metalami ciężkimi jest fitoremediacja, a zwłaszcza technologie fitoekstrakcji oraz fitostabilizacji metali, z wykorzystaniem lokalnych metalofitów i hiperakumulatorów metali ciężkich oraz innych gatunków roślin zielnych (DAHMANI-MULLER i IN. 2000, SCHWARTZ i IN. 2001). Prowadzone są również badania możliwości fitoremediacji terenów położonych w rejonie górnictwa i hutnictwa metali kolorowych z użyciem roślin drzewiastych (RĄCZKA i GAWROŃSKI 2004, LORENC-PLUCIŃSKA i STOBRAWA 2005, DOMINGUEZ i IN. 2009). Podejmowano próby określenia efektywności rekultywacji materiałów poflotacyjnych deponowanych przez Zakłady Górniczo-Hutnicze „Bolesław” w Bukownie, które prowadzone były w zarówno formie doświadczeń wazonowych, jak i doświadczeń polowych (KRZAKLEWSKI i PIETRZYKOWSKI 2002, CIARKOWSKA i HANUS-FAJERSKA 2008) oraz zabiegów stosowanych przez ZGH „Bolesław”, polegających na hydroobsiewie pólki i skarp osadnika mieszaną traw (UCHWAŁA... 2005).

Aktywność enzymatyczna ryzosfery wykorzystywana jest zarówno do oceny stopnia rozwoju industrioziemów, jak i jako istotne kryterium stopnia rozwoju życia biologicznego w gruntach pogórnicznych (BIELIŃSKA i IN. 2000). Ureaza to enzym zewnątrzkomórkowy, a zatem jego aktywność jest z reguły ściśle związana z właściwościami gleby, takimi jak zawartość części spławialnych, pojemność kompleksu sorpcyjnego, zawartość azotu ogólnego i węgla organicznego (KOBUS 1995).

Celem pracy było:

- porównanie wpływu materiału roślinnego stosowanego w trakcie biologicznej rekultywacji zwałowiska materiałów poflotacyjnych na wybrane właściwości fizyczno-chemiczne i biologiczne podłoża poddawanego temu zabiegowi,
- porównanie możliwości utworzenia pokrywy roślinnej na badanych stanowiskach osadnika materiałów po flotacji rud cynku i ołowiu.

## Material i metody

Obiektem badań był osadnik materiałów poflotacyjnych. Składowisko materiałów poflotacyjnych to ostatni element ciągu technologicznego przetwórstwa rud cynkowo-ołowiowych. Powstałe materiały odpadowe deponowane są na stawach osadowych od 1979 roku, ich łączna powierzchnia wynosi około 110 ha, a masa sięga około 50 mln ton. Odpady poflotacyjne w postaci pulpy za pomocą hydrotransportu kierowane są na szczyt zwałowiska, który stanowią stawy osadowe, gdzie poddaje się je odwodnieniu (UCHWAŁA... 2005).

Badania prowadzono w 2009 roku na tarasowanym zboczu skarpy osadnika materiałów poflotacyjnych o wystawie wschodniej i nachyleniu stoku 15°. W badaniach uwzględniono cztery stanowiska, każde z nich o powierzchni 10 m<sup>2</sup>. Pierwsze stanowisko (1H) obejmowało tarasowane zbocze skarpy, na którym uprzednio wysiano za pomocą hydroobsiewu mieszankę traw z udziałem *Agrostis* sp., *Lolium* sp., *Festuca* sp. (Poaceae), wzbogaconą słomą i osadami ściekowymi stanowiącymi źródło substancji organicznej. Stanowisko drugie (2T) zlokalizowane było na usytuowanym na tarasie zbocza skarpy poletku doświadczalnym, obsadzonym w roku 2006 dwuletnimi sadzonkami śliwy tarniny (*Prunus spinosa*, Rosaceae) w rozstawie 50 × 50 cm. Stanowisko trzecie (3S) wyznaczono na zadarnionej skarpie. Pokrywa roślinna skarpy została wytworzona w wyniku co najmniej dziesięcioletniej sukcesji. Roślinność tego obszaru stanowiły głównie rośliny zielne z rodziny wiechlinowatych (Poaceae), z niewielkim udziałem roślin bobowatych (Fabaceae) – przelot pospolity (*Anthyllis vulneraria*), a także goździkowatych (Caryophyllaceae) – lepnica rozdęta (*Silene vulgaris*) i goździk kartuzek (*Dianthus carthusianorum*). Próbę porównawczą stanowił materiał poflotacyjny pochodzący ze skarpy niepokrytej roślinnością (stanowisko 4K). Na każdym badanym stanowisku (1H, 2T, 3S, 4K) pobrano po pięć prób podłoża z głębokości 0-20 cm, z punktów równomiernie rozmieszczonych na badanym terenie. Z prób indywidualnych utworzono próbę zbiorczą, reprezentatywną dla danego stanowiska. Ze stanowisk 1H, 2T i 3S pobrano również po pięć prób materiału roślinnego pochodzącego z części nadziemnych roślin porastających te stanowiska, z którego również utworzono próby zbiorcze reprezentatywne dla danego stanowiska. W trakcie badań terenowych przeprowadzono szacunkową ocenę stopnia pokrycia powierzchni danego stanowiska przez roślinność. Próby podłoża i roślin ze stanowiska 1H pobrano po trzech latach od zastosowania hydroobsiewu, a ze stanowiska 2T po analogicznym czasie, czyli trzy lata od momentu przeprowadzenia nasadzeń śliwy.

Próby podłoża i próby materiału roślinnego pobierano w maju 2009. Aktywność ureazy oznaczono również w próbach podłoża pobranych dodatkowo w październiku tego samego roku. Rezultaty oznaczeń są średnimi wartościami uzyskanymi w terminie jesiennym i wiosennym. W materiale stanowiącym podłoże przeprowadzono następujące analizy: składu granulometrycznego metodą areometryczno-sitową, według POLSKICH NORM (1998), pH gleby w zawiesinie z 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> metodą potencjometryczną (LITYŃSKI i IN. 1976), a zawartość węgla organicznego (obliczonego z różnicy zawartości węgla całkowitego i nieorganicznego) oraz azotu całkowitego oznaczono przy użyciu automatycznego analizatora węgla i azotu TOC-TN 1200 Thermo Euroglas. Zawartość całkowitą cynku, ołowiu i kadmu oznaczono po wytrawieniu próbek gleb w mieszaninie stężonych kwasów azotowego i nadchlorowego w stosunku 2:1

(OSTROWSKA i IN. 1991). Zawartość metali w tak uzyskanych roztworach została oznaczona spektrometrem emisji atomowej z indukcyjnie wzbudzoną plazmą argonową ICP-AES JY 238 ULTRACE, z wykorzystaniem wielopierwiastkowego roztworu standardowego ICP-IV Mercka. Dokładność metod analitycznych weryfikowano w odniesieniu do certyfikowanego materiału referencyjnego GSS-8 (GBW 07408 – State Bureau of Metrology, Beijing, China). Do oznaczenia aktywności ureazy zastosowano metodę Kandeler i Gerber, stosując roztwór mocznika jako substrat. Oznaczeń dokonano przy użyciu spektrometru Beckman DU 600, przy długości fali 690 nm (ALEF i NANNIPIERI 1995). Wszystkie oznaczenia wykonane zostały w trzech powtórzeniach, a wyniki wyrażono w przeliczeniu na powietrznie suchą masę podłoża. W celu oznaczenia zawartości cynku, ołowiu i kadmu w materiale roślinnym pobrane próby pedów dokładnie umyto wodą destylowaną, wysuszono w 105°C do stałej wagi, zmielono i spopielono w temperaturze 450°C. Sporządzone naważki były wytrawione w mieszaninie stężonych kwasów azotowego i nadchlorowego, a zawartość badanych metali oznaczona została analogicznie jak dla prób podłoża.

Uzyskane wyniki zostały przedstawione w tabelach, w formie średnich arytmetycznych i odchyłeń standardowych wartości średnich. Dla wybranych parametrów wyliczono wartość współczynnika korelacji liniowej ( $r$ ) Pearsona. Wszystkie obliczenia statystyczne wykonano za pomocą pakietu Statistica w. 8 PL.

## Wyniki

Materiały poflotacyjne zawierają około 70% dolomitu, co determinuje ich zasadowy odczyn. Odczyn badanych próbek podłoża wszystkich stanowisk mieścił się w granicach pH 7,5-7,8, przy czym największa wartość występowała na stanowisku 4K, które nie było porośnięte roślinnością, a najmniejsza wartość pH – na stanowisku 3S pokrytym zwartą darnią, co świadczy o lekko zakwaszającym wpływie wydzielin korzeniowych. Uziarnienie materiałów poflotacyjnych, oznaczone w próbach ze wszystkich badanych stanowisk, było bardzo wyrównane i pozwoliło na ich zakwalifikowanie, zgodnie z POLSKIMI NORMAMI (1998), do pyłów piaszczystych. Jest to rodzaj utworów, który charakteryzuje się dużą podatnością na procesy erozyjne. Sposób zagospodarowania skarp osadnika miał wpływ na zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w próbach podłoża pobranych z badanych stanowisk. Pewne nagromadzenie węgla organicznego ( $1,53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) stwierdzono w próbach podłoża pobranych na stanowisku 1H, gdzie przeprowadzono hydroobsiew mieszaną traw oraz na stanowisku 3S, na którym darń wytworzona została w wyniku 10-letniej sukcesji ( $1,63 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), podczas gdy w próbach pobranych z pozostałych stanowisk zawartość węgla organicznego wynosiła poniżej  $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . W przypadku stanowiska 1H większa zawartość węgla organicznego wynikała zapewne z wprowadzenia substancji organicznej w postaci nawozu i słomy w czasie hydroobsiewu, natomiast na stanowisku 3S węgiel organiczny pochodził z resztek rozkładających się roślin i został wytworzony *in situ*, o czym świadczy najmniejszy stosunek C:N oznaczony w tym przypadku (tab. 1).

W próbach podłoża pobranych ze wszystkich badanych stanowisk oznaczono bardzo duże zawartości cynku, ołowiu i kadmu, przekraczające wartości dopuszczalne dla terenów przemysłowych i użytków kopalnych, określone w ROZPORZĄDZENIU... (2002)

Tabela 1. Właściwości fizyczno-chemiczne i biologiczne badanych stanowisk (wartości średnie  $\pm$ odchylenie standardowe)Table 1. Physico-chemical and biological properties of studied sites (mean values  $\pm$ standard deviation)

Właściwości Properties	Stanowiska – Sites			
	1K	2H	3T	4S
pH	7,8 $\pm$ 0,1	7,7 $\pm$ 0,1	7,6 $\pm$ 0,1	7,5 $\pm$ 0,1
Zawartość frakcji < 0,025 mm (%) Fraction content < 0.025 mm (%)	34,3 $\pm$ 0,5	34,0 $\pm$ 0,1	33,1 $\pm$ 0,1	33,0 $\pm$ 0,2
C <sub>org</sub> (g·kg <sup>-1</sup> ) C <sub>org</sub> (g·kg <sup>-1</sup> )	0,68 $\pm$ 0,01	1,53 $\pm$ 0,02	0,97 $\pm$ 0,01	1,63 $\pm$ 0,02
N <sub>og</sub> (g·kg <sup>-1</sup> ) N <sub>tot</sub> (g·kg <sup>-1</sup> )	0,03 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01	0,12 $\pm$ 0,01
C:N	22,6	17,0	24,3	13,5
Zn podłoże (mg·kg <sup>-1</sup> ) Zn bedrock (mg·kg <sup>-1</sup> )	10 884 $\pm$ 1,5	8 279,7 $\pm$ 0,1	7 196,0 $\pm$ 0,1	8 586,5 $\pm$ 0,1
Zn roślina (mg·kg <sup>-1</sup> )* Zn plant (mg·kg <sup>-1</sup> )*	–	217,52 $\pm$ 1,08	436,72 $\pm$ 1,03	1 826,9 $\pm$ 1,1
Pb podłoże (mg·kg <sup>-1</sup> ) Pb bedrock (mg·kg <sup>-1</sup> )	6 098,3 $\pm$ 1,01	3 406,2 $\pm$ 0,5	2 877,6 $\pm$ 1,1	3 818,5 $\pm$ 1,0
Pb roślina (mg·kg <sup>-1</sup> ) Pb plant (mg·kg <sup>-1</sup> )	–	126,79 $\pm$ 1,01	186,72 $\pm$ 1,09	240,74 $\pm$ 1,04
Cd podłoże (mg·kg <sup>-1</sup> ) Cd bedrock (mg·kg <sup>-1</sup> )	87,0 $\pm$ 1,0	74,45 $\pm$ 0,01	66,21 $\pm$ 0,1	79,40 $\pm$ 0,1
Cd roślina (mg·kg <sup>-1</sup> ) Cd plant (mg·kg <sup>-1</sup> )	–	1,15 $\pm$ 0,01	2,99 $\pm$ 0,09	7,72 $\pm$ 0,01
Pokrycie powierzchni terenu roślinnością (%) Plant cover of surface area (%)	0 $\pm$ 1	20 $\pm$ 1	10 $\pm$ 1	50 $\pm$ 2
Aktywność ureazy N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> ) Urease activity N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	8,45 $\pm$ 0,01	16,79 $\pm$ 0,05	11,48 $\pm$ 0,01	29,51 $\pm$ 0,06

\*Zawartość metalu w częściach nadziemnych.

\*Content of metal in upperground parts.

w sprawie standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi: w odniesieniu do zawartości cynku – od 7- do 10-krotnie, ołowiu – od 4,8- do 10-krotnie, kadmu – od 4,5- do 5-krotnie. Największe przekroczenia dopuszczalnych zawartości stwierdzono w próbach materiałów poflotacyjnych skarpy nieporośniętej roślinnością, a najmniejsze

w materiale poflotacyjnym stanowiącym podłoże dla testowanego gatunku śliwy. Zawartości cynku, ołowiu i kadmu oznaczone w pędach roślin zebranych na stanowiskach 1H, 2T i 3S układały się w kolejności  $1H < 2T < 3S$  dla trzech oznaczanych metali, przy czym akumulacja Zn, Pb i Cd w pędach roślin pobranych ze stanowiska 3S – czyli darni wytworzonej na drodze sukcesji – była kilkukrotnie większa niż w pędach roślin pozostałych stanowisk. Niewątpliwie przyczyną nagromadzenia tak dużej ilości metali ciężkich w roślinach stanowiska 3S był przeszło trzykrotnie dłuższy okres, w którym następowała akumulacja metali w roślinach (10 lat). Rośliny porastające stanowiska 1H i 2T, czyli odpowiednio mieszanka traw pochodząca z hydroobsiewu oraz gatunek rośliny drzewiastej, rosły na badanych stanowiskach przez trzy lata. Należy zwrócić uwagę na większy stopień akumulacji oznaczanych metali w pędach badanego gatunku z rodziny Rosaceae niż w roślinach klasyfikowanych w obrębie rodziny Poaceae. Niedobór węgla i azotu, wahania odczynu i skażenie substancjami toksycznymi to czynniki ograniczające rozwój mikroflory glebowej, co utrudnia, a czasem wręcz uniemożliwia rozwój roślin wyższych. Aktywność ureazy była wprost proporcjonalna do stopnia pokrycia powierzchni stanowiska przez rośliny. Największą aktywnością omawianego enzymu – wynoszącą  $29,51 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , charakteryzowało się podłoże skarpy porośniętej darnią powstałą w wyniku sukcesji, a najmniejszą aktywność tego enzymu oznaczono w materiale skarpy pozbawionej roślinności ( $8,45 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Aktywność ureazy była silnie dodatnio skorelowana z zawartością węgla organicznego, azotu ogólnego i pokryciem powierzchni badanego terenu przez rośliny (tab. 2). Zależności między aktywnością ureazy a zawartością całkowitą cynku, ołowiu i kadmu w podłożu były statystycznie nieistotne. Bardzo istotne statystycznie dodatnie zależności stwierdzono natomiast między aktywnością omawianego enzymu a zawartością Zn, Pb i Cd w częściach nadziemnych roślin porastających badany teren (tab. 2), co wskazuje na to, że obecność roślin akumulujących metale przyczynia się do wzrostu aktywności biologicznej podłoża.

Tabela 2. Współczynniki korelacji prostej, opisujące zależności między poziomami aktywności ureazy a wybranymi właściwościami podłoża

Table 2. Simple correlation coefficients describing relations between levels of urease activity and selected substrate properties

	Frakcja < 0,025 mm Fraction < 0.025 mm	pH	C <sub>org</sub>	N <sub>og</sub> N <sub>tot</sub>	Zn	Pb	Cd	Pokrycie terenu roślinnością Plant cover of surface area
Aktywność ureazy Urease activity	-0,5028*	-0,6344**	0,9886***	0,8719***	-0,2693	-0,3491	0,17	0,9312***

\*p < 0,05, \*\*p < 0,01, \*\*\*p < 0,001.

## Dyskusja

Badane materiały poflotacyjne stanowią siedlisko pochodzenia antropogenicznego. Do czynników ograniczających wzrost roślin należy silne zanieczyszczenie podłoża metalami ciężkimi, jego mała zasobność w węgiel organiczny i azot, niewielka możliwość retencji wody, natomiast duża podatność podłoża na erozję (KRZAKLEWSKI i PIETRZYKOWSKI 2002). Zarówno z punktu widzenia ekologicznego, jak i ekonomicznego zagospodarowanie osadnika materiałów poflotacyjnych stwarza poważne problemy. W takiej sytuacji poszukuje się różnych technologii rekultywacji tego rodzaju odpadów w celu ograniczenia ich niekorzystnego wpływu na środowisko glebowe i wodne, poprawy ich właściwości, a w rezultacie umożliwienia stopniowego rozwoju gleby i wytworzenia ekosystemów. Pierwszym koniecznym zabiegiem jest przeciwoerozyjne tarasowanie zboczy, a następnie wprowadzanie traw, czyli roślin o rozległym systemie korzeniowym wydatnie zwiększających retencję wodną (PAULO 2008). Szybkie, wspomagane w postaci hydroobsiewu zadarmienie skarp ma zwykle kluczowe znaczenie dla sukcesu rekultywacji biologicznej, ponieważ przyczynia się do wzrostu zawartości węgla i azotu oraz zwiększenia aktywności mikrobiologicznej podłoża. Hydroobsiew jest jednak skazany na niepowodzenie, jeżeli nie stosuje się nawadniania, co oczywiście wydatnie zwiększa koszty, a równocześnie może powodować nasilenie spływu powierzchniowego metali ciężkich (PAULO 2008). W ostatnich latach dużym zainteresowaniem wśród ekologów cieszy się idea pozostawiania gruntów pokopalnianych naturalnej sukcesji. Mogłoby to pozwolić na wzrost taksonów wykazujących adaptację do określonych warunków wzrostu, zwiększenie bioróżnorodności oraz walorów naturalnych siedlisk. Proces tworzenia gleby na opisywanych stanowiskach przebiega jednak bardzo powoli, a nowo powstała gleba charakteryzuje się z reguły słabo rozwiniętą strukturą i jest uboga w składniki odżywcze (FROUZ 2008). Według BRADSHAWA (1997), pełne zagospodarowanie w wyniku naturalnej sukcesji silnie zdegradowanego gruntu pokopalnianego może trwać nawet do 40 lat, a głównym problemem jest migracja diaspor roślin. Często stosowanym zabiegiem w odniesieniu do jałowych podłoży, szczególnie na stokach, jest zatem obsadzanie ich roślinami drzewiastymi. Zabieg ten stosuje się w celu ich fizycznej stabilizacji, aby w efekcie ograniczyć erozję wodną i wietrzną. W tym celu powszechnie używane są gatunki z rodzajów *Salix*, *Betula*, *Populus*, *Alnus*, *Acer* (PULFORD i WATSON 2003, MEERS i IN. 2007, BORGI i IN. 2008). Drzewa te mają silny system korzeniowy, który powoduje wiązanie cząstek podłoża, a opad ściółki przyczynia się do wytworzenia poziomej akumulacji substancji organicznej na zanieczyszczonym gruncie. Konsekwencją nagromadzenia substancji organicznej jest pobudzenie aktywności mikrobiologicznej gleby. Ponadto transpiracja wody przez liście zmniejsza spływ powierzchniowy i związane z nim zanieczyszczenie metalami ciężkimi wód powierzchniowych (PULFORD i WATSON 2003). Wyniki badań SCHWARTZA i IN. (2001), dotyczące fitoekstrakcji metali, wskazują na biomasę roślin jako decydujący czynnik powodzenia tego zabiegu. W takiej sytuacji należy rozważyć możliwości stosowania drzew, w tym nowych gatunków, niewykorzystywanych dotąd w tym celu. *Prunus spinosa* stosuje się w celu stabilizacji zboczy ze względu szeroko rozrastające się korzenie oraz na tworzenie licznych pędów odroślowych, co zapewnia pokrycie powierzchni w stosunkowo krótkim czasie. Ten ekspansywny, biocenotyczny gatunek w warunkach naturalnych występuje na całym niżu i w niższych położeniach

górkich na słonecznych stanowiskach, porastając suche gleby o odczynie zasadowym (KOŚCIELNY i SĘKOWSKI 1972, SENETA i DOLATOWSKI 2009). Rezultaty doświadczenia wskazały na możliwość zastosowania tego gatunku również jako fitoekstaktora metali ciężkich. Wprawdzie w częściach nadziemnych darni powstałej w wyniku sukcesji oznaczono większe nagromadzenie badanych metali ciężkich aniżeli w pędach *Prunus spinosa*, jednak wzrost roślin *P. spinosa* odbywał się w czasie przeszło trzykrotnie krótszym w porównaniu z murawą wytworzoną przez dziesięć lat. Celowe byłoby zatem określenie możliwości akumulacji metali w organach śliwy tarniny, a także oddziaływanie tego gatunku na właściwości podłoża po co najmniej dziesięcioletnim okresie wzrostu.

## Wnioski

1. Sposób zagospodarowania skarp osadnika wywierał wpływ na zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w próbach podłoża pobranych z badanych stanowisk. Pewne nagromadzenie tych pierwiastków oznaczono w podłożach porośniętych darnią pochodzącą z hydroobsiewu oraz podłożu porośniętym w wyniku naturalnej 10-letniej sukcesji.

2. Pędy *Prunus spinosa* (rodzina Rosaceae), charakteryzowały się większym stopniem akumulacji kadmu, ołowiu i cynku niż roślin z rodziny Poaceae.

3. Aktywność ureazy była wprost proporcjonalna do stopnia pokrycia powierzchni stanowiska przez rośliny, dlatego największą aktywnością omawianego enzymu charakteryzowało się podłoże skarpy porośniętej darnią powstałą w wyniku sukcesji.

4. Rezultaty przeprowadzonego doświadczenia wskazują na możliwości zastosowania *Prunus spinosa* do rekultywacji biologicznej skarpy osadnika materiałów poflotacyjnych jako fitostabilizatora i fitoekstaktora metali ciężkich.

## Literatura

- ALEF K., NANNIPIERI P., 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London.
- ALVAREZ E., FERNÁNDEZ MARCOS M.L., VAAMONDE C., FERNÁNDEZ-SANJURJO M.J., 2003. Heavy metals in the dump of an abandoned mine in Galicia (NW Spain) and in the spontaneously occurring vegetation. Sci. Total Environ. 313, 1-3: 185-97.
- BIELIŃSKA E., WĘGOREK T., GŁOWACKA A., 2000. Zmiany aktywności enzymatycznej utworów ilastych na zalesionym zwałowisku kopalni siarki. Roczn. AR Pozn. 297, Roln. 56: 401-410.
- BORGHI M., TOGNETTI R., MONTEFORTI G., SEBASTIANI L., 2008. Responses of two poplar species (*Populus alba* and *Populus × canadensis*) to high copper concentrations. Environ. Exper. Bot. 62: 290-299.
- BRADSHAW A., 1997. Restoration of mine lands using natural processes. Ecol. Eng. 8: 225-269.
- CABAŁA J., 1996. Koncentracje pierwiastków śladowych w rudach Zn-Pb i możliwość przechożenia ich do odpadów. Pr. Nauk. GIG Ser. Konf. 13: 17-32.
- CIARKOWSKA K., HANUS-FAJERSKA E., 2008. Remediation of soil-free grounds contaminated by zinc, lead and cadmium with the use of metallophytes. Ochr. Środ. Zas. Nat. 41: 449-455.



Ciarkowska K., Hanus-Fajerska E., 2011. Porównanie właściwości fizyczno-chemicznych i biologicznych materiałów poflotacyjnych obsadzonych zróżnicowanym materiałem roślinnym. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 6, #122.

- DAHMANI-MULLER H., VAN OORT F., GÉLIE B., BALABANE M., 2000. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. *Environ. Pollut.* 109: 231-238.
- DOMINGUEZ M.T., MADRID F., MARAÑON T., MURILLO J.M., 2009. Cadmium availability in soil and retention in oak roots: Potential for phytostabilization. *Chemosphere.* 76: 480-486.
- FROUZ J., 2008. The effect of litter type and macrofauna community on litter decomposition and organic matter accumulation in post mining sites. *Biologia* 63, 2: 249-253.
- KOBUS J., 1995. Biologiczne procesy a kształtowanie żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 421a: 209-219.
- KOŚCIELNY S., SĘKOWSKI B., 1972. Drzewa i krzewy – klucze do oznaczania. PWRiL, Warszawa: 370-372.
- KRZAKLEWSKI W., PIETRZYKOWSKI M., 2002. Selected physico-chemical properties of zinc and lead ore tailings and their biological stabilization. *Water Air Soil Pollut.* 141, 1-4: 125-142.
- LISZKA J., ŚWIC E., 2004. Zakłady Górniczo-Hutnicze „Bolesław”, Dzieje-Wydarzenia-Ludzie. Oficyna Druk. Katowice, Bukowno.
- LITYŃSKI T., JURKOWSKA H., GORLACH E., 1976. Analiza chemiczno-rolnicza. Przewodnik metodyczny do analizy gleby i nawozów. PWN, Warszawa.
- LORENC-PLUCIŃSKA G., STOBRAWA K., 2005. Acclimation of poplar trees to heavy metals in polluted habitats: I. Carbohydrate metabolism in fine roots of *Populus deltoides*. *Acta Soc. Bot. Pol.* 74: 11-16.
- MEERS E., VANGRONVELD J., TACK F.M.G., VANDECASTEELE B., RUTTENS A., 2007. Potential of five willow species (*Salix* sp.) for phytoextraction of heavy metals *Environ. Exper. Bot.* 60: 57-68.
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z., 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin – katalog. Wyd. Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa.
- PAULO A., 2008. Przyrodnicze ograniczenia kierunku zagospodarowania terenów pogórnich. *Gosp. Surow. Miner.* 24, 2-3: 9-40.
- POLSKIE NORMY PN-R-04032 i PN-R-04033. 1998. Gleby i utwory mineralne. Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PULFORD I.D., WATSON C., 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. *Environ. Int.* 29: 529-540.
- RĄCZKA M., GAWROŃSKI S.W., 2004. Ocena przydatności do fitoremediacji wybranych gatunków drzew i krzewów z rodziny motylkowych. *Rocz. AR Pozn.* 356, *Ogrodn.* 37, 181-188.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. 2002. *Dz. U.* 165, poz. 1359.
- SCHWARTZ C., GÉRARD E., PERRONNET K., MOREL J.L., 2001. Measurement of *in situ* phytoextraction of zinc by spontaneous metallophytes growing on a former smelter site. *Sci. Total. Environ.* 279: 215-221.
- SENETA W., DOLATOWSKI J., 2009. *Dendrologia*. PWN, Warszawa, 287-288.
- UCHWAŁA Rady Gminy Bolesław nr XXV/226/2005 z dnia 27 stycznia 2005 w sprawie uchwalenia miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego Gminy Bolesław. 2005.

## COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF POST-FLOATATION MATERIALS PLANTED WITH DIVERSIFIED PLANT MATERIAL

**Summary.** The aim of the work was to compare the influence of plant material applied in the course of the biological reclamation of the debris of post-flotation materials on selected physico-

chemical and biological properties of substrate. A way of management of debris escarpment influenced the organic carbon and total nitrogen contents estimated in samples taken from the studied sites, a certain accumulation of these elements was estimated in substrata planted with turf coming from hydroseeding and a substrate overgrown with plants resulting from 10-year succession. *Prunus spinosa* shoots (Rosaceae family) were characterised by a higher degree of accumulation of cadmium, lead and zinc than plants from the Poaceae family. Activity of urease was directly proportional to a degree of covering the site area by plants, and therefore the greatest activity of the discussed enzyme was estimated in the substrate constituting the escarpment covered with turf formed as a result of the natural plant succession. The results of the conducted experiment indicated potential abilities of *Prunus spinosa* for the biological reclamation of the escarpment of the post-flotation materials settler.

**Key words:** settler of materials after zinc and lead ores flotation, heavy metals, urease activity, *Prunus spinosa*

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

Krystyna Ciarkowska, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie, Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, Poland, e-mail: rrciarko@cyf-kr.edu.pl

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*  
26.09.2011

*Do cytowania – For citation:*

Ciarkowska K., Hanus-Fajerska E., 2011. Porównanie właściwości fizyczno-chemicznych i biologicznych materiałów poflotacyjnych obsadzonych zróżnicowanym materiałem roślinnym. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 6, #122.