

MARCIN PIETRZYKOWSKI, WOJCIECH KRZAKLEWSKI,
BARTŁOMIEJ WOŚ*

**ZAWARTOŚĆ PIERWIASTKÓW ŚLADOWYCH (MN, ZN, CU,
CD, PB, CR) W LIŚCIACH OLSZ (ALNUS SP.) ZASTOSOWA-
NYCH JAKO GATUNKI FITOMELIORACYJNE NA SKŁADO-
WISKU ODPADÓW PALENISKOWYCH**

Streszczenie

W pracy przedstawiono koncentrację wybranych pierwiastków śladowych (Mn, Zn, Cu, Cd, Pb i Cr) w liściach olszy zielonej, szarej i czarnej, wprowadzonych doświadczalnie na składowisko odpadów paleniskowych ze spalania węgla brunatnego „Lubień” Elektrowni PGE „Belchatów” (Polska Centralna). Najbardziej podatnymi pierwiastkami na kumulację przez olsze były cynk i mangan oraz miedź. Akumulacja pozostałych metali (chromu, ołowiu i kadmu) była bardzo niska. Stwierdzono, że wzrastająca w warunkach osadnika olsza szara charakteryzowała się, w porównaniu do pozostałych wprowadzonych gatunków, istotnie wyższą akumulację manganu (Mn) i miedzi (Cu). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że w warunkach składowiska popiołów nie występuje zagrożenie nadmiernym pobraniem pierwiastków śladowych przez olsze.

Słowa kluczowe: popioły, odpady paleniskowe, olsza, pierwiastki śladowe

WSTĘP

W celu zapobiegania erozji i stabilizacji składowisk odpadów paleniskowych stosuje się różnego rodzaju metody techniczne polegające na pokrywaniu powierzchni różnymi substancjami w tym: emulsjami bitumicznymi i asfaltowymi [Haynes 2009]. Metody te są jednak bardzo kosztowne. Stabilizację i zabezpieczenie tego rodzaju obiektów prowadzi się także metodami biologicznymi, poprzez zadarnianie lub wprowadzenie roślin drzewiastych, po wcześniejszym zastosowaniu wierzchniej warstwy izolacyjnej z żyznego utworu

* Uniwersytet Rolniczy, Wydział Leśny, Katedra Ekologii Lasu

mineralnego [Carlson i Adriano 1991; Čermák 2008; Haynes 2009; Pietrzykowski i in. 2010].

Po zakończeniu eksploatacji, objęte badaniami składowisko odpadów paleniskowych „Lubień”, planuje się przeznaczyć pod zalesienie. Jedną z rozważanych do zastosowania metod rekultywacji jest zalesianie gatunkami pionierskimi. Zgodnie z tą metodą, dopiero po wstępnej poprawie właściwości substratu i zainicjowaniu procesu glebotwórczego przez gatunki pionierskie, możliwe jest wprowadzenie gatunków docelowych o większych wymaganiach siedliskowych. W warunkach przedmiotowego składowiska planuje się zalesienia pioniersko-fitomelioracyjne złożone z gatunków z rodzaju olsza (*Alnus* sp.) [Krzaklewski i in. 2012]. Stąd między innymi wynika konieczność zbadania możliwości przystosowawczych olsz do niekorzystnych właściwości odpadów paleniskowych, wśród których decydujące znaczenie mają: deficyt azotu, duża podatność na ubicie, złe stosunki powietrzno-wodne, nadmiernie alkaliczny odczyn, wysokie wartości zasolenia, duża zmienność przestrzenna tych cech [Krzaklewski i in. 2005; Čermák, 2008; Haynes, 2009]. Dostępne dane literaturowe wskazują, że odpady paleniskowe z elektrowni „Bełchatów” nie wykazują podwyższonej koncentracji pierwiastków śladowych [Stolecki 2005]. Jednak niekorzystne dla wzrostu roślin warunki substratowe, a także wciąż słabo rozpoznane wzajemne relacje poszczególnych pierwiastków i ich cykle biogeochemiczne w układach powstających na antropogenicznych utworach składowiska odpadów paleniskowych, mogą wpływać na zaburzenia procesów pobierania i akumulacji pierwiastków w roślinach. To z kolei, w przypadku gleb technogennych znacznie różniących się pod względem właściwości w stosunku do gleb naturalnych, może wpływać na reakcje fitotoksyczne pierwiastków śladowych i zaburzenia w procesie żywienia mineralnego wprowadzonych gatunków drzew.

W niniejszej pracy oceniono koncentrację wybranych pierwiastków śladowych (Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr) w liściach 3 gatunków olsz: zielonej (*Alnus viridis* (Chaix) DC. in Lam. & DC.), szarej (*Alnus incana* (L.) Moench) i czarnej (*Alnus glutinosa* Gaertn.) wprowadzonych eksperymentalnie na składowisko odpadów paleniskowych jako gatunki pioniersko-fitomelioracyjne. Wyniki pracy stanowią jeden z elementów oceny adaptacji tych gatunków do tworzących się warunków wzrostu na tego rodzaju obiektach, w kontekście opracowania skutecznej metody rekultywacji biologicznej, a także wzbogacenia informacji o cyklach biogeochemicznych pierwiastków w powstających układach.

OBIEKT I METODY

Opis terenu badań

Elektrownia „Bełchatów” i należące do niej składowisko odpadów paleniskowych „Lubień” zlokalizowane są w Polsce Centralnej (N 51 27; E 19 27). Składowisko „Lubień” eksploatowane jest od 1980 roku i obecnie zajmuje około 440 ha powierzchni. Odpady paleniskowe zawierają około 85% popiołów i 15% żużli i deponowane są aktualnie metodą hydrotransportu. Opady atmosferyczne w rejonie składowiska kształtują się w granicach od 550 do 600 mm rocznie, średnia temperatura roczna wynosi od 7,6 do 8° C. Okres wegetacji trwa od 210 do 218 dni.

Opis doświadczenia

Pionierskie doświadczenie polowe Katedry Ekologii Lasu UR w Krakowie polegało na wprowadzeniu 3 gatunków olsz na składowisko odpadów paleniskowych, które w przyszłości może być objęte rekultywacją biologiczną lub przejściowo obudową techniczno-biologiczną. Gatunki olsz w tych warunkach mogą pełnić funkcje fitomelioracyjne, w tym szczególnie inicjować proces glebotwórczy. Omawiane doświadczenie założono we wrześniu 2005 roku na utworzonym w latach 2003-2004 płaskim fragmencie półki osadnika. Przed wyznaczeniem poletek doświadczalnych i posadzeniem sadzonek, na całej powierzchni półki zastosowano jednolicie hydroobsiew osadem pościekowym w ilości 4 Mg (s.m.)·ha⁻¹, wymieszanym z nasionami traw *Dactylis glomerata* i *Lolium multiflorum* (200 kg·ha⁻¹). Następnie wykonano nawożenie mineralne NPK w dawkach N – 60, P – 36, K – 36 kg·ha⁻¹ i wyznaczono w blokach pletka doświadczalne o wymiarach 6×13 m, na których zastosowano różne kombinacje substratów ulepszających (węgiel brunatny i neogeński piasek kwaśny). Pozostawiono także wariant kontrolny bez stosowania substratów ulepszających. Na każdym poletku wysadzono po 50 sadzonek olszy czarnej, szarej i zielonej [Krzaklewski i in. 2012].

W niniejszej pracy, mając na względzie jedynie ocenę adaptacji olsz oraz sorpcję pierwiastków śladowych w warunkach substratu niezmienionego, spośród różnych wariantów doświadczenia na wyznaczonych poletkach, wybrano 12 (tj. po 4 powtórzenia × 3 gatunki olsz) na których nie stosowano podsypki z węgla brunatnego i neogeńskich piasków. Na poletkach tych zastosowano jednolite startowe nawożenie mineralne NPK i hydroobsiew osadami pościekowymi.

Ocena parametrów wzrostowych

Na każdym poletku badawczym oceniono przeżywalność wprowadzonych gatunków olsz, jako procent liczby drzewek po 5 latach wzrostu w stosunku do

wprowadzonej liczby początkowej. W przypadku olszy szarej i czarnej pomierzono grubość w szyi korzeniowej (d_0) z dokładnością do 0,01 cm oraz wysokość (h) z dokładnością do 0,01 m. W przypadku olszy zielonej pomierzono jedynie wysokość (h). Wykorzystane w tej pracy uzupełniająco wyniki pomiarów dla olszy szarej i czarnej zostały opublikowane w opracowaniu Krzaklewski i in. [2012].

Pobór próbek glebowych i badania laboratoryjne

W 2008 roku na każdym poletku pobrano próbki substratów z warstwy 0-40 cm z 5 punktów rozmieszczonych regularnie po przekątnej każdego poletka. Utworzono z nich 12 próbek mieszanych reprezentatywnych dla poszczególnych poletek. Jesienią 2008 roku pobrano próbki liści dla oznaczenia koncentracji pierwiastków śladowych, zgodnie z metodyką w tym zakresie [Baule i Fricker 1973], tj. z górnej części korony z wystawy SW z 5 drzewek rozmieszczonych po przekątnej każdego poletka.

W próbkach substratu glebowego oznaczono [Ostrowska i in. 1991]: pH metodą potencjometryczną w H_2O i 1 M KCl (proporcja gleba : roztwór 1:2,5); przewodnictwo elektrolityczne właściwe (PEW) konduktometrycznie (w proporcji gleba : roztwór 1:5); zawartość Zn, Cu, Cd, Pb i Cr po trawieniu w mieszaninie HNO_3 ($d = 1.40$) i 60% $HClO_4$ w proporcji 4:1 z użyciem metody AAS. W próbkach liści po trawieniu w stężonym HNO_3 oznaczono zawartość Zn, Cu, Cd, Pb i Cr metodą AAS.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej stosując program Statistica 8.1 (hipotezy badawcze testowano z prawdopodobieństwem $p=0,05$). Istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami analizowano z zastosowaniem testu RIR Tukeya.

WYNIKI

Podstawowe właściwości odpadów paleniskowych i zawartość pierwiastków śladowych

Badane odpady paleniskowe charakteryzowały się zasadowym odczynem (pH_{H_2O} 7,9-8,0; pH_{KCl} 7,8-7,9) i wysokimi wartościami przewodnictwa elektrolitycznego (PEW 474,2-534,06 $\mu S \cdot cm^{-1}$). Koncentracja badanych pierwiastków śladowych w substracie wynosiła odpowiednio: manganu (Mn) 103,50-118,69; cynku (Zn) 43,04-47,81; miedzi (Cu) 18,70-22,34; kadmu (Cd) 0,86-1,26; ołowiu (Pb) 16,67-18,97; chromu (Cr) 17,08-19,37 $mg \cdot kg^{-1}$. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy koncentracją tych pierwiastków w podłożu (odpadach paleniskowych) na wyznaczonych poletkach doświadczalnych z wprowadzonymi gatunkami olsz (tab. 1).

Tab. 1. Wybrane właściwości substratów glebowych oraz koncentracja pierwiastków śladowych (pobranych z głębokości 0-40 cm) na poletkach doświadczalnych z wprowadzonymi gatunkami olsz na składowisku odpadów paleniskowych „Lubień”

Tab. 1. Selected properties of soil substrate and concentration of trace elements (0-40 cm) on experimental plots with introduced alders species on combustion waste dump "Lubień"

Wariant ¹	pH _{H2O}	pH _{KCl}	PEW	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr
			μS·cm ⁻¹	mg·kg ⁻¹					
Olsza zielona	7,94	7,86	526,37	111,25	47,24	22,34	1,26	16,67	17,08
	(7,83-8,07) ²	(7,79-7,93)	(460,50-597,00)	(100,75-119,5)	(44,60-50,30)	(18,63-28,15)	(1,05-1,55)	(14,13-19,93)	(14,68-18,95)
Olsza szara	7,95	7,89	474,2	103,50	43,04	18,70	0,86	17,05	19,37
	(7,68-8,24)	(7,53-8,24)	(286,50-579,50)	(100,75-119,5)	(32,60-52,93)	(12,80-24,95)	(0,43-1,33)	(12,83-19,30)	(12,85-30,28)
Olsza czarna	8,00	7,88	534,06	118,69	47,81	21,66	1,08	18,97	18,58
	(7,88-8,11)	(7,70-8,01)	(378,25-788,50)	(102,25-126,25)	(40,90-53,88)	(20,13-22,50)	(0,63-1,40)	(16,80-22,03)	(15,28-21,60)

Objaśnienie:
¹ - wariant oznacza substrat w bloku doświadczalnym z danym gatunkiem olszy;
² - podano wartości średnie i zakresy z 4 powtórzeń (poletek) dla danego wariantu

Udatność i wymiary olsz

Przeżywalność i wymiary olszy szarej i czarnej (podane w literaturze: Krzaklewski i in. 2012) kształtowały się następująco: przeżywalność 87 i 76%; grubość w szyi korzeniowej (d_0) wynosiła średnio: olszy szarej 4,26 cm, olszy czarnej 5,17 cm, wysokość (h) olszy szarej 233,47 cm, olszy czarnej 302,61 cm. W przypadku olszy zielonej ocenionej w niniejszej pracy przeżywalność wynosiła 72%, a wysokość 74,37 cm (tab. 2).

Tab. 2. Przeżywalność, grubość w szyi korzeniowej (d_0) i wysokość (h) olsz testowanych na składowisku odpadów paleniskowych „Lubień”

Tab. 2. Survival, root collar diameter (d_0) and height (h) of alders examined on combustion waste dump "Lubień"

Gatunek	Przeżywalność [%]	d_0 [cm]	h [m]
Olsza zielona	72 ± 24 ¹	- ³	74,37 ± 40,63
Olsza szara ²	87 ± 4	4,26 ± 1,78	233,47 ± 70,17
Olsza czarna ²	76 ± 11	5,17 ± 1,52	302,61 ± 80,14

¹ - średnia ± odchylenie standardowe

² - dane opublikowane w pracy Krzaklewski i in. [2012]

³ - nie pomierzono ze względu na wielopniowość formy krzewiastej

Koncentracja pierwiastków śladowych w liściach olsz

Koncentracja pierwiastków śladowych w liściach olszy zielonej wynosiła (w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$): Mn 32,21; Zn 48,42; Cu 8,09; Pb 0,66; Cd 0,04; Cr 1,97; olszy szarej odpowiednio: Mn 123,85; Zn 47,79; Cu 12,22; Pb 0,93; Cd 0,05; Cr 1,69; olszy czarnej: Mn 35,13; Zn 45,08; Cu 7,64; Pb 0,84; Cd 0,04; Cr 1,67. W przypadku manganu (Mn) i miedzi (Cu) stwierdzono statystycznie istotną różnicę pomiędzy wartościami średnimi koncentracji w liściach olszy szarej (odpowiednio Mn 123,85; Cu 12,22 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), a olszy czarnej (Mn 35,13; Cu 7,64 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i olszy zielonej (Mn 32,21; Cu 8,09 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) (tab. 3).

Tab. 3. Koncentracja wybranych pierwiastków śladowych w liściach olsz wzrastających na składowisku odpadów paleniskowych „Lubień”

Tab. 3 Concentration of selected trace elements in the leaves of alders growing on combustion waste dump "Lubień"

Gatunek	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr
	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$					
Olsza zielona	32,21 ^a (16,14-50,49)	48,42 (44,38-53,96)	8,09 ^a (5,80-11,10)	0,66 (0,30-0,84)	0,04 (0,01-0,08)	1,97 (1,44-2,43)
Olsza szara	123,85 ^b (66,35-190,85)	47,79 (39,98-55,63)	12,22 ^b (9,61-14,40)	0,93 (0,78-1,20)	0,05 (0,03-0,07)	1,69 (1,54-1,88)
Olsza czarna	35,13 ^a (25,14-45,55)	45,08 (34,88-56,48)	7,64 ^a (6,44-8,73)	0,84 (0,56-1,16)	0,04 (0,03-0,05)	1,67 (1,43-1,91)

^{a, b} – tymi samymi literami oznaczono grupy jednorodne pod względem wartości średnich, grupy oznaczone różnymi literami różnią się istotnie z $p = 0,05$

DYSKUSJA

W badanych odpadach paleniskowych nie stwierdzono wartości przekraczających dopuszczalnych stężeń oznaczonych pierwiastków śladowych według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. Nr 165, poz. 1359). Fakt ten potwierdzają dostępne w tym zakresie dane literaturowe [Stolecki 2005]. Koncentracja pierwiastków śladowych w liściach analizowanych gatunków olsz również nie przekraczała wartości podawanych dla olsz wzrastających w naturalnych ekosystemach. W przypadku pierwiastków śladowych spełniających ważne role fizjologiczne w roślinach (Mn, Zn, Cu) nie stwierdzono również zagrożenia ze strony ich niedoboru [Kabata-Pendias, Pendias, 1999].

Określenie wskaźnika bioakumulacji (WB), stanowiącego stosunek koncentracji pierwiastka w roślinie do jego zawartości w glebie, wyraża zdolność roślin do pobierania pierwiastka z gleby (Kabata-Pendias, Pendias 1999). Analizując uzyskane wartości WB stwierdzono, że najbardziej podatnym pierwiastkiem na kumulację był cynk (wartości WB od 0,94 do 1,11) i mangan (WB od 0,30 do 1,20), a następnie miedź (WB od 0,36 do 0,65). Zdolność akumulacji przez olsze pozostałych analizowanych metali była bardzo niska i wynosiła w przypadku chromu od 0,09 do 0,12; ołowiu od 0,04 do 0,05 i kadmu od 0,03 do 0,05. Według danych literaturowych [Kabata-Pendias, Pendias, 1999] kadm jest metalem śladowym najbardziej mobilnym i najłatwiej kumulowanym przez rośliny. W świetle powyższych wyników można stwierdzić, że w warunkach przedmiotowego osadnika pobieranie i akumulacja chromu, ołowiu i kadmu przez rośliny może być hamowana. Na pobieranie metali ciężkich z gleby największy wpływ mają: skład granulometryczny, właściwości sorpcyjne, zawartość glebowej materii organicznej oraz odczyn gleby. Wśród wymienionych czynników w warunkach przedmiotowego osadnika decydujące znaczenie może mieć silnie zasadowy odczyn (pH_{H_2O} 7,9-8,0; pH_{KCl} 7,8-7,9), który jak wiadomo, wpływa na obniżenie mobilności metali w roztworze glebowym i ich sorpcję przez rośliny.

Oprócz właściwości substratów glebowych duże znaczenie dla kumulacji pierwiastków śladowych ma także specyfika fizjologiczna poszczególnych gatunków roślin [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Spośród wprowadzonych 3 gatunków olsz najwyższymi współczynnikami akumulacji metali charakteryzowała się olsza szara. Widoczne to było szczególnie w przypadku manganu, gdy wskaźnik WB dla olszy szarej (1,20) był czterokrotnie większy niż w przypadku olszy zielonej (0,29) i olszy czarnej (0,30). Podobnie w przypadku miedzi, gdzie wartość WB dla olszy szarej wynosiła 0,65 i była prawie dwukrotnie wyższa niż w przypadku olszy zielonej i olszy czarnej, dla których wynosiła odpowiednio 0,36 i 0,35. To, oprócz dużych zdolności adaptacyjnych tego gatunku, może także wskazywać na ewentualną przydatność w fitoremediacji. Wymaga to jednak dalszych testów w warunkach gleb i substratów charakteryzujących się podwyższoną koncentracją pierwiastków śladowych.

Podsumowanie

- W warunkach osadnika odpadów paleniskowych ze spalania węgla brunatnego nie stwierdzono zagrożenia dla wzrostu wprowadzonych 3 gatunków olsz ze strony przekroczonej koncentracji badanych pierwiastków śladowych;
- Spośród testowanych na składowisku popiołów gatunków z rodzaju olsza (*Alnus* sp.) istotnie wyższą akumulację manganu (Mn) i miedzi (Cu) wyka-

zywała olsza szara. W przypadku pozostałych badanych pierwiastków różnice koncentracji w liściach olsz nie były istotne;

- Niskie wartości wskaźnika bioakumulacji (WB) świadczą o niskiej sorpcji pierwiastków śladowych (Cr, Pb i Cd) z odpadów paleniskowych, co związane jest z alkalicznym odczynem (wysokie wartości pH) obniżającym mobilność tych pierwiastków w substracie;
- Zawartość manganu (Mn), cynku (Zn) i miedzi (Cu) w liściach analizowanych gatunków olsz wskazuje na brak zagrożenia ze strony niedoboru tych mikroelementów.

LITERATURA

1. BAULE, H.; FRICKER, C.; 1973. Nawożenie drzew leśnych. PWRiL, Warszawa.
2. CARLSON, C.L.; ADRIANO, D.C.; 1991. Growth and elemental content of two tree species growing on abandoned coal fly ash basins. *Journal of Environmental Quality* 20(3), 581-587.
3. ČERMÁK, P.; 2008. Forest reclamation of dumpsites of coal combustion by-products (CCB). *Journal of Forest Science* 54 (6), 273-280.
4. DZ. U. NR 165, POZ. 1359. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.
5. HAYNES, R.J.; 2009. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites – Challenges and research needs. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 43-53.
6. KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS H.; 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
7. KRZAKLEWSKI, W.; PIETRZYKOWSKI, M.; FRUKACZ T.; 2005. Charakterystyka PEW i pH odpadów paleniskowych Elektrowni "Bełchatów" zdeponowanych na składowisku "Lubień". *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* 6, 48-50.
8. KRZAKLEWSKI, W.; PIETRZYKOWSKI, M.; WOŚ, B.; 2012. Survival and growth of alders (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. and *Alnus incana* (L.) Moench) on fly ash technosols at different substrate improvement. *Ecological Engineering*, 49, 35-40.
9. OSTROWSKA, A.; GAWLIŃSKI, S.; SZCZUBIAŁKA, Z.; 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
10. PIETRZYKOWSKI, M.; KRZAKLEWSKI, W.; GAIK, G.; 2010. Ocena wzrostu zalesień z dominacją sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na polatkach doświadczalnych na odpadach paleniskowych Elektrowni "Bełcha-

- tów". Inżynieria Środowiska. Zeszyty Naukowe, Uniwersytet Zielonogórski 17, 65-74.
11. STOLECKI L.; 2005. Wpływ sposobów składowania odpadów paleniskowych w wyrobisku końcowym odkrywki Bełchatów na środowisko wodne. Praca doktorska, Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Wrocław.

**CONCENTRATION OF TRACE ELEMENTS
(Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr) IN ALDER (*ALNUS SP.*) LEAVES USED
AS PHYTOMELIORATION SPECIES ON FLY ASH DISPOSAL**

S u m m a r y

The paper presents concentration of selected trace elements (Mn, Zn, Cu, Cd, Pb and Cr) in the leaves of green, grey and black alders, introduced experimentally as phytomelioration species on fly ash disposal "Lubień" (in Central Poland, PGE "Bełchatów" Power Plant). The largest accumulation of the trace elements by alder species was noted in case of zinc, manganese and copper. Accumulation of the other metals (chromium, lead and cadmium) in the alder leaves was very low. An extra reducing factor of the trace elements mobility in soil and uptake by trees was caused by alkaline pH (7.9-8.0 in H₂O). It was found that gray alder growing on fly ash was characterized by significantly higher accumulation of manganese (Mn) and copper (Cu), compared to the rest of the introduced alder species. Based on the results we assumed that there is no risk of toxic trace elements concentration for introduced species in the fly ash technosols substrate.

Key words: fly ash disposal, alder, trace elements