

ČASOPIS  
STUDIA OECOLOGICA  
Ročník VII  
Číslo 1/2013

**Redakční rada:**

doc. Ing. Pavel Janoš, CSc. – šéfredaktor  
† doc. Ing. Miroslav Farský, CSc. – výkonný redaktor  
prof. RNDr. Olga Kontrišová, CSc.  
doc. RNDr. Juraj Lesný, Ph.D.  
Ing. Martin Neruda, Ph.D.  
doc. MVDr. Pavel Novák, CSc.  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.

**Technický redaktor:**

Mgr. Ing. Petr Novák

**Recenzenti:**

doc. RNDr. Ivan Bičík, CSc., PŘF Karlovy univerzity, Praha  
doc. PhDr. RNDr. Martin Boltziar, Ph.D., Ústav krajinnej ekológie SAV, Bratislava  
Mgr. Jiří Čmelík, Ph.D., Výzkumný ústav anorganické chemie, a. s., Ústí nad Labem  
Ing. Petr Dvořák, Most  
doc. Ing. Danica Fazekášová, CSc., FHPV Prešovské univerzity, Prešov  
Ing. Borek Franěk, CHKO České středohoří, Litoměřice  
doc. RNDr. Jaromír Hajer, CSc., PŘF Univerzity J. E. Purkyně, Ústí nad Labem  
RNDr. Petr Chvátal, AOPK ČR, Ústí nad Labem  
Pavel Moravec, CHKO České středohoří, Litoměřice  
Ing. Vítězslava Pešková, Ph.D., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Jíloviště  
Ing. Jiří Pospíšil, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Jablonec nad Nisou  
Mgr. Antonín Roušar, ZŠ Ekoškola Údlice, Chomutov  
RNDr. Michal Řehoř, Ph.D., Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most  
Ing. Veronika Řezáčová, Ph.D., FCH Vysokého učení technického, Brno  
Mgr. Martin Šlachta, Ph.D., ZF Jihočeské univerzity, České Budějovice  
Ing. Josef Švec, Palivový kombinát Ústí, s.p., Ústí nad Labem  
Ing. Soňa Tichá, Ph.D., LDF Mendelovy univerzity, Brno  
RNDr. Slávka Tóthová, Ph.D., Národné lesnícke centrum, Zvolen

**Foto obálky:**

Mgr. Michal Holec, Ph.D.

Vydává: FŽP UJEP v Ústí nad Labem  
Tisk: Tiskárna L. V. Print, Uherské Hradiště

Toto číslo bylo dáno do tisku v srpnu 2013  
ISSN 1802-212X  
MK ČR E 17061

## DISTRIBÚCIA VYBRANÝCH ŤAŽKÝCH KOVOV DO BIOMASY SEMENÁČIKOV *PICEA ABIES* (L.) KARST. Z NÁLETU PO JEDNORÁZOVEJ APLIKÁCII DREVNÉHO POPOLA

### INPUT OF SELECTED HEAVY METALS INTO BIOMASS OF *PICEA ABIES* L. SEEDLINGS AFTER SINGLE WOOD ASH APPLICATION

Andrea ZACHAROVÁ<sup>1</sup>, Hana OLLEROVÁ<sup>1</sup>, Oľga KONTRIŠOVÁ<sup>1</sup>, Jaroslav  
KONTRIŠ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Katedra environmentálneho inžinierstva, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika; andrea.m.zacharova@gmail.com, kontriso@tuzvo.sk, ollerova@tuzvo.sk

<sup>2</sup> Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra fytoľógie, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

#### Abstrakt

V príspevku sme skúmali vplyv drevného popola na obsah ťažkých kovov (Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd a Hg) v lesnej pôde a biomase semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst.) z náletu po jeho jednorázovej aplikácii v lesnom ekosystéme. Výsledky ukázali, že nedochádza výrazne k obohacovaniu pôdy o sledované ťažké kovy a nezaznamenali sme ani zvýšený obsah týchto prvkov v biomase (ihlice a kmienky) 2–3 ročných smrekov. Môžeme konštatovať, že záťaž pôdneho prostredia a akumulácia ťažkých kovov v nadzemnej časti semenáčikov smreka z náletu po aplikácii drevného popola v Lesnom hospodárskom celku Hriňová nie je významná.

**Kľúčové slová:** drevný popol, ťažké kovy, *Picea abies*, semenáčky z náletu

#### Abstract

Paper is focused on influence of wood ash on heavy metals content (Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd and Hg) in forest soil and biomass of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings after its single application in forest ecosystem. Results showed that it is neither a significant enrichment of the soil by heavy metals nor significant accumulation of heavy metals in biomass (needles and woody stems) of 2–3 years old spruces. We conclude that accumulation of heavy metals in forest soil and spruce seedlings biomass is not significant after single wood ash application in condition of forest management unit Hriňová.

**Key words:** wood ash, heavy metals, *Picea abies*, seedlings

#### Úvod

Drevný popol sa už stáročia používa na dopĺňanie živín a stopových prvkov v poľnohospodársky využívaných pôdach. Jeho využitie v lesnom hospodárstve sa vo Fínsku začalo detailnejšie skúmať už v 30-tych rokoch minulého storočia. Výsledky rôznych štúdií ukazujú, že pozitívny vplyv popola na pôdach bohatých na dusík sa prejavuje aj po 30 – 50 rokoch od jeho aplikácie (Korpilathi et al., 1998).

Mäkké drevo obsahuje priemerne 296 ppm mangánu, 85 ppm železa, či 4 ppm medi. Tvrdé drevo obsahuje priemerne 83 ppm mangánu, 39 ppm zinku a 5 ppm medi (Taipale, 1996). Všetky ťažké kovy ako aj iné stopové prvky sa po spálení dostávajú do popola a po jeho aplikácii v lesnom alebo poľnohospodárskom ekosystéme, môže dochádzať k obohacovaniu pôdy o všetky prvky obsiahnuté v popole.

V našom príspevku hodnotíme obsah ťažkých kovov v lesnej pôde a v biomase (ihlice a kmienky) 2–3 ročných jedincov *Picea abies* po jednorázovej aplikácii drevného popola v lesnom ekosystéme.

## Materiál a metódy

Sledovali sme zmeny v chemickom zložení pôdy a biomase semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst.) z náletu po aplikácii drevného popola. Monitorovacie plochy boli založené v približne 40-ročnom smrekovom poraste Lesného hospodárskeho celku (LHC) Hriňová. Na jeseň roku 2010 bol na povrch pôdy (na ploche 40 x 10 m) aplikovaný drevný popol v množstve 5 t·ha<sup>-1</sup>. Aplikovaný popol predstavuje odpad z teplárne Hriňová, kde sa spaľuje len chemicky neošetrené drevo. Použitý bol roštový popol, ktorý bol stabilizovaný niekoľkokmesačnou expozíciou na vzduchu. Aktuálna reakcia popola je 9,15 pH (H<sub>2</sub>O) a výmenná reakcia 8,77 pH (KCl).

Pôdne vzorky boli odobrané prostredníctvom sondovacej tyče z rizosféry (5 – 15 cm). Homogenizované boli z 10 náhodne odobraných vzoriek z kontrolnej monitorovacej plochy a z 10 vzoriek z monitorovacej plochy s aplikáciou popola v jesennom období roku 2010. Navážka 1 g vzorky bola rozkladaná zmesou kyselín HCl, HNO<sub>3</sub> a H<sub>2</sub>O (6 ml zmesi v pomere 1:1:1) pri teplote 95 °C po dobu jednej hodiny. Metódou hmotnostnej spektrometrie s indukčne viazanou plazmou (ICP-MS) boli stanovené celkové obsahy prvkov Cu, Fe, Mn, Zn, Pb a Cd.

Z kontrolnej monitorovacej plochy ako aj monitorovacej plochy s aplikáciou popola boli v júli 2011 odobrané celé jedince semenáčikov smreka z náletu. Vzorky ihlič a kmienkov boli zomleté na guľovom mlyne (ihlice boli mleté 2 min. pri frekvencii 25 Hz a kmienky 4 min., opäť pri frekvencii 25 Hz).

Navážka 1 g rastlinnej vzorky bola najskôr hodinu lúhovaná v 2 ml HNO<sub>3</sub>, potom bolo pridaných po 2 ml z HCl, HNO<sub>3</sub> a H<sub>2</sub>O, pričom vzniknutá zmes bola vystavená teplote 95 °C po dobu ďalšej hodiny. Po zriedení do 20 ml boli vo vzorkách stanovené prvky Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd a Hg metódou ICP-MS.

Rozklad a analýzu pôdnych a aj rastlinných vzoriek urobili pracovníci akreditovaného laboratória Acme Analytical Laboratories Ltd. v Kanade. Akreditácia laboratória je adekvátna normám ISO 9001 a ISO 17025. Laboratórium deklaruje zhodu svojich analýz s certifikovanými referenčnými materiálmi a súčasne zabezpečuje kvalitu paralelnou analýzou vybraných vzoriek, pričom relatívna smerodajná odchýlka týchto paralelných analýz nepresahuje 10 %.

Stanovenie ťažkých kovov v drevnom popole urobili v Centrálnych lesníckych laboratóriách Národného lesníckeho centra. Metodika stanovenia je uvedená v práci KONTRIŠOVÁ ET AL. (2010).

## Výsledky a diskusia

V pôde po aplikácii drevného popola ako aj v ihliciach a kmienkoch semenáčikov *Picea abies* z náletu sme analyzovali obsah ťažkých kovov, konkrétne mikroživín Cu, Fe, Mn a Zn a ultrastopových prvkov Pb, Cd a Hg. Získané hodnoty sme porovnávali s obsahom uvedených prvkov vo vzorkách z kontrolných monitorovacích plôch.

Aplikácia drevného popola na lesnú pôdu výrazne neovplyvnila obsah ťažkých kovov v pôde (tab. 1). Jediný výrazný rozdiel je v obsahu medi. Príčinu, prečo došlo k takému výraznému poklesu medi vo vzorke pôdy, na ktorú bol aplikovaný drevný popol zatiaľ nepoznáme. Podobný pokles, aj keď nie až tak výrazný, zaznamenali napr. aj Omil et al. (2007). Po aplikácii popola sa v pôde zvýšil obsah olova a mangánu, a to o 20 % (olovo) a o necelých 10 % (mangán). Množstvo Cu, Zn a Fe v pôde sa naopak znížilo.

**Tabuľka 1.** Obsah ťažkých kovov v sušine aplikovaného popola (A), v pôdnom prostredí kontrolnej monitorovacej plochy (B) a monitorovacej plochy posypanej popolom (C) v mg·kg<sup>-1</sup>

	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Cd	Hg
<b>A</b>	74	32,03	424	4 515	25 000	3,58	101,93
<b>B</b>	100	30	76	462	30 100	< 0,4	-
<b>C</b>	9	36	71	505	28 800	< 0,4	-

Koncentrácia ultrastopových prvkov ako aj Zn a Cu v pôde po aplikácii popola je dokonca nižšia ako je limitná koncentrácia rizikových prvkov v poľnohospodárskej pôde v zmysle zákona 220/2004 Z. z. Už samotné zvýšenie pH pôdy po aplikácii zásaditého drevného popola vedie k zníženiu mobility ťažkých kovov v pôde (Kabata-Pendias, Pendias, 2001).

Otázkou zostáva prípadné zvýšenie extrahovateľných a mobilných foriem ťažkých kovov, a to najmä Mn a Zn, ktorých koncentrácia v drevnom popole je relatívne vysoká. Takéto zvýšenie však Solla-Gullón et al. (2006) zaznamenali až po tretej aplikácii drevného popola.

Porovnávali sme obsah Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd a Hg v biomase po aplikácii drevného popola na jeseň roku 2010 s hodnotami v biomase z kontrolnej plochy. Výsledky (tab. 2) ukazujú, že nedochádza k výraznému prestupu ťažkých kovov z pôdy obohatenej o prvky z drevného popola do biomasy smreka. Koncentrácia medi a zinku bola síce vyššia v ihliciach aj kmienkoch jedincov z plochy, kde bol aplikovaný drevný popol, ale rozdiely sú na úrovni 0,47 – 13,6 mg.kg<sup>-1</sup> (5 – 33 %). Najvyšší rozdiel (13,6 mg.kg<sup>-1</sup>; 33 %) sme zaznamenali pri porovnávaní obsahu Zn v ihliciach. Vyššie koncentrácie Pb, Mn, Fe, Hg a Cd sme zaznamenali v ihliciach smrekov na kontrolnej ploche.

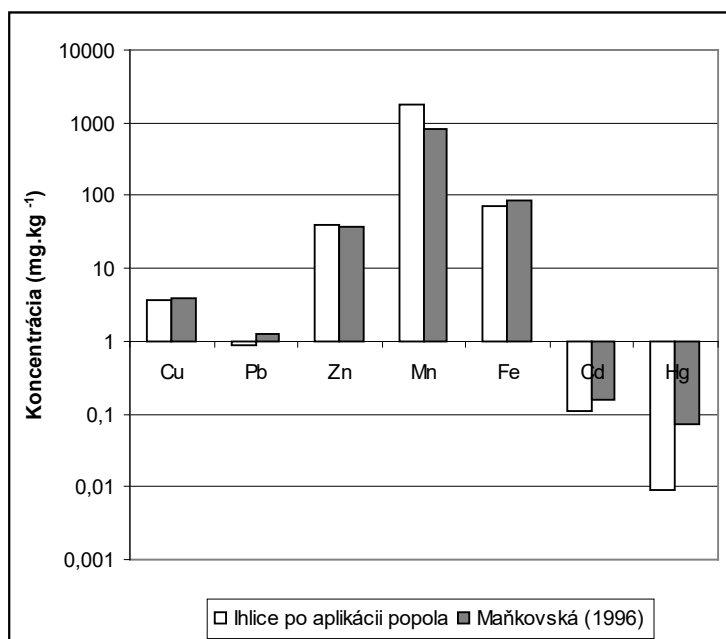
Pri porovnaní koncentrácií prvkov v smrekových kmienkoch na ploche s aplikovaným popolom a na kontrolnej ploche sme zistili rozdiely v rozmedzí od 0,09 mg.kg<sup>-1</sup> (Cd, 17 %) po 5,4 mg.kg<sup>-1</sup> (Zn, 5 %). Koncentrácia Pb, Fe a Cd je vyššia v kmienkoch smrekov z plochy s aplikovaným popolom.

Jediný prvok, ktorého koncentrácia v ihliciach aj v kmienkoch bola vyššia na kontrolnej ploche, je ortuť. Po aplikovaní popola sme najväčšie rozdiely zaznamenali v koncentráciách zinku a železa a to aj v ihliciach aj v kmienkoch. Celkovo môžeme zhodnotiť, že rozdiely v koncentráciách ostatných prvkov (Cu, Pb, Mn, Cd a Hg) sú nepatrné. Ani v jednom prípade sme nezaznamenali výrazne vyššie koncentrácie Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Cd a Hg v biomase smreka ako je uvádzané v literatúre.

**Tabuľka 2.** Obsah ťažkých kovov v sušine biomasy semenáčikov smreka z náletu

Analyzovaná vzorka		Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Cd	Hg
		mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	µg.kg <sup>-1</sup>
Ihlice	Kontrolná plocha	3,05	1,12	26,6	1847	170	0,12	28
	Po aplikácii popola	3,75	0,9	40,2	1809	70	0,11	9
Kmienky	Kontrolná plocha	7,14	3,58	102,9	842	100	0,43	16
	Po aplikácii popola	7,62	4,04	108,3	842	140	0,52	13

Bublinec (1991) uvádza prípustný obsah Fe (70 – 300 mg.kg<sup>-1</sup>), Mn (100 – 2000 mg.kg<sup>-1</sup>), Cu (2 – 12 mg.kg<sup>-1</sup>) a Zn (15 – 80 mg.kg<sup>-1</sup>) v biomase ihličnatých drevín. Jediný prípad, kedy boli uvedené hodnoty prekročené, bol obsah zinku v kmienkoch.



**Obr. 1** Porovnanie koncentrácie ťažkých kovov v ihliciach semenáčikov smreka z náletu na monitorovacej ploche po aplikácii dreveného popola s mediánom obsahu týchto prvkov v ihliciach smreka na Slovensku podľa Maňkovskej (1996) v logaritmickej mierke

Ďalším príkladom, ktorý potvrdzuje, že nedochádza k výraznej kumulácii ťažkých kovov z dreveného popola v biomase smreka sú údaje Maňkovskej (1996). Porovnanie so získanými výsledkami je na obr. 1.

Ani iní autori nezaznamenali zvýšenie obsahu ťažkých kovov po aplikácii dreveného popola: Dimitriou et al. (2006) vo vegetatívnych orgánoch vrúb, Levula et al. (2000) v orgánoch brusnice či Moilanen et al. (2006) v hubách a lesnom ovocí.

## Záver

Hoci má drevený popol podľa viacerých autorov (napr. Zacharová et al., 2012) pozitívny vplyv na zastúpenie živín v lesnej pôde, jeho praktickej aplikácii v lesných ekosystémoch bránia legislatívne obmedzenia, ktoré okrem iného súvisia s obavami, či by nedošlo k (toxickému) zvýšeniu obsahu ťažkých kovov v lesnej pôde. Analýza obsahu ťažkých kovov v pôde ako aj v biomase semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies*) z náletu ukazuje, že jednorázová aplikácia popola v podmienkach monitorovacích plôch LHC Hriňová nespôsobuje výrazné obohacovanie pôdy o ťažké kovy a nedochádza ani k ich výraznej kumulácii v biomase semenáčikov smreka z náletu.

Na základe predbežných výsledkov môžeme konštatovať, že záťaž pôdneho prostredia a akumulácia ťažkých kovov v nadzemnej časti semenáčikov smreka z náletu v podmienkach Lesného hospodárskeho celku Hriňová po jednorázovej aplikácii dreveného popola nie je významná. Je však žiadúce zopakovať výskum takéhoto charakteru na predmetnej lokalite po viacerých rokoch.

## Podakovanie

Práca vznikla vďaka OP Výskum a vývoj, v rámci ktorého bol financovaný projekt 26 220 2200 16 Využitie dreveného popola v lesnom hospodárstve a agentúre VEGA, ktorá podporila projekt 1/1275/12.

## Zoznam literatúry

BUBLINEC, E. (1991) Ekoedafické kritériá pre tvorbu zelene. In SUPUKA, J., BENČAĎ, F., bublinec, e., gáper, j., hrubík, p., juhášová, g., maglocký, š., vreštiak, p.: Ekologické princípy tvorby a ochrany zelene. Bratislava : Veda – vydavateľstvo SAV, s. 51 –57. ISBN 80-224-0128-5.

DIMITRIOU I., ERIKSSON J., ADLER A., ARONSSON P., VERWIJST T. (2006) Fate of heavy metal after application of sewage sludge and wood-ash mixtures to short rotation willow coppice. *Environmental Pollution* 142, pp. 160–169.

KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. (2001) Trace Elements in Soils and Plants. Florida : CRC Press, 3. vydanie, 403 s.

KONTRIŠOVÁ O., KONTRIŠ J., MARUŠKOVÁ A., OLLEROVÁ H. (2010) Testovanie toxicity výluhu drevného popola na semenách lesných drevín. In Kontrišová, O., Marušková, A., Váľka, J. (eds.): Monitorovanie a hodnotenie stavu životného prostredia IX. Zvolen : Vydav. Technickej univerzity vo Zvolene, s. 123–139. ISBN 978-80-228-2271-8.

KORPILAHTI A., MOILANEN M., FINÉR L. (1998) Biomass ash utilization in Finland. Joule III Programme / International Biomass Ash Workshop, Graz, Austria, October 1998.

LEVULA T., SAASALMI A., RANTAVAARA A. (2000) Effects of ash fertilization and prescribed burning on macronutrients, heavy metal, sulphur and <sup>137</sup>Cs concentrations in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea*). *Forest Ecology and Management* 126, pp. 269–279.

MAŇKOVSKÁ B. (1996) Geochemical Atlas of Slovakia – forest biomass. Bratislava : Geologická služba Slovenskej republiky. 87 s. ISBN 80-85314-517-7.

MOILANEN M., FRITZE H., NIEMINEN M., PIIRAINEN S., ISSAKAINEN J., PIISPANEN J (2006). Does wood ash application increase heavy metal accumulation in forest berries and mushrooms? *Forest Ecology and Management* 226, pp. 153–160.

OMIL B., PIÑEIRO V., MEINO A. (2007) Trace elements in soils and plants in temperate forest plantations subjected to single and multiple applications of mixed wood ash. *Science of the Total Environment* 381, pp. 157–168.

SOLLA-GULLÓN F., SANTALLA M., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO R., MERINO A, (2006) Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood bark ash. *Forest Ecology and Management* 237, pp. 312–321.

TAIPALE R. (1996) Kiinteiden polttoaineiden ominaisuudet (Characteristics of solid fuels). M.Sc. thesis, University of Jyväskylä, Dept. of Chemistry, Laboratory of Applied chemistry.

ZACHAROVÁ A., KONTRIŠOVÁ O., KONTRIŠ J., OLLEROVÁ H. (2012) Vplyv drevného popola na obsah makroprvkov v juvenilných jedincoch smreka obyčajného. *Acta Facultatis Ecologiae* 26, pp. 61–65.

Zákon č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.