

VLIV PŘÍPRAVY PŮDY A HNOJENÍ DŘEVĚNÝM POPELEM NA RŮST SAZENIC BOROVICE LESNÍ

EFFECT OF MECHANICAL SOIL PREPARATION AND WOOD ASH FERTILIZATION ON THE GROWTH OF SCOTS PINE PLANTS

JIŘÍ REMEŠ ✉ - LUKÁŠ BÍLEK - MARTIN JAHODA

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra pěstování lesů, Kamýcká 129,
CZ - 165 21 Praha 6 - Suchbátka, Czech Republic

✉ e-mail: remes@fld.czu.cz

ABSTRACT

The paper deals with alternative ways of using logging residues and mechanical soil preparation, and their impact on the growth of pine seedlings. The research was conducted at acidic sites of natural pine forests. The growth of pine plants was assessed on the research areas where four treatments such as burning of logging residues on the site, removal of logging residues and its energetic use, bunching of logging residues into heaps, and chipping of wood residues on the site were applied. Further, a large-scale ploughing of soil was performed to prepare site for planting in all treatments. Each second plot was fertilized with wood ash. Pine plants showed the best growth in treatment where logging residues were chipped and distributed across the whole area. Fertilizing by wood ash also showed a positively affected diameter and height increments of plants on very poor sites.

Klíčová slova: borovice lesní, přirozená borová stanoviště, růst sazenic, příprava půdy, hnojení dřevěným popelem

Key words: Scots pine, natural pine stands, logging residues, plant growth, soil preparation, fertilizing by wood ash

ÚVOD

Využívání těžebních zbytků v lesích se v současné době dostává do popředí zájmu vlastníků lesů, těžebních společností i energetických firem. Hlavní motivací je totiž především jejich energetické využití, což je mimo jiné i důsledek mezinárodních závazků České republiky, vyplývajících ze směrnice 2009/28/ES, která určuje pro ČR závazný cíl podíl obnovitelných zdrojů energie na konečné spotřebě energie ve výši 13 % v roce 2020. Biomasa, a tím i těžební zbytky, přitom tvoří značný podíl z obnovitelných zdrojů, které se u nás pro výrobu energie (tepla i elektřiny) využívají. Dalším faktorem, který tento zájem vyvolává, je potenciální ekonomický profit pro vlastníky lesů z té části lesní produkce, ze které byl ještě do nedávné minulosti finanční zisk nemožný (REMEŠ et al 2015). Komplexní využití nadzemní biomasy dřevin však může představovat vedle ekonomických přínosů i významnou ztrátu živin, protože právě těžební zbytky (kůra, dřevo větví a asimilační orgány) obsahují nejvyšší podíl základních živin, jako je např. N, P, K (MATERNA 1963; ŠRÁMEK et al. 2009). Odstraňování těžebních zbytků tak může mít například vliv na dostupnost bazických kationtů, P a K a na rozvoj i funkci mykorhizy, což může v důsledku ovlivňovat absorpci živin a růst stromů (MAHMOOD et al. 1999; HOPE 2007). Dynamika růstu nové generace lesa na plochách po provedené přípravě půdy, zahrnující i odstranění těžebních zbytků, míra ovlivnění jejich prosperity provedenými zásahy s možnými dopady na trva-

lost a vyrovnanost lesní produkce jsou zásadní otázky spojené s problematikou komplexního využívání nadzemní biomasy.

Pro odpovědné rozhodování vlastníků lesů i pro objektivní regulaci využití těžebních zbytků ze strany státní správy je nezbytné provádět co nejobektivnější hodnocení důsledků provedených těžebních opatření. Z těchto důvodů byl na majetku Městských lesů Doksy, s. r. o., na stanovištích přirozených borů zahájen v roce 2012 výzkum problematiky vlivu využití těžebních zbytků na stav půd a trvalost lesní produkce. Předložený příspěvek přináší první výsledky růstu sazenic borovice lesní, vysázených na plochách s různým režimem manipulace a využití těžebních zbytků.

MATERIÁL A METODIKA

Výzkum probíhá na modelovém území Městských lesů Doksy, s. r. o., (přibližně 60 km severně od Prahy), které se nachází v přírodní lesní oblasti č. 18 Severočeská pískovcová plošina a Český ráj. Pro hodnocení vlivu přípravy půdy a zpracování těžebních zbytků byly vybrány tři lokality. Dvě z nich (Vodárna a Tankovka) se nacházejí na souboru lesních typů (SLT) 0M – chudý bor (*Querceto*)-*Pinetum oligotrophicum* s nadmořskou výškou 270 m a rovinatým terénem přecházejícím ve velmi mírný svah. Třetí lokalita (Obora) se nachází v příznivějších stanovištních podmínkách SLT 2K – kyselá buková doubrava (*Fage-*

to-Quercetum acidophilum), v nadmořské výšce 280 m; plocha je situována také na rovině až velmi mírném svahu. Na všech lokalitách je půdním typem podzol arenický. Založení experimentů s variantním využitím těžebních zbytků a navazující plošnou přípravou půdy předcházel na konci zimy roku 2012 mýtní těžba nesmíšených borových porostů (zásoba porostu cca 300 m³/ha). Po vytěžení a odvozu dříví byly na oddělených částech ploch realizovány následující varianty nakládání s těžebními zbytky borovice:

1. Spálení těžebních zbytků a ponechání vzniklého popela na místě (což znamenalo, že se popel nacházel pouze v místech, kde byly těžební zbytky koncentrovány a spáleny; hodnocené sazenice této varianty se tak mohly nacházet jak v místech s popelem, tak i mimo ně).
2. Odvoz těžebních zbytků z vytěžené plochy bez náhrady (odvoz štěrku a její energetické využití).
3. Koncentrace (shrnutí) klestu do valů.
4. Rozštěpkování těžebních zbytků drtičem klestu (na frakce 2–5 cm) a jejich rozptýl po obnovované ploše.

Později (na jaře před výsadbou) byla u všech variant provedena celoplošná příprava půdy naoráním dvou-radličkovým pluhem do hloubky brázd 30 cm v souladu s obvyklým postupem při obnově borových porostů na těchto chudých stanovištích. Naoráním tak byla obnažena minerální půda cca na 1/3 plochy, odkud byl organický materiál (včetně rozdrčených těžebních zbytků u příslušné varianty) transportován a zaklopen do tělesa brázdy. Poté zde byly založeny experimentální plochy (velikost cca 0,03 ha), které byly následně na jaře roku 2012 zalesněny borovicí lesní (sazečem sazenice 1,5–0,5); všechny plochy byly oploceny, aby se vyloučil vliv zvěře. Pro každou variantu nakládání s těžebními zbytky byla na každé lokalitě založena dvě opakování výzkumných ploch. Celkem tedy byla každá varianta šestkrát opakována (REMEŠ et al. 2015).

Na všech lokalitách, kde byly v roce 2012 založeny výzkumné plochy, byly provedeny experimenty s přihnojením dřevěným popelem. Ten byl získán od společnosti IROMEZ, s. r. o. Jednou z hlavních činností této společnosti je výroba a dodávka tepla. Hlavním palivem pro vý-

robu tepla je již od roku 2004 biomasa, tedy především dřevní štěrka, kterou si společnost zpracovává z lesního klestu na vlastních strojích.

Dávka popela byla 1,065 t/ha, což odpovídá zahraničním zkušenostem a dávce cca 1065 g/sazenici. Tato dávka byla kalkulována pro ekvivalentní množství fosforu (3,71 g k sazenici), odpovídající 5 tabletám hnojiva Silvamix®. Hnojení bylo provedeno na povrch půdy k jednotlivým sazenicím na jaře v roce 2013 před začátkem vegetační doby.

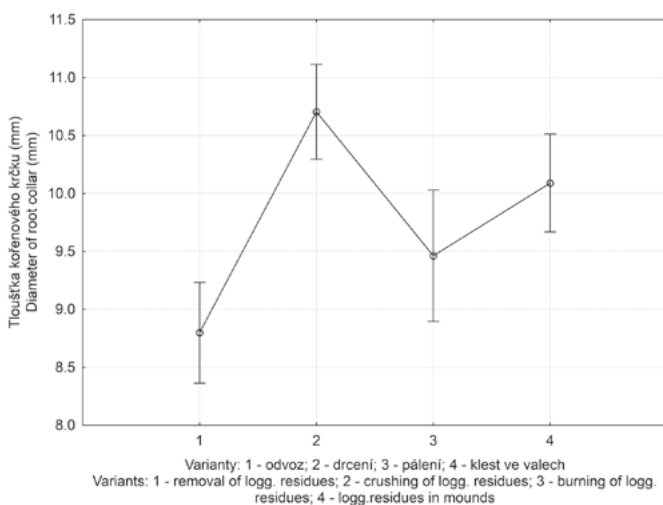
Sledované a hodnocené parametry

Na výzkumných plochách jsou sledovány růstové parametry sazenic – výška, roční výškový přírůst, tloušťka kořenového krčku a roční tloušťkový přírůst. V tomto příspěvku jsou shrnuty výsledky růstových parametrů sazenic borovice lesní v roce 2014 (po skončení vegetační doby), tedy dva roky po výsadbě (na třech souborech výzkumných ploch). Pro všechny výzkumné plochy byl z naměřených údajů (tloušťka, výška, přírůst), zjišťovaných u všech sazenic, vypočten průměr, medián, směrodatná odchylka, minimální a maximální hodnota. Rozdíly v růstu sazenic mezi jednotlivými variantami přípravy půdy a provedeným přihnojením byly hodnoceny analýzou variance, konkrétně metodou Tukey HSD testu mnohonásobného porovnávání. Byl přitom použit software Statistica.

VÝSLEDKY A DISKUSE

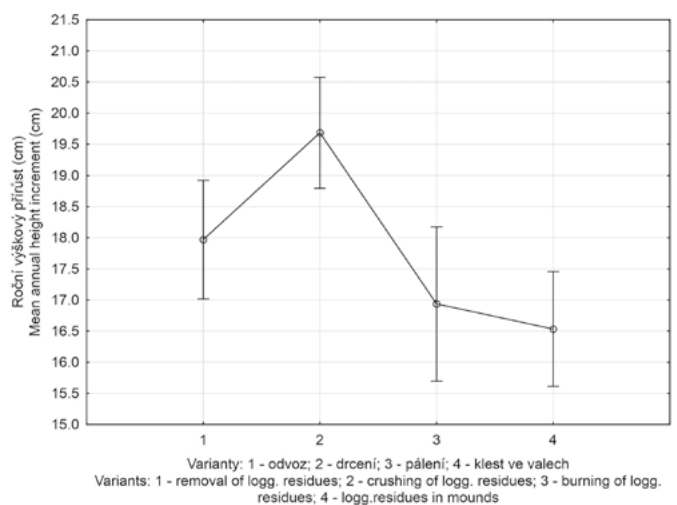
Vliv přípravy půdy

Provedená příprava půdy měla patrný vliv na růst sazenic borovice lesní již v druhém roce po výsadbě. Ze souhrnného hodnocení růstu sazenic na všech třech lokalitách jsou zřejmé rozdíly ve výškovém a tloušťkovém růstu v závislosti na provedené přípravě půdy. U všech hodnocených parametrů byly nejpříznivější výsledky dosaženy u varianty, kde byly těžební zbytky před celoplošným naoráním rozdrčeny a rozptýleny po ploše. U tloušťky kořenového krčku byly potvrzeny statisticky významné rozdíly mezi touto variantou (10,7 mm) a variantami odvozu klestu (8,8 mm) i spálením klestu (9,5 mm), přičemž odvoz klestu se projevil na tloušťkovém růstu nejvíce negativně (obr. 1). U ročního výškového přírůstu (rok 2014) sazenic (obr. 2)



Obr. 1. Průměrná tloušťka kořenového krčku borových sazenic podle variant přípravy půdy

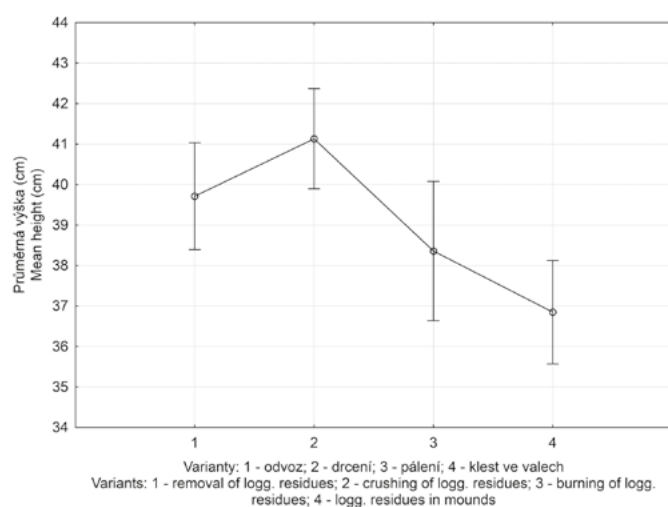
Fig. 1. Mean diameter of root collar of pine plants according to type of soil preparation



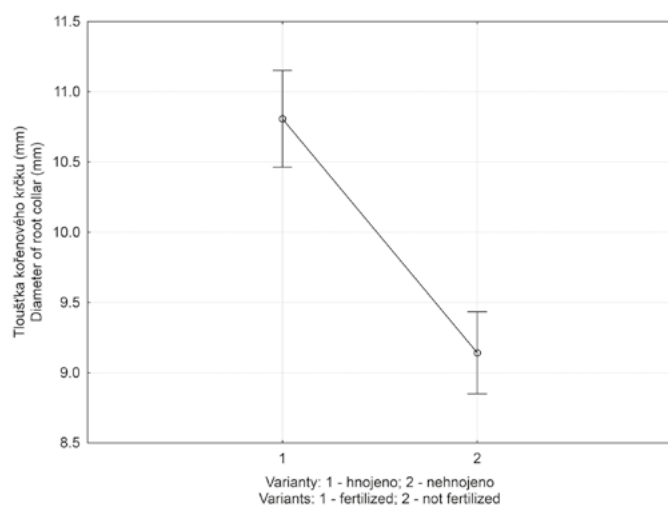
Obr. 2. Roční výškový přírůst borových sazenic podle variant přípravy půdy

Fig. 2. Mean annual height increment of pine plants according to the type of soil preparation

byla potvrzena signifikantnost rozdílů mezi drčením klestu (19,7 cm) a všemi ostatními navzájem nevýznamně se lišícími variantami (odvoz klestu 18,0 cm, pálení 17,0 cm, shrnutí do valů 16,5 cm). Podobné výsledky byly doloženy i u celkové výšky sazenic (obr. 3), kde nejvyšší průměrná celková výška byla dosažena na plochách s rozdrčeným klestem (41,1 cm) a naopak nejnižší na plochách, kde byl klest shrnut do valů (36,8 cm); rozdíl byl přitom statisticky signifikantní. Tyto výsledky do určité míry korespondují se stavem svrchních vrstev půdy, do které byly sazenice sázené. Výsledky pedochemických rozborů potvrdily, že odvoz i shrnutí těžebních zbytků ze zalesňované plochy snížily ve svrchní vrstvě substrátu na těchto přirozeně velmi chudých stanovištích obsah humusu (uhlíku) a do určité míry také obsah přístupných živin (zejména vápníku a draslíku) a dusíku



Obr. 3.
Roční výška borových sazenic podle variant přípravy půdy
Fig. 3.
Mean height of pine plants according to type of soil preparation



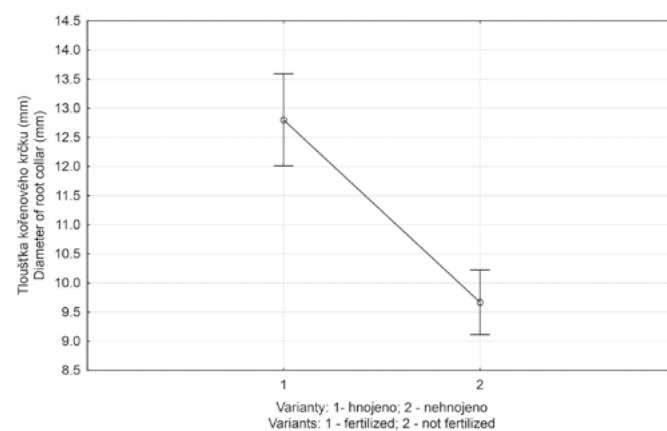
Obr. 4.
Průměrná tloušťka kořenového krčku borových sazenic v závislosti na provedeném hnojení dřevěným popelem
Fig. 4.
Mean diameter of root collar of pine plants related to wood ash fertilization

(REMEŠ et al. 2015). Ukazuje se tak, že s mechanizovaným plošným odstraněním těžebních zbytků dojde často i ke shrnutí části vrstvy nadložního humusu, což zapříčiní ztráty organické hmoty, a tím i uhlíku. Čím je stanoviště přirozeně chudší, resp. čím větší podíl živin je koncentrován v těžebních zbytcích, tím více se může tato ztráta projevit (HELMISAARI et al. 2011). Nižší obsahy uhlíku a dusíku na skarifikovaných plochách oproti plochám, kde byly těžební zbytky spáleny, doložil z oblasti Skandinávie např. ÖRLANDER et al. (1996). Ztrátu organické hmoty a snížení obsahu některých živin jako následek skarifikace půdy konstatují také např. GRAHAM et al. (1989) a HOPE (2007). Tyto důsledky se tak mohou projevit pomalejší dynamikou růstu sazenic bezprostředně po výsadbě. Na druhou stranu je samotná mechanická příprava půdy opatřením, které se dlouhodobě s úspěchem používá pro zvýšení úspěšnosti přirozené obnovy borovice (NILSSON, ÖRLANDER 1999; HILLE, OUDEN 2004; KARLSSON, NILSSON 2005; ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA et al. 2013). Pozitivní efekt tohoto opatření spočívá především v omezení konkurence přizemní vegetace o světlo, vodu a živiny. Přípravou půdy se také zintenzivní dekompozice opadu, což postupně vede k uvolňování zde poutaných živin.

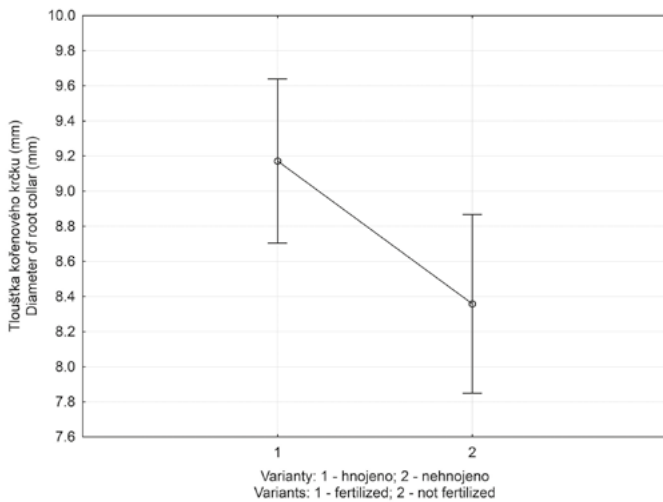
Vliv přihnojení dřevěným popelem

Přihnojení dřevěným popelem se po druhé vegetační době po aplikaci pozitivně projevilo na růstu sazenic borovice. Na obr. 4 je vidět významný rozdíl v dosažené tloušťce na plochách přihnojených dřevěným popelem (10,8 mm) oproti plochám nehnojeným (9,1 mm). Největší pozitivní efekt hnojení se dostavil u varianty drčení klestu (zjištěn průkazný rozdíl více než 3 mm; obr. 5), významný byl i u varianty shrnutí klestu do valů (rozdíl 2,2 mm). Naproti tomu relativně malý efekt mělo přihnojení u odvozu klestu (rozdíl 0,8 mm; obr. 6) a u varianty spálení klestu (rozdíl 1,3 mm). Vliv na velikost efektu hnojení měly i stanovištní (půdní) podmínky. Na stanovištích chudých borů (lokalita Vodárna a Tankovka, SLT 0M) byl vliv hnojení výraznější (obr. 7), zatímco na stanovišti příznivějším (lokalita Obora, SLT 2K) nebyl tento efekt statisticky průkazný (obr. 8).

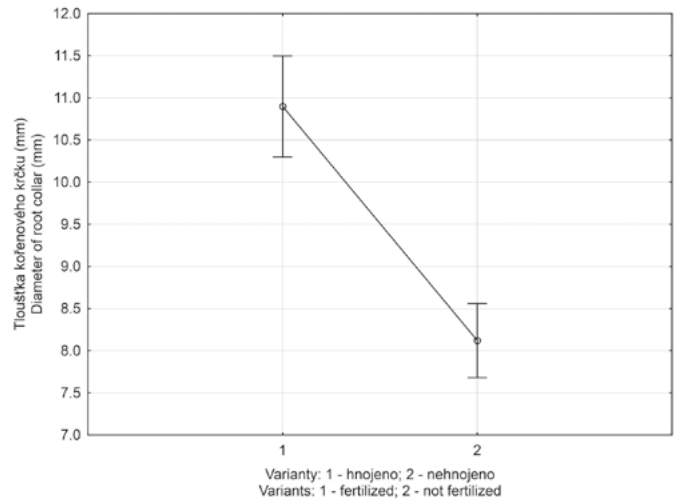
Podobná situace byla doložena i u výškového růstu sazenic, když průměrný výškový přírůst přihnojených sazenic byl za druhou vegetační dobu po aplikaci dřevěného popelu o 5,5 cm vyšší než přírůst sazenic



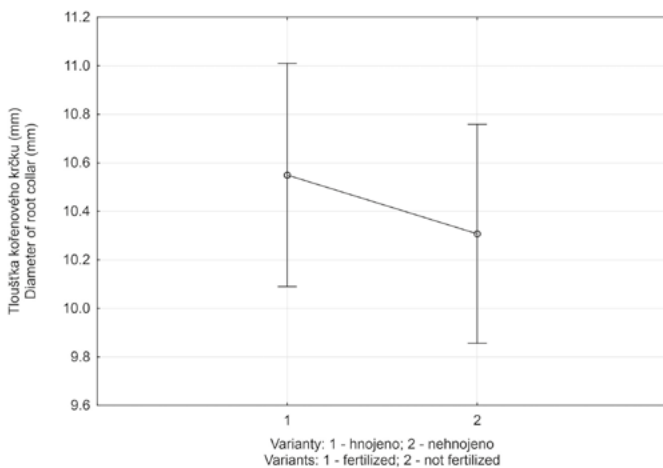
Obr. 5.
Průměrná tloušťka kořenového krčku borových sazenic v závislosti na provedeném hnojení dřevěným popelem u varianty Drčení
Fig. 5.
Mean diameter of root collar of pine plants related to wood ash fertilization in crushing of logging residues



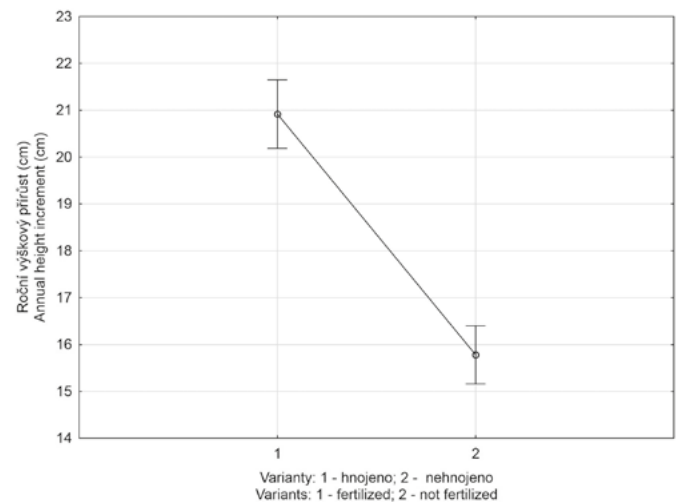
Obr. 6.
Průměrná tloušťka kořenového krčku borových sazenic v závislosti na provedeném hnojení dřevěným popelem u varianty Odvoz
Fig. 6.
Mean diameter of root collar of pine plants related to wood ash fertilization in removal of logging residues



Obr. 7.
Průměrná tloušťka kořenového krčku borových sazenic v závislosti na provedeném hnojení dřevěným popelem na lokalitě Vodárna
Fig. 7.
Mean diameter of root collar of pine plants related to wood ash fertilization in the Vodárna locality



Obr. 8.
Průměrná tloušťka kořenového krčku borových sazenic v závislosti na provedeném hnojení dřevěným popelem na lokalitě Obora
Fig. 8.
Mean diameter of root collar of pine plants related to wood ash fertilization in the Obora locality

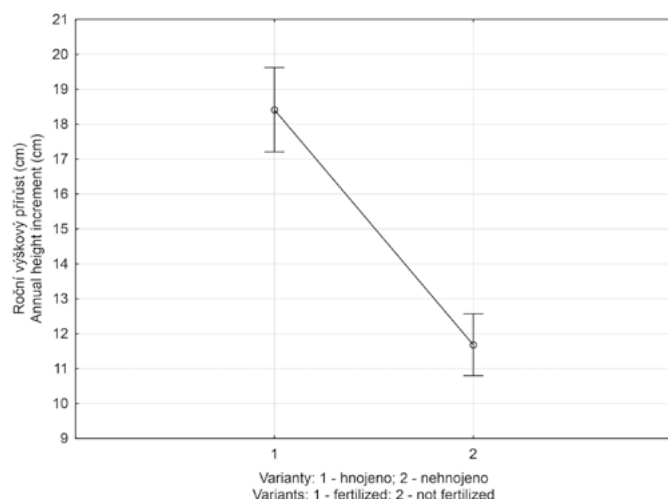


Obr. 9.
Roční výškový přírůstek borových sazenic v závislosti na provedeném hnojení dřevěným popelem
Fig. 9.
Annual height increment of pine plants related to wood ash fertilization

nehnojených (obr. 9). Přitom největší efekt hnojení se dostal stejně jako u tloušťkového růstu u varianty drcení (rozdíl 6,5 cm) a shrnutí klestu do valů (rozdíl 6 cm). Menší efekt hnojení byl naopak u odvozu klestu (rozdíl 4 cm) a u pálení (rozdíl 4,5 cm). Na nutričně bohatším stanovišti byl efekt hnojení na výškový růst méně výrazný, na chudých stanovištích byl naopak vysoce průkazný (obr. 10 a 11).

Ve vědecké literatuře jsou přitom uváděny jak pozitivní případy vlivu hnojení dřevěným popelem na růst sazenic (MAHMOOD et al. 2003), tak i případy, kdy významný vliv prokázán nebyl (UNGER, FERNANDEZ

1990). Známý jsou dokonce i negativní důsledky tohoto typu hnojení na růst sazenic (STAPLES, REES 2001; MANDRE et al. 2004). Ve studiích věnovaných vlivu hnojení dřevěným popelem na růst dřevin se přitom nejčastěji uvádí pozitivní efekt na organických půdách, kde se konstatuje dlouhodobá pozitivní růstová reakce, a spíše neutrální až negativní na půdách minerálních (AUGUSTO et al. 2008). Pro detailnější zhodnocení provedeného opatření bude provedena podrobnější analýza nadzemní i podzemní biomasy zkoumaných dřevin, jejich růst bude sledován i v dalších letech.

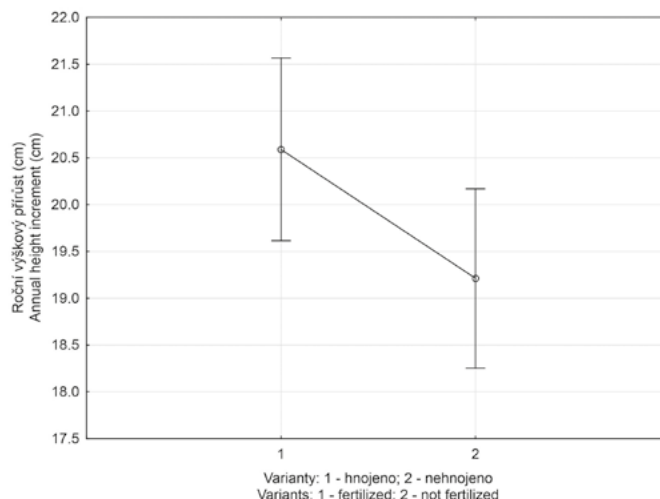


Obr. 10.

Roční výškový přírůst borových sazenic v závislosti na provedeném hnojení dřevěným popelem na lokalitě Vodárna

Fig. 10.

Annual height increment of pine plants related to wood ash fertilization in the Vodárna locality



Obr. 11.

Roční výškový přírůst borových sazenic v závislosti na provedeném hnojení dřevěným popelem na lokalitě Obora

Fig. 11.

Annual height increment of pine plants related to wood ash fertilization in the Obora locality

ZÁVĚR

Využívání těžebních zbytků v lesích pro energetické účely je stále častější jev i v České republice. Kromě pozitivních ekonomických efektů to však znamená i ochuzení lesních ekosystémů o část živin. Při zvýšené zátěži by to mohlo vést až ke snížení či narušení trvalosti lesní produkce. Bezprostředně lze negativní důsledky odčerpání části živin předpokládat u nového lesního porostu, který je založen na vytěžené ploše. Výsledky výzkumu z oblasti Městských lesů Doksy, s. r. o., naznačují, že nejprůzračnější růst mají sazenice vysázené na plochách, kde byly těžební zbytky před celoplošným naoráním rozdrčeny a rozptýleny po ploše. Naopak varianty s odvozem či spálením klestu byly z pohledu růstu borovice zatím méně příznivé. Pozitivně se však na růstu borovice projevilo cílené přihnojení dřevěným popelem, přičemž největší efekt se dostavil na chudých stanovištích. Nicméně je třeba podotknout, že se jedná o efekt dvou vegetačních period a dynamika růstu sazenic se může v dalších letech změnit.

Poděkování:

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektů Národní agentury pro zemědělský výzkum QJ1220099 „Optimalizace využití těžebních zbytků v lesích s ohledem na bilanci živin a trvalost lesní produkce“, QJ1520037 „Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky“ a projektu interní grantové agentury FLD ČZU v Praze IGA A17/12 „Ekologické aspekty pěstování dřevin“.

LITERATURA

- ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA M., DROZDOWSKI S., BRZEZIECKI B., RUTKOWSKA P., JABŁOŃSKA B. 2013. Effects of different methods of site preparation on natural regeneration of *Pinus sylvestris* in Eastern Poland. *Dendrobiology*, 71: 73–81.
- AUGUSTO L., BAKKER M.R., MEREDIEU C. 2008. Wood ash applications to temperate forest ecosystems - potential benefits and drawbacks. *Plant Soil*, 306:181–198.

- GRAHAM R.T., HARVEY A.E., JURGENSEN M.F. 1989. Effect of site preparation on survival and growth of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) seedling. *New Forests*, 3: 89–98.
- HELMISAARI H.S., HANSSON K.H., JACOBSON S., KUKKOLA M., LUIRO J., SAARSALMI A., TAMMINEN P., TVEITE B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. *Forest Ecology and Management*, 261: 1919–1927. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.02.015
- HILLE M., OUDEN J. DEN 2004. Improved recruitment and early growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings after fire and soil scarification. *European Journal of Forest Research*, 123: 213–218.
- HOPE G.D. 2007. Changes in soil properties, tree growth, and nutrition over a period of 10 years after stump removal and scarification on moderately coarse soils in interior British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 242: 625–635. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.01.072
- KARLSSON M., NILSSON U. 2005. The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 205: 183–197. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.10.046
- MAHMOOD S., FINLAY R. D., ERLAND S. 1999. Effects of repeated harvesting of forest residues on the ectomycorrhizal community in a Swedish spruce forest. *New Phytologist*, 142: 577–585.
- MAHMOOD S., FINLAY R. D., FRANSSON A. M., WALLANDER H. 2003. Effects of hardened wood ash on microbial activity, plant growth and nutrient uptake by ectomycorrhizal spruce seedlings. *FEMS Microbiology Ecology*, 43: 121–131.
- MANDRE M., KORSJUKOV R., OTS K. 2004. Effect of wood ash application on the biomass distribution and physiological state of Norway spruce seedlings on sandy soils. *Plant and Soil*, 265: 301–314
- MATERNA J. 1963. Výživa a hnojení lesních porostů. Praha, SZN: 227 s.

- NILSSON U., ÖRLANDER G. 1999. Vegetation management on grass – dominated clearcuts planted with Norway spruce in southern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 1015–1026.
- ÖRLANDER G., EGNELL G., ALBREKTSON A. 1996. Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine. *Forest Ecology and Management*, 86: 27–37. DOI: 10.1016/S0378-1127(96)03797-8
- REMEŠ J., BÍLEK L., FULÍN M. 2015. Vliv zpracování těžebních zbytků a následné mechanické přípravy půdy na chemické vlastnosti půd přirozených borů. *Zprávy lesnického výzkumu*, 60: 138–146.
- STAPLES T.E., REES K.C.J. VAN 2001. Wood/sludge ash effects on white spruce seedling growth. *Canadian Journal of Soil Science*, 81: 85–92.
- ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R. 2009. Hodnocení obsahu a zásoby živin v lesních porostech – literární přehled. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54: 307–315.
- UNGER Y.L., FERNANDEZ I.J. 1990. The short-term effects of wood ash amendment on forest soils. *Water, Air and Soil Pollution*, 49: 299–314.

EFFECT OF MECHANICAL SOIL PREPARATION AND WOOD ASH FERTILIZATION ON THE GROWTH OF SCOTS PINE PLANTS

SUMMARY

Beside positive economic effects, complete harvesting of forest residues can also lead to the loss of nutrients (MATERNA 1963; ŠRÁMEK et al. 2009) and changes in ectomycorrhizal community (MAHMOOD et al. 1999; HOPE 2007) in forest soils having negative impact on the growth of following forest generation. In this context, sustainable forest management must be based on a precise knowledge of the ecological effect of performed harvest operations. The paper analyses the impact of alternative ways of using logging residues and mechanical soil preparation on the growth of pine seedlings. Research was conducted on the territory of Doksy Municipal Forests Ltd. (Czech Republic) at sites of natural pine forests. The growth of pine plants was assessed on the research areas, where four treatments of manipulation and utilization of logging residues were applied – (i) burning of logging residues on the site, (ii) removal of logging residues and its energetic use, (iii) bunching of logging residues into heaps, and (iv) chipping of wood residues on the site. Further, a large-scale ploughing of soil was performed in all treatments. Each second plot was fertilized with wood ash. The dose of ash was 1.065 t/ha, which is an equivalent of 3.71 g of phosphorus per plant (5 tablets of Silvamix® fertiliser). The first results of evaluation of Scots pine seedlings growth confirmed the impact of measures taken. Pine plants showed the best growth in plots where logging residues were chipped and distributed on the whole area. In this treatment, diameter of root collar was significantly higher (10.7 mm) compared with the variant removal of logging residues (8.8 mm) and burning of logging residues (9.5 mm) (Fig. 1). Annual height increment (year 2014) (Fig. 2) was significantly higher on the variant chipping of wood residues (19.7 cm) compared with all other treatments. Similar results were also confirmed for the total height of plants (Fig. 3). Fertilizing by wood ash is also shown as a positive measure for diameter and height increment of plants in particular on very poor sites. Fig. 4 shows statistically significant effect of fertilization on the diameter of root collar (10.8 mm) compared with plots without treatment (9.1 mm). The effect of fertilization was more pronounced on treatments with chipping of wood residues and bunching of logging residues into heaps. On the contrary, in treatments with burning of logging residues and removal of logging residues, this effect was relatively low without statistical significance (Fig. 5 and 6). The effect of ash fertilization on the growth of pine seedlings was in general higher on poor sites (forest types 0M) compared with richer sites (forest types 0K) (Fig. 7, 8, 9, 10 and 11). Research results are consistent with research hypothesis and conclusions of other published papers, nevertheless longer period of observation is necessary in order to understand the very complex long-term relation between soil environment and plant growth.

Zasláno/Received: 23. 10. 2015

Přijato do tisku/Accepted: 25. 04. 2016