

VLIV ZPRACOVÁNÍ TĚŽEBNÍCH ZBYTKŮ A NÁSLEDNÉ MECHANICKÉ PŘÍPRAVY PŮDY NA CHEMICKÉ VLASTNOSTI PŮD PŘÍROZENÝCH BORŮ

EFFECT OF PROCESSING OF LOGGING RESIDUES AND FOLLOWING MECHANICAL SOIL PREPARATION ON THE SOIL CHEMICAL PROPERTIES OF NATURAL PINE STANDS

JIŘÍ REMEŠ¹⁾ ✉ - LUKÁŠ BÍLEK¹⁾ - MARTIN FULÍN^{1,2)}

¹⁾ Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, CZ - 165 21 Praha 6 - Suchbátka

²⁾ Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady 136, CZ - 252 02 Jíloviště

✉ e-mail: remes@fd.czu.cz

ABSTRACT

This paper presents a research project aimed at optimizing the utilization of logging residues in forests with regard to nutrient balance and sustainability of forest production. After final harvest in each locality, following treatments of logging residues use and soil preparation were applied: (1) burning of logging residues in the terrain, (2) removal of logging residues, (3) bunching of logging residues into heaps, and (4) chipping of wood residues in the terrain. Further large-scale soil preparation with forest plough was performed in all treatments. The first results in a model locality Municipal Forests Doksy (Central Bohemian Region) confirmed immediate impact of soil preparation and logging residues use on selected soil chemical properties in the uppermost soil layer. In deeper soil layers the differences among treatments were lower. In some cases basic hypotheses about the impact of particular treatment on the poorest sites were not confirmed as in the case of higher humus content and lower soil reaction in treatments with burning of logging residues.

Klíčová slova: těžební zbytky, příprava půdy, chemismus půdy, trvalost lesní produkce

Key words: logging residues, soil preparation, soil chemistry, sustainability of forest production

ÚVOD

V současné době se do popředí lesnického zájmu dostává využití těžebních zbytků. Hlavním cílem je především jejich energetické využití, což lze spatřovat mimo jiné i jako důsledek mezinárodních závazků České republiky vyplývajících ze směrnice 2009/28/ES, která určuje pro ČR závazný cíl podílu obnovitelných zdrojů energie na konečné spotřebě energie ve výši 13 % v roce 2020. Protože je zřejmé, že biomasa (a tím i lesní štěpka) tvoří značný podíl z obnovitelných zdrojů, které se u nás využívají pro výrobu energie (tepla i elektřiny), je význam této suroviny značný. Dalším faktorem, který tento zájem vyvolává, je bezprostřední ekonomický profit pro vlastníky lesů z té části lesní produkce, ze které byl ještě do nedávné minulosti finanční zisk nemožný.

Na druhé straně existují obavy, aby tímto způsobem nedocházelo v důsledku systematického odnímání důležitých živin k postupné degradaci lesních stanovišť (zejména půdy). Je totiž známé, že koncentrace důležitých živin (N, P, K) jsou nejnižší ve dřevě kmenů (které se také těžbou z porostů odstraňuje) a vyšší jsou ve dřevě větví, v kůře, v kořenech a v asimilačních orgánech (MATERNA 1963; ŠRÁMEK et al. 2009), tedy vesměs v těžebních zbytcích, jež se klasickým lesnickým a dřevařským způsobem nevyužívají. Když k tomu připočítáme ještě nepříznivý stav lesních půd v České re-

publice, projevující se zejména acidifikací (HRUŠKA, CIENCIALA 2001; MATERNA 2002; REMEŠ, PODRÁZSKÝ 2006), a s tím související problémy s výživou lesních dřevin (MATERNA 2002; ŠRÁMEK et al. 2009), ukazuje se předpoklad možného vyčerpání zásoby kationtů v lesních půdách (KREUTZER 1979; SMITH et al. 1986; BUBLINEC, ILAVSKÝ 1990; CORBEELS et al. 2005) v případě odnímání celé biomasy stromů jako reálný. Trvale udržitelné hospodaření v lesích je přitom možné pouze za předpokladu, že jsou dlouhodobě vyrovnané vstupy a výstupy látek (živin) z (do) ekosystému (půdy). HYVÖNEN et al. (2000) považuje komplexní zpracování biomasy dřevin za negativní způsob hnojení, protože přináší ztrátu živin. Celá řada autorů proto doporučuje, aby v případě nutnosti využívat biomasu stromů kompletně bylo zároveň prováděno doplňování zásoby živin aplikací melioračních materiálů, přičemž může úprava chemismu půdy navíc přispět i ke zlepšení zdravotního stavu a vitality lesních porostů (KATZENSTEINER et al. 1995; JANDL et al. 2001; PODRÁZSKÝ et al. 2005; VACEK et al. 2009).

Aktuálnost výše zmíněné problematiky je důvodem řešení výzkumného projektu, který je zaměřený na optimalizaci využití těžebních zbytků v lesích s ohledem na bilanci živin a trvalost lesní produkce. Základním cílem řešeného projektu je definovat a kvantifikovat možné přínosy i případná rizika využívání zbytků po těžbě dřeva, které se dosud ve velké míře obvyklým způsobem nevyužívaly.

MATERIÁL A METODIKA

Výzkum probíhá na modelovém území Městských lesů Doksy, s. r. o., (cca 60 km severně od Prahy), které se nacházejí v přírodní lesní oblasti č. 18 Severočeská pískovcová plošina a Český ráj. Pro hodnocení vlivu přípravy půdy a zpracování těžebních zbytků byly vybrány 3 lokality. Dvě lokality (Vodárna a Tankovka) se nacházejí na souboru lesních typů (SLT) 0M – chudý bor (*Querceto-Pinetum oligotrophicum* s nadmořskou výškou cca 270 m a rovinatým terénem přecházejícím ve velmi mírný svah. Třetí lokalita (Obora) se nachází v příznivějších stanovištních podmínkách SLT 2K – kyselá buková doubrava (*Fagetum-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 (v těsné blízkosti výzkumných ploch byly na všech lokalitách popsány pedologické charakteristiky a odebrány vzorky vždy ze čtyř půdních kopaných sond). Založení experimentů s variantním využitím těžebních zbytků a navazující plošnou přípravou půdy předcházela na konci zimy roku 2009 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:

1. Spálení těžebních zbytků a ponechání vzniklého popela na místě (experiment s přihnojením popelem ze spalovny biomasy – lesní štěpky – byl založen až následně po odběrech vzorků půdy a není předmětem tohoto hodnocení).
2. Odvoz těžebních zbytků z vytěžené plochy bez náhrady (odvoz štěpky a její energetické využití).
3. Kontrace (shrnutí) klestu do valů.
4. Rozštěpkování těžebních zbytků drtičem klestu a jejich rozptýlení po obnovované ploše.

Později byla u všech variant provedena celoplošná příprava půdy naoraním v souladu s obvyklým postupem při obnově borových porostů na těchto chudých stanovištích. Poté zde byly založeny experimentální plochy (velikost cca 0,03 ha), které byly následně zalesněny borovicí lesní a dubem zimním (jaro roku 2009); všechny plochy byly oploceny, aby se vyloučil vliv zvěře.

Sledované a hodnocené parametry

Na výzkumných plochách jsou sledovány růstové parametry sazenic, faktory porostního prostředí (teplota, vlhkost), chemismus (včetně obsahu rizikových těžkých kovů) a biologická aktivita půdy, resp. substrátu vzniklého mechanickou přípravou půdy a manipulací s těžebními zbytky. V tomto příspěvku jsou shrnuty výsledky hodnocení vybraných parametrů chemismu půdy ve třech horizontech (0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm). Konkrétně se jedná o:

- obsah oxidovatelného uhlíku, obsah humusu, obsah celkového dusíku Kjeldahlovou metodou;
- půdní reakce – pH v H₂O a 1 N KCl, charakteristiky sorpčního komplexu: S – obsah bází, T-S (H) – hydrolytická acidita, T – kationtová výměnná acidita a V – nasycení sorpčního komplexu bázemi;
- přístupné živiny (P, K, Ca, Mg) stanovené metodou Mehlich III;
- charakteristiky výměnné acidity stanovené ve vyluhu KCl.

Na každé lokalitě byly na podzim roku 2009 (po první vegetační době) provedeny odběry půdních vzorků ze třech sond, celkem tedy byly u každé varianty a u každého horizontu odběry 9krát opakovány (s výjimkou varianty klest ve valech, kde se jednalo pouze o 6 opakování, protože tato varianta nebyla realizována na lokalitě Tankovka). Půdní vzorky byly odebrány ze dna naoraných brázd. Vzhledem k tomu, že data neměla normální rozdělení, byly pro posouzení významnosti rozdílů mezi variantami použity neparametrické testy (Kruskalův-Wallisův test s mnohonásobným porovnáváním). Výpočty byly provedeny v prostředí statistického softwaru Statistica.

VÝSLEDKY A DISKUSE

V tab. 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty sledovaných parametrů kyselosti a stavu sorpčního komplexu svrchní vrstvy substrátu (0–10 cm), do kterého byly vysázeny sazenice. U jednotlivých lokalit jde o průměrné hodnoty ze tří odběrů, v případě výsledků ze všech lokalit dohromady se jedná o průměr z devíti (šesti u varianty 3. Koncentrace klestu do valů) odběrů. Z výsledků jsou patrné poměrně výrazné rozdíly u jednotlivých variant a také mezi lokalitami, kdy spolu výsledky mnohdy nekorespondují. V případě půdní kyselosti bylo zjištěno průkazně nižší pH u variant, kde byl klest spálen nebo rozdrčen, a to zejména na lokalitě Vodárna (pH H₂O 4,3 u pálení; 3,5 u drčení) a Tankovka (pH H₂O 3,6 u pálení; 4,2 u drčení). Na lokalitě Obora byly rozdíly mezi variantami výrazně menší a nejnižší pH bylo zjištěno tam, kde byl klest spálen (pH H₂O 4,4) nebo odvezen (pH H₂O 4,1; tab. 1). Při statistické analýze výsledků půdních analýz ze všech ploch dohromady byl zjištěn průkazný rozdíl u půdní kyselosti pouze mezi variantou shrnutí klestu do valů (nejvyšší pH H₂O 4,9) a spálením klestu (pH H₂O 4,1; obr. 1). S narůstající hloubkou půdy se pH zvyšovalo, základní trend rozdílů mezi variantami byl přitom zachován (tab. 2 a 3). Zjištěné výsledky jsou poněkud překvapující zejména u varianty, kde byl klest spálen. Je obecně známo, že popel ze spálené dřevní biomasy je alkalický a měl by tudíž pH zvyšovat (např. DEMEYER et al. 2001; AUGUSTO et al. 2008). Možné vysvětlení spočívá v tom, že klest byl na plochách nejprve ručně (bez mechanického narušení povrchu půdy, a tím i humusu) soustředěn do několika hromad, kde byl následně spálen.

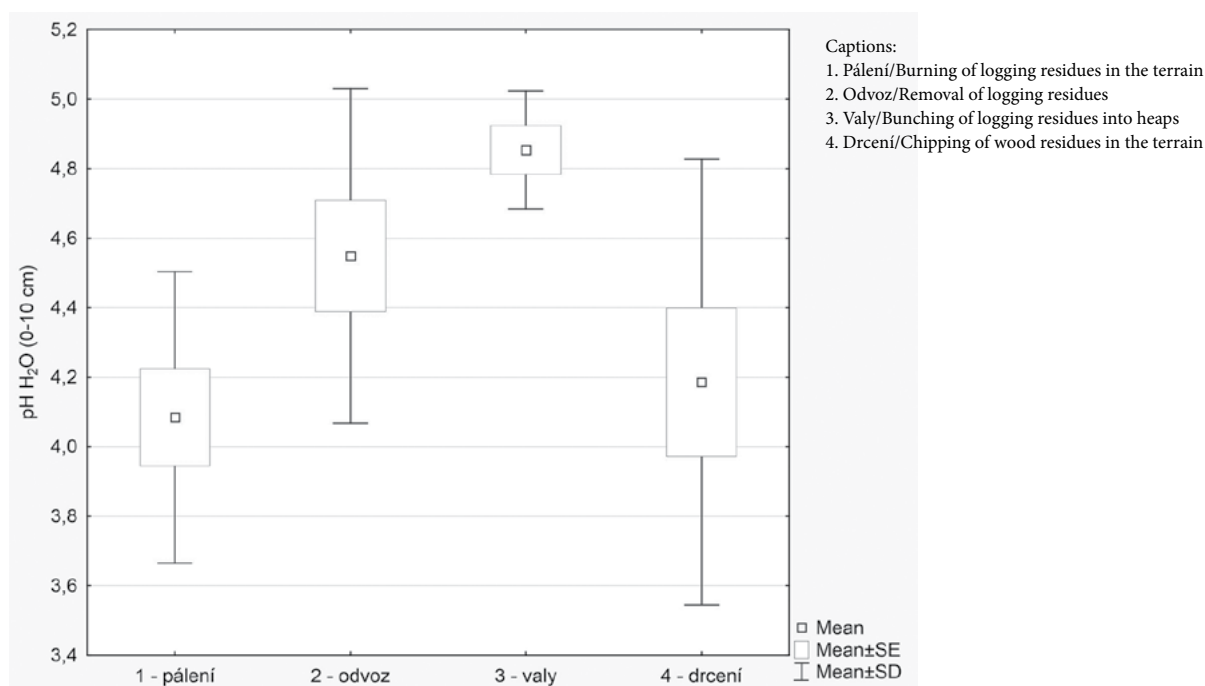
Tab. 1.

Acidita půdy a parametry sorpčního komplexu ve vrstvě půdy 0–10 cm
Soil acidity and sorption complex characteristics in 0–10 cm soil depth

Lokalita/Locality	Varianta/ Treatment	pH H ₂ O	pH KCl	S mmol. kg ⁻¹	T-S mmol.kg ⁻¹	T mmol. kg ⁻¹	V (%)
Vodárna	1. Pálení	4,27	3,29	45,1	209,8	254,9	13,07
	2. Odvoz	5,17	4,63	0,1	14,0	14,1	0,38
	3. Valy	4,84	4,50	0,1	21,4	21,5	0,26
	4. Drčení	3,49	2,74	25,3	352,8	378,1	6,72
Tankovka	1. Pálení	3,55	3,15	19,8	206,7	226,4	7,77
	2. Odvoz	4,34	4,12	0,1	14,4	14,5	0,35
	4. Drčení	4,19	3,94	1,4	26,0	27,4	5,74
Obora	1. Pálení	4,43	4,17	8,1	32,1	40,2	19,89
	2. Odvoz	4,13	3,89	5,1	26,0	31,2	16,00
	3. Valy	4,87	4,45	5,3	31,2	36,5	12,78
	4. Drčení	4,87	4,65	14,3	21,9	36,2	36,52
Průměr/Average	1. Pálení	4,08a	3,54a	24,3a	149,5a	173,8a	13,58a
	2. Odvoz	4,55a,b	4,21a,b	1,7b	18,2b	19,9b	5,58b
	3. Valy	4,85b	4,47a,b	2,7a,b	26,3a,b	29,0a,b	6,52b
	4. Drčení	4,19a,b	3,78a,b	13,7a,b	133,6a,b	147,2a	16,33a,b

Captions: 1. Pálení/Burning of logging residues in the terrain; 2. Odvoz/Removal of logging residues; 3. Valy/Bunching of logging residues into heaps; 4. Drčení/Chipping of wood residues in the terrain

Poznámka/Note: Průměrné hodnoty s rozdílnými indexy jsou navzájem statisticky průkazně odlišné/Average values with different letters are statistically different from each other.



Obr. 1. Půdní reakce ve svrchní vrstvě půdy (0–10 cm) podle jednotlivých variant (zahrnuje hodnoty ze všech ploch a lokalit)

Fig. 1. Soil reaction in 0–10 cm soil depth for particular treatments (average values calculated from all plots and study sites)

Tab. 2. Acidita půdy a parametry sorpčního komplexu ve vrstvě půdy 10–20 cm
 Soil acidity and sorption complex characteristics in 10–20 cm soil depth

Lokalita/Locality	Varianta/ Treatment	pH H ₂ O	pH KCl	S mmol. kg ⁻¹	T-S mmol.kg ⁻¹	T mmol.kg ⁻¹	V (%)
Vodárna	1. Pálení	4,56	3,64	1,3	93,5	94,8	1,00
	2. Odvoz	5,48	4,99	0,1	3,6	3,6	1,41
	3. Valy	5,38	5,11	0,1	5,6	5,6	8,9
	4. Drcení	3,84	3,08	6,9	154,3	161,1	38,2
Tankovka	1. Pálení	3,80	3,47	2,5	9,08	9,33	2,02
	2. Odvoz	4,33	4,10	0,1	13,2	13,2	0,41
	4. Drcení	4,11	3,83	0,1	25,2	25,2	0,23
Obora	1. Pálení	4,54	4,26	6,5	17,8	24,3	26,52
	2. Odvoz	4,45	4,10	5,9	17,2	23,0	25,34
	3. Valy	5,06	4,63	9,6	25,8	35,4	25,85
	4. Drcení	4,74	4,46	19,6	17,0	36,5	53,39
Průměr/Average	1. Pálení	4,30a	3,79a	3,4a	67,4a	70,8a	9,85a
	2. Odvoz	4,75a,b	4,40a,b	2,0a	11,3b	13,3b	9,05a
	3. Valy	5,22b	4,87b	4,8a	15,7a,b	20,5a,b	13,37a
	4. Drcení	4,23a	3,79a	8,8a	65,5a	74,3a	19,15a

Tab. 3. Acidita půdy a parametry sorpčního komplexu ve vrstvě půdy 20–30 cm
 Soil acidity and sorption complex characteristics in 20–30 cm soil depth

Lokalita/Locality	Varianta/ Treatment	pH H ₂ O	pH KCl	S mmol. kg ⁻¹	T-S mmol.kg ⁻¹	T mmol. kg ⁻¹	V (%)
Vodárna	1. Pálení	4,74	4,15	0,1	51,1	51,2	0,46
	2. Odvoz	5,13	4,46	0,1	8,1	8,2	0,80
	3. Valy	5,43	5,13	0,1	4,8	4,8	1,07
	4. Drcení	3,93	3,36	4,0	80,1	84,1	4,52
Tankovka	1. Pálení	4,20	4,03	0,6	32,8	33,4	1,12
	2. Odvoz	4,22	3,94	0,1	11,4	11,4	0,45
	4. Drcení	4,17	3,90	6,8	27,3	34	19,88
Obora	1. Pálení	4,69	4,37	6,6	17,1	23,6	28,96
	2. Odvoz	4,32	3,99	1,7	13,4	15,0	11,57
	3. Valy	5,16	4,83	7,3	17,7	25,0	28,12
	4. Drcení	4,91	4,60	6,1	17,3	23,3	24,62
Průměr/Average	1. Pálení	4,54a,b	4,18a,b	2,4a,b	33,6a,b	36,1a,b	10,18a
	2. Odvoz	4,56a,b	4,13b	0,6a	11,0b	11,6b	4,27a
	3. Valy	5,30a	4,98a	3,7a,b	11,2b	14,9a,b	14,60a
	4. Drcení	4,34b	3,96b	5,6b	41,5a	47,1a	16,34a

Captions: 1. Pálení/Burning of logging residues in the terrain; 2. Odvoz/Removal of logging residues; 3. Valy/Bunching of logging residues into heaps; 4. Drcení/Chipping of wood residues in the terrain

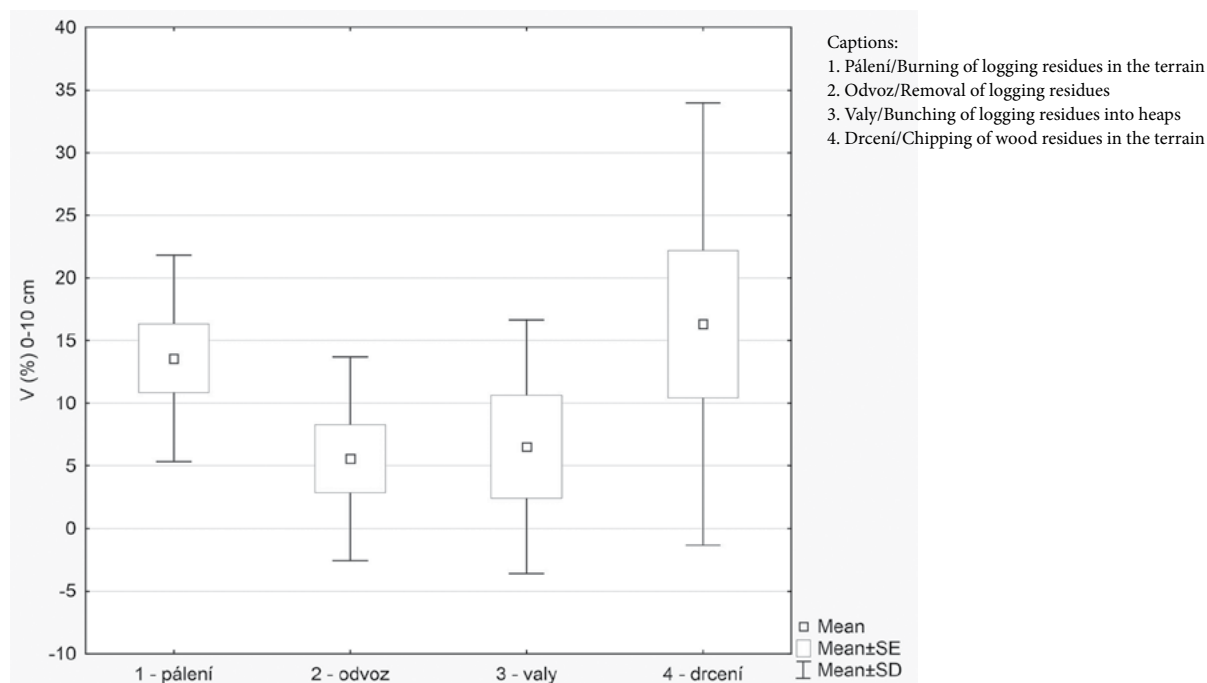
Poznámka/Note: Průměrné hodnoty s rozdílnými indexy jsou navzájem statisticky průkazně odlišné/Average values with different letters are statistically different from each other

Popel vzniklý ze spálených hromad klestu však nebyl po ploše následně rozhrnutý, a proto je možné, že místa odběru půdních vzorků nebyla tímto popelem výrazně dotčena. Velký vliv měla pravděpodobně provedená mechanická příprava půdy naoráním, která výrazně promísila půdní profil a překryla vliv zpracování těžebních zbytků.

Naopak u parametrů sorpčního komplexu byla situace opačná a varianty s využitím těžebních zbytků na obnovované ploše (pálení a drčení) vykazaly vyšší obsah bází i vyšší nasycenost sorpčního komplexu (obr. 2). Statisticky průkazné byly přitom rozdíly mezi variantou pálení ($S - 24,3 \text{ mmol.kg}^{-1}$; $V - 13,6\%$) a variantami odvozu klestu ($S - 1,7 \text{ mmol.kg}^{-1}$; $V - 5,6\%$) a shrnutím klestu do valů ($S - 2,7 \text{ mmol.kg}^{-1}$; $V - 6,5\%$). Relativně velmi nízké hodnoty nasycenosti, resp. extrémně vysoká nenasyčenost sorpčního komplexu odpovídají charakteru půdy – podzolu arenického s přirozeně nízkým sorpčním potenciálem. Toto zjištění se týká především prvních dvou lokalit, které se nacházejí na chudém SLT 0M. Naproti tomu stanoviště SLT 2K (lokality Obora) je z hlediska obsahu bází a zejména nasycenosti sorpčního komplexu výrazně (statisticky průkazně) příznivější a zároveň jsou zde, stejně jako v případě půdní kyselosti, rozdíly mezi variantami nižší. V hlubších horizontech (10–20 cm; 20–30 cm) se rozdíly mezi variantami snižovaly, pouze varianta s rozdrčením a po ploše rozptýleným klestem si udržovala příznivější hodnoty (tab. 2 a 3). Obdobné výsledky přinesly analýzy obsahu humusu, oxidovatelného uhlíku, dusíku a spalitelných látek i hodnoty složek výměnné titrační acidity (tab. 4, 5 a 6), avšak pouze na chudších stanovištích (Vodárna a Tankovka), kde byly ve svrchní vrstvě půdy doloženy signifikantně nejvyšší obsahy humusu, resp. uhlíku, dusíku a výměnné titrační acidity u varianty, kde byl klest spálen (29% humusu na Vodárně a 13% na Tankovce). Také na plochách, kde byl klest rozdrčen, byl obsah humusu vyšší (13%, resp. 4%) než na plochách, kde byl klest odvezen nebo shrnut do valů. Naproti tomu na lokalitě Obora byly rozdíly mezi variantami relativně malé a výsledky byly poměrně vyrovnané. Kromě výměnné titrační

acidity, která byla i na lokalitě Obora významně vyšší na plochách, kde došlo ke spálení klestu. V hlubších vrstvách půdy se rozdíly mezi variantami snižovaly a nebyly shledány statisticky významné. Přes výše uvedenou variabilitu výsledků lze celkově konstatovat, že s mechanizovaným odstraněním těžebních zbytků dojde často i ke shrnutí části vrstvy nadložního humusu, čímž dochází ke ztrátám 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 jako následek mechanické přípravy půdy konstatuje také např. GRAHAM et al. (1989).

V obsahu přístupných živin (Mehlich III) byly mezi jednotlivými variantami také zjištěny určité rozdíly, které jsou však vesměs pod hranicí průkaznosti (s výjimkou signifikantně vyššího obsahu vápníku v nejsvrchnější vrstvě půdy u varianty pálení oproti variantě odvozu klestu, tab. 7, 8 a 9). Přesto se zdá být zřejmé, že odvoz a shrnutí těžebních zbytků ze zalesňované plochy v kombinaci s mechanickou přípravou půdy snížil ve svrchní vrstvě substrátu na přirozeně velmi chudých stanovištích (lokality Vodárna a Tankovka) obsah přístupných živin (zejména vápníku a draslíku) a dusíku, a to především oproti variantě, kde byl klest spálen (tab. 7, obr. 3 a 4). Zajímavé je zjištění, že obsah přístupných živin na „bohatším“ stanovišti (lokality Obora – 2K) není v porovnání s ostatními lokalitami (0M) významně vyšší. Výjimkou je fosfor, jehož koncentrace v půdě byla na lokalitě Obora průkazně vyšší, a to u všech variant a v celém zkoumaném půdním profilu (0–30 cm). Koncentrace fosforu jsou však na SLT 0M velmi až extrémně nízké. U všech sledovaných prvků přitom nebyl zjištěn výrazný gradient jejich koncentrace v závislosti na hloubce půdy. Koncentrace všech sledovaných prvků jsou výrazně nižší (o řád i více), než je obvyklé u organických horizontů, což odpovídá použité přípravě půdy.

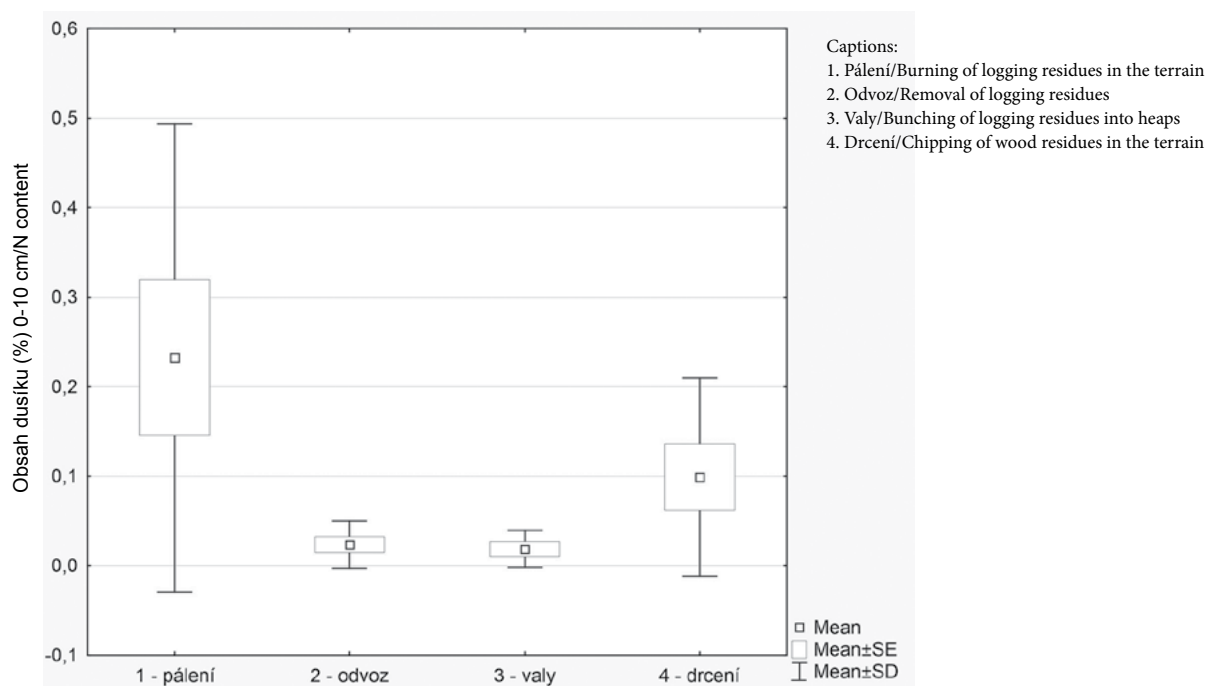


Obr. 2.

Nasycenost sorpčního komplexu bázemi ve svrchní vrstvě půdy (0–10 cm) podle jednotlivých variant (zahrnuje hodnoty ze všech ploch a lokalit)

Fig. 2.

Base nutrients saturation in 0–10 cm soil depth for particular treatments (average values calculated from all plots and study sites)


Obr. 3.

Obsah dusíku (podle Kjeldahla) ve svrchní vrstvě půdy (0–10 cm) podle jednotlivých variant (zahrnuje hodnoty ze všech ploch a lokalit)

Fig. 3.

N content (Kjeldahl) in 0–10 cm soil depth for particular treatments (average values calculated from all plots and study sites)

Tab. 4.

Obsah humusu, dusíku, uhlíku, spalitelných látek a výměnné titrační acidity ve vrstvě půdy 0–10 cm

Total humus content, N content, C_{ox} , loss on ignition, (%) and exchange titration acidity characteristics in 0–10 cm soil depth

Lokalita/Locality	Varianta/Treatment	Humus ¹ %	Oxidovatelný uhlík ² %	Spalitelné látky ³ %	Dusík Kjeldahl ⁴ %	Výměnná titr. acid. ⁵ mmol.kg ⁻¹	Výměnný H ⁺ ⁶ mmol.kg ⁻¹
Vodárna	1. Pálení	29,19	16,93	28,65	0,36	827,1	24,1
	2. Odvoz	0,61	0,36	0,82	0,00	15,8	0,3
	3. Valy	0,77	0,44	1,17	0,0005	23,2	2,8
	4. Drcení	13,02	7,55	23,16	0,25	738,6	105,9
Tankovka	1. Pálení	12,86	7,46	20,82	0,29	488,2	28,3
	2. Odvoz	1,41	0,82	0,91	0,01	26,3	0,3
	4. Drcení	3,97	2,30	1,31	0,02	56,3	0,3
	Obora	1. Pálení	1,14	0,66	2,24	0,04	184,3
2. Odvoz		0,94	0,55	2,01	0,06	159,1	2,2
3. Valy		0,88	0,51	2,26	0,04	141,5	0,3
4. Drcení		0,81	0,47	1,93	0,03	139,5	0,3
Průměr/Average	1. Pálení	14,40a	8,35a	17,24a	0,23a	499,9a	17,6a
	2. Odvoz	0,99b	0,57b	1,25b	0,02b	67,1b	0,9b
	3. Valy	0,83b	0,48b	1,71a,b	0,02b	82,3b	1,5b
	4. Drcení	5,93a,b	3,44a,b	8,80a,b	0,10a,b	311,5a,b	35,5a,b

Tab. 5.

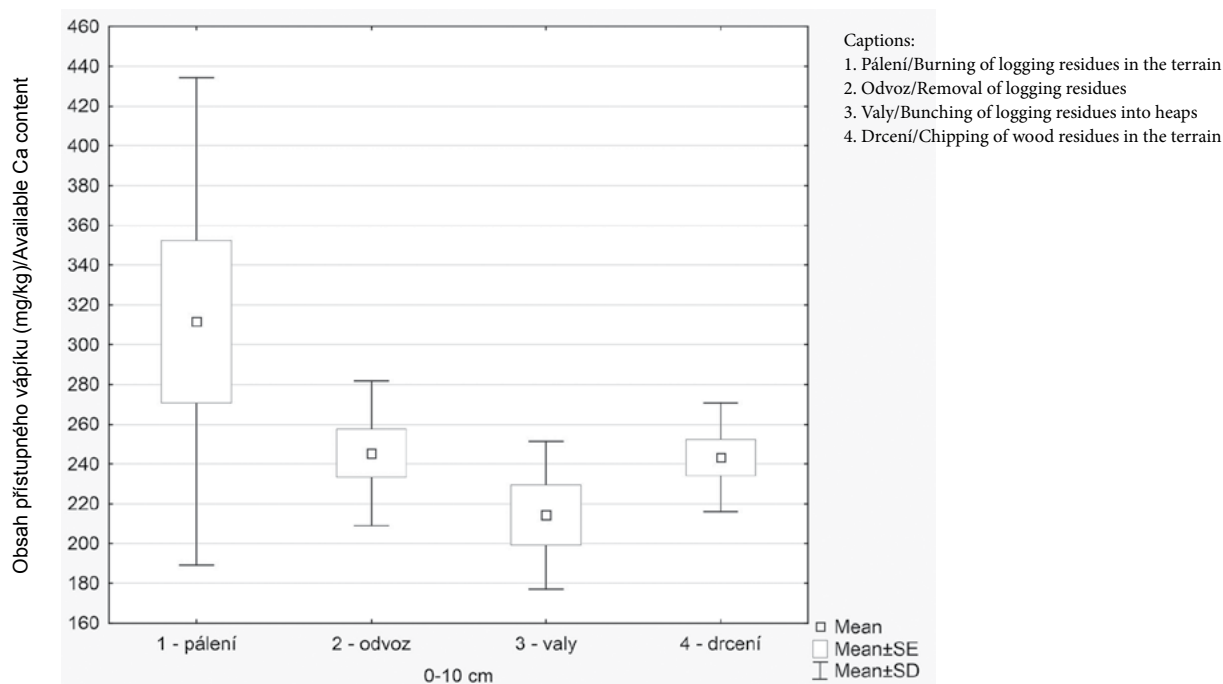
Obsah humusu, dusíku, uhlíku, spalitelných látek a výměnné titrační acidity ve vrstvě půdy 10–20 cm

Total humus content, N content, C_{ox} , loss on ignition, (%) and exchange titration acidity characteristics in 10–20 cm soil depth

Lokalita/Locality	Varianta/Treatment	Humus ¹ %	Oxidovatelný uhlík ² %	Spalitelné látky ³ %	Dusík Kjeldahl ⁴ %	Výměnná titr. acid. ⁵ mmol.kg ⁻¹	Výměnný H ⁺ ⁶ mmol.kg ⁻¹
Vodárna	1. Pálení	4,10	2,38	5,73	0,08	237,0	4,6
	2. Odvoz	0,27	0,16	0,22	0,00	0,3	0,3
	3. Valy	0,14	0,08	0,21	0,00	0,3	0,3
	4. Drcení	5,49	3,19	8,53	0,12	390,8	52,3
Tankovka	1. Pálení	3,21	1,86	7,17	0,10	199,3	2,5
	2. Odvoz	0,84	0,49	0,75	0,01	29,6	0,3
	4. Drcení	3,17	1,84	1,50	0,02	68,1	0,3
	Obora	1. Pálení	0,53	0,31	1,38	0,03	120,4
2. Odvoz		0,52	0,30	1,56	0,05	93,9	1,7
3. Valy		0,71	0,41	1,93	0,03	98,5	0,3
4. Drcení		0,38	0,22	1,45	0,03	95,5	0,3
Průměr/Average	1. Pálení	2,62a	1,52a	4,76a	0,07a	185,6a	2,7a
	2. Odvoz	0,54a	0,32a	0,84a	0,02a	41,3b	0,7a
	3. Valy	0,43a	0,25a	1,07a	0,01a	49,4a,b	0,3a
	4. Drcení	3,01a	1,75a	3,83a	0,05a	184,8a,b	17,6a

Captions: 1. Pálení/Burning of logging residues in the terrain; 2. Odvoz/Removal of logging residues; 3. Valy/Bunching of logging residues into heaps; 4. Drcení/Chipping of wood residues in the terrain; ¹Humus; ²Cox; ³Lost on ignition; ⁴N (Kjeldahl); ⁵Exchange titration acidity; ⁶Exchangable H+

Poznámka/Note: Průměrné hodnoty s rozdílnými indexy jsou navzájem statisticky průkazně odlišné/Average values with different letters are statistically different from each other

**Obr. 4.**

Obsah přístupného vápníku (Mehlich III.) ve svrchní vrstvě půdy (0–10 cm) podle jednotlivých variant (zahrnuje hodnoty ze všech ploch a lokalit)

Fig. 4.

Available Ca content (Mehlich III) in 0–10 cm soil depth for particular treatments (average values calculated from all plots and study sites)

Tab. 6.

Obsah humusu, dusíku, uhlíku, spalitelných látek a výměnné titrační acidity ve vrstvě půdy 20–30 cm

Total humus content, N content, C_{ox} , loss on ignition, (%) and exchange titration acidity characteristics in 20–30 cm soil depth

Lokalita/Locality	Varianta/ Treatment	Humus ¹ %	Oxidovatelný uhlík ² %	Spalitelné látky ³ %	Dusík Kjeldahl ⁴ %	Výměnná titr. acid. ⁵ mmol.kg ⁻¹	Výměnný H ⁺ ⁶ mmol.kg ⁻¹
Vodárna	1. Pálení	1,55	0,90	2,38	0,02	105,6	2,6
	2. Odvoz	0,24	0,14	0,42	0,00	11,3	0,3
	3. Valy	0,69	0,40	0,16	0,00	0,3	0,3
	4. Drcení	2,73	1,58	3,48	0,05	203,5	33,5
Tankovka	1. Pálení	1,46	0,85	2,29	0,02	95,5	4,9
	2. Odvoz	1,08	0,63	0,58	0,01	17,2	0,3
	4. Drcení	1,83	1,06	1,33	0,02	85,6	0,3
Obora	1. Pálení	0,44	0,26	1,37	0,03	124,6	0,3
	2. Odvoz	0,20	0,12	0,99	0,03	102,4	0,9
	3. Valy	0,39	0,22	1,30	0,02	66,8	0,3
	4. Drcení	0,20	0,12	1,10	0,19	79,0	0,3
Průměr/Average	1. Pálení	1,15a	0,67a	2,01a	0,02a	108,6a	2,6a
	2. Odvoz	0,51a	0,30a	0,67a	0,02a	43,6a	0,5a
	3. Valy	0,54a	0,31a	0,73a	0,01a	33,5a	0,3a
	4. Drcení	1,59a	0,92a	1,97a	0,08a	122,7a	11,3a

Tab. 7.

Obsah přístupných živin (Mehlich III) ve svrchní vrstvě půdy (0–10 cm)

Available nutrient content (Mehlich III) in 0–10 cm soil depth

Lokalita/Locality	Varianta/ Treatment	P mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	Ca mg.kg ⁻¹	Mg mg.kg ⁻¹
Vodárna	1. Pálení	1,33	248,67	403,00	48,67
	2. Odvoz	1,00	31,00	257,00	31,33
	3. Valy	1,00	20,33	242,33	31,00
	4. Drcení	1,33	34,67	253,67	41,33
Tankovka	1. Pálení	4,33	36,33	270,00	29,67
	2. Odvoz	3,67	17,00	263,67	28,33
	4. Drcení	5,33	15,00	256,00	28,33
Obora	1. Pálení	30,67	17,33	262,00	34,33
	2. Odvoz	55,00	20,67	215,33	28,00
	3. Valy	124,00	11,00	214,00	26,33
	4. Drcení	92,00	13,67	220,33	28,67
Průměr/Average	1. Pálení	12,11a	100,78a	311,67a	37,56a
	2. Odvoz	19,89a	22,89a	245,33a,b	29,22a
	3. Valy	62,50a	15,67a	228,17b	28,67a
	4. Drcení	32,89a	21,11a	243,33a,b	32,78a

Captions: 1. Pálení/Burning of logging residues in the terrain; 2. Odvoz/Removal of logging residues; 3. Valy/Bunching of logging residues into heaps; 4. Drcení/Chipping of wood residues in the terrain; ¹Humus; ²Cox; ³Lost on ignition; ⁴N (Kjeldahl); ⁵Exchange titration acidity; ⁶Exchangable H⁺

Poznámka/Note: Průměrné hodnoty s rozdílnými indexy jsou navzájem statisticky průkazně odlišné/Average values with different letters are statistically different from each other

Při porovnání s průměrnými obsahy přístupných živin v minerálních horizontech lesních půd (A_h , A_c) jsou hodnoty zjištěné ze zkoumaných lokalit Městských lesů Doksy také vesměs výrazně podprůměrně nízké (srov. např. MATERNA 2002). Snížení obsahu některých živin v půdě jako následek skarifkace potvrzuje také např. HOPE (2007). Naproti tomu MARIANI et al. (2006) konstatuje, že sledované mikrobiální parametry půdy (obsah C, N, C:N, mikrobiální respirace a přístupný dusík) nebyly způsobem těžby (včetně odstranění povrchu půdy) bezprostředně významně dotčeny.

Celkově však relativně malé rozdíly v koncentraci přístupných živin mezi variantami s využitím těžebních zbytků a variantami s jejich ponecháním na ploše korespondují s poznatky především skandinávských autorů, kteří se touto problematikou dlouhodobě zabývají (např. HYVÖNEN et al. 2002; TAMMINEN et al. 2012) a konstatují, že ponechání těžebních zbytků bezprostředně obsahy přístupných živin v půdě nezvyšují. K uvolnění živin poutaných v biomase těžebních zbytků je třeba poměrně dlouhá doba (10–30 let). Nejkratší doba je pochopitelně nutná k uvolnění živin z asimilačního aparátu a malých větví, mnohem delší doba je zapotřebí u tlustších větví a vrcholů stromů. V případě extrémních půdních poměrů s nízkou biologickou aktivitou ve zkoumaných lokalitách Městských lesů Doksy lze předpokládat relativně pomalé uvolňování v těžebních zbytcích obsažených živin. Z toho lze usuzovat, že rozdíly mezi sledovanými lokalitami se v obsahu živin v půdě mohou projevit až v delším časovém horizontu.

ZÁVĚR

V předloženém příspěvku byl hodnocen vliv rozdílného využití těžebních zbytků a následné mechanické přípravy půdy na vybrané chemické vlastnosti půdy, resp. substrátu, do kterého se zalesňuje. Předběžné výsledky potvrdily vliv provedených opatření na svrchní vrstvu půdy (0–10 cm), zároveň ale i značnou heterogenitu zkoumaných půdních vlastností. Směrem do větší hloubky půdy (10–30 cm) se rozdíly zkoumaných parametrů vesměs významně snižovaly. U některých parametrů se nepotvrdily předpokládané dopady zpracování a ponechání těžebních zbytků na plochách (např. obsah humusu a pH u varianty spálení těžebních zbytků), v případě obsahu bázi a nasycenosti sorpčního komplexu byly výsledky již blíže očekávání. Obsah přístupných živin byl odstraněním organické hmoty (těžebních zbytků) z plochy sice poněkud, ale neprůkazně, snížen. Výsledky tak naznačují velký vliv mechanické přípravy půdy naoráním i možnou vysokou přirozenou variabilitu půdních vlastností na daném stanovišti. Vzhledem k celoplošné a poměrně hluboké přípravě půdy se může na variabilitě půdních vlastností projevit i vliv předcházejícího lesnického hospodaření. Z důvodů těchto nejasností bude v budoucnu provedeno hodnocení celkových obsahů živin na výzkumných plochách s cílem podchytit prostorovou variabilitu, vyhodnoceno bude také odrůstání a vitalita výsadeb. Vliv odstranění či ponechání těžebních zbytků by se měl na půdních vlastnostech výzkumných ploch, a tím i růstu sazenic, výrazněji projevit v následujících letech, až dojde k větší dekompozici ponechané organické hmoty.

Tab. 8. Obsah přístupných živin (Mehlich III) ve svrchní vrstvě půdy (10–20 cm)
Available nutrient content (Mehlich III) in 10–20 cm soil depth

Lokalita/Locality	Varianta/ Treatment	P mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	Ca mg.kg ⁻¹	Mg mg.kg ⁻¹
Vodárna	1. Pálení	1,00	48,33	282,33	32,00
	2. Odvoz	1,00	21,67	248,33	31,33
	3. Valy	1,00	13,00	235,67	30,67
	4. Drcení	1,33	18,00	227,33	37,67
Tankovka	1. Pálení	2,00	12,67	248,67	25,00
	2. Odvoz	2,00	11,33	222,33	25,33
	4. Drcení	6,00	17,67	242,67	27,00
Obora	1. Pálení	22,67	13,33	252,67	32,33
	2. Odvoz	71,00	16,00	212,67	27,00
	3. Valy	96,00	13,67	215,33	27,33
	4. Drcení	81,33	16,67	242,33	30,00
Průměr/Average	1. Pálení	8,56a	24,78a	261,22a	29,78a
	2. Odvoz	24,67a	16,33a	227,78a	27,89a
	3. Valy	48,50a	13,33a	225,50a	29,00a
	4. Drcení	29,56a	17,44a	237,44a	31,56a

Tab. 9. Obsah přístupných živin (Mehlich III) ve svrchní vrstvě půdy (20–30 cm)
Available nutrient content (Mehlich III) in 20–30 cm soil depth

Lokalita/Locality	Varianta/ Treatment	P mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	Ca mg.kg ⁻¹	Mg mg.kg ⁻¹
Vodárna	1. Pálení	1,00	32,33	270,67	32,33
	2. Odvoz	7,33	18,33	242,67	30,67
	3. Valy	1,00	9,33	231,67	31,00
	4. Drcení	1,00	12,67	201,00	35,33
Tankovka	1. Pálení	1,33	8,00	236,00	24,00
	2. Odvoz	1,67	8,33	205,67	23,67
	4. Drcení	13,33	13,67	228,67	26,33
Obora	1. Pálení	32,33	13,00	257,33	32,33
	2. Odvoz	61,00	14,33	217,00	27,67
	3. Valy	120,00	12,67	186,33	26,00
	4. Drcení	32,00	12,67	225,67	29,00
Průměr/Average	1. Pálení	11,56a	17,78a	254,67a	29,56a
	2. Odvoz	23,33a	13,67a	221,78a	27,33a
	3. Valy	60,50a	11,00a	209,00a	28,50a
	4. Drcení	15,44a	13,00a	218,44a	30,22a

Captions: 1. Pálení/Burning of logging residues in the terrain; 2. Odvoz/Removal of logging residues; 3. Valy/Bunching of logging residues into heaps; 4. Drcení/Chipping of wood residues in the terrain

Poznámka/Note: Průměrné hodnoty s rozdílnými indexy jsou navzájem statisticky průkazně odlišné/Average values with different letters are statistically different from each other

Poděkování:

Příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu NAZV QJ1220099 „Optimalizace využití těžebních zbytků v lesích s ohledem na bilanci živin a trvalost lesní produkce“.

LITERATURA

- AUGUSTO L., BAKKER M.R., MEREDIEU C. 2008. Wood ash applications to temperate forest ecosystems – potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil*, 306: 181–198.
- BUBLINEC E., ILAVSKÝ J. 1990. Harvesting of aboveground biomass of trees and its effect on site conditions in forests. *Lesnictví*, 36: 887–894.
- CORBEELS M., MCMURTRIE R.E., PEPPER D.A., MENDHAM D.S., GROVE T.S., O'CONNELL A.M. 2005. Long-term changes in productivity of eucalypt plantations under different harvest residue and nitrogen management practices: a modelling analysis. *Forest Ecology and Management*, 217: 1–18.
- DEMEYER A., VOUNDI NKANA J.C., VERLOO M.G. 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology*, 77: 287–295.
- 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., HOLT HANSSON K., 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.
- 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.
- HRUŠKA J., CIENCIALA E. 2001. Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd – limitující faktor dnešního lesnictví. Praha, MŽP: 159 s.
- HYVÖNEN R., OLSSON B.A., LUNDKVIST H., STAAF H. 2000. Decomposition and nutrient release from *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus sylvestris* L. logging residues. *Forest Ecology and Management*, 126: 97–112.
- HYVÖNEN R., BERG M.P., ÅGREN G.I. 2002. Modelling carbon dynamics in coniferous forest soils in a temperature gradient. *Plant and Soil*, 242: 33–39.
- JANDL R., GLATZEL G., KATZENSTEINER K., ECKMÜLLNER O. 2001. Amelioration of magnesium deficiency in a Norway spruce stand (*Picea abies*) with calcined magnesite. *Water, Air & Soil Pollution*, 125: 1–17.
- KATZENSTEINER K., ECKMUELLNER O., JANDL R., GLATZEL G., STERBA H., WESSELY A., HÜTTL R. 1995. Revitalization experiments in magnesium deficient Norway spruce stands in Austria. *Plant and Soil*, 168–169: 489–500.
- KREUTZER K. 1979. Ökologische Fragen zur Vollbaumernte. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 98 (4): 298–308.
- MARIANI L., CHANG S.X., KABZEMS R. 2006. Effects of tree harvesting, forest floor removal, and compaction on soil microbial biomass, microbial respiration, and N availability in a boreal aspen forest in British Columbia. *Soil Biology & Biochemistry*, 38: 1734–1744.
- MATERNA J. 1963. Hnojení lesních porostů. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 227 s.
- MATERNA J. 2002. Souhrnné výsledky průzkumu stavu povrchových vrstev lesních půd v období 1993–1999. Brno, ÚKZÚZ: 98 s.
- 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.
- PODRÁZSKÝ V.V., VACEK S., REMEŠ J., ULBRICHOVÁ I. 2005. Application of Mg-fertilizers to prevent and to decrease Norway spruce yellowing. *Journal of Forest Science*, 51 (Special issue): 43–48.
- REMEŠ J., PODRÁZSKÝ V. 2006. Fertilization of spruce monocultures in the territory of Training Forest Enterprise in Kostelec nad Černými lesy. *Journal of Forest Science*, 52 (Special issue): 73–78.
- SMITH C.T., MCCORMACK M.L., HORNBECK J.W., MARTIN C.W. 1986. Nutrient and biomass removals from a red spruce-balsam fir whole tree harvest. *Canadian Journal of Forest Research*, 16: 381–388.
- ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R. 2009. Hodnocení obsahu a zásoby živin v lesních porostech – literární přehled. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54 (4): 307–315.
- TAMMINEN P., SAARSALMI A., SMOLANDER A., KUKKOLA M., HELMISAARI H.S. 2012. Effects of logging residue harvest in thinnings on amounts of soil carbon and nutrients in Scots pine and Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management*, 263: 31–38.
- VACEK S., HEJCMAN M., SEMELOVÁ V., REMEŠ J., PODRÁZSKÝ V. 2009. Effect of soil chemical properties on growth, foliation and nutrition of Norway spruce stand affected by yellowing in the Bohemian Forest Mts., Czech Republic. *European Journal of Forest Research*, 128: 367–375.

EFFECT OF PROCESSING OF LOGGING RESIDUES AND FOLLOWING MECHANICAL SOIL PREPARATION ON THE SOIL CHEMICAL PROPERTIES OF NATURAL PINE STANDS

SUMMARY

This paper presents the first results of a research project aimed at the utilization of logging residues with regard to nutrient balance and sustainability of forest production. Biomass of logging residues can be an important part of forest production and its use for energy purpose is likely to increase positive economic benefits for the forest owners in the future. On the other hand, limited information is available about possible negative effects such as depletion of soil nutrients and soil acidification. The research project takes place on three localities called Vodárna, Tankovka (*Querceto-Pinetum oligotrophicum*), and Obora (*Fageto-Quercetum acidophilum*) in the Municipal Forests of Doksy (Central Bohemian Region). The soil type on all study sites is arenic Podzol. After final harvest in each locality, following treatments of logging residues use and soil preparation were applied: (1) burning of logging residues on the site, (2) removal of logging residues and its energetic use, (3) bunching of logging residues into heaps, and (4) chipping of wood residues on the site. Further, a large-scale ploughing of soil was performed in all treatments. In this article selected soil characteristics from three soil layers (0–10 cm, 10–20 cm, and 20–30 cm) are presented:

- total humus content was determined by Springer-Klee method, total nitrogen content by standard Kjeldahl method and C_{ox}
- soil reaction (in water and in 1N KCl solutions) was determined potentiometrically
- soil sorption complex characteristics were determined by Kappen method: S – base content, T-S (H) – hydrolytical acidity, T (S + H) – cation exchange acidity and V – base saturation
- plant available nutrients were determined using Mehlich III method
- parameters of exchange acidity were determined in a KCl solution

In each locality soil samples were taken in three replications (9 replications for each treatment) with the exception of variant bunching that was not performed in the locality Tankovka.

Results confirmed immediate impact of soil preparation and logging residues use on selected soil chemical properties in the uppermost soil layer, yet with high heterogeneity of obtained values. In deeper soil layers the differences among treatments were in general lower. In some cases basic hypotheses about the impact of particular treatment were not confirmed as in the case of humus content and soil reaction in treatments with burning of logging residues. For all treatments together, statistically significant differences in soil reaction were confirmed between burning (pH H_2O 4.1) and bunching (pH H_2O 4.9). Total humus content, C_{ox} , N content, and exchange titration acidity were higher on poor sites (Vodárna, Tankovka) in treatments with burning; as for the humus content this was also true in the chipping treatment. On the other hand, no significant differences among treatments were found in richer conditions of the Obora locality. In the case of base content and base saturation, our results were in line with similar research results. Available nutrient content was lower in treatments with removal of logging residues (statistically not significant). Both burning and chipping of logging residues showed higher values of base content and higher base saturation. Differences between burning (S – 24.3 mmol.kg⁻¹; V – 13.6%), removal (S – 1.7 mmol.kg⁻¹; V – 5.6%) and bunching (S – 2.7 mmol.kg⁻¹; V – 6.5%) were statistically significant. Generally very low values of base saturation are typical of arenic Podzols being present in the area of interest. As for available nutrients, only Ca content was significantly higher in the burning compared to the removal.