

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů



Možnosti využití dřevěného popela jako hnojiva v lesních porostech

Bakalářská práce

Autor: Tomáš Mrázek

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Remeš Ph.D.

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra pěstování lesů

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Mrázek

Hospodářská a správní služba v lesním hospodářství

Název práce

Možnosti využití dřevěného popela jako hnojiva v lesních porostech

Název anglicky

Potential of using wood ash as a fertilizer in the forest stands

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je analyzovat možnosti využití dřevěného popela jako hnojiva v lesních porostech v podmínkách České republiky. Práce bude obsahovat analýzu potenciálních benefitů i rizik využití dřevěného popela v lesních porostech.

Metodika

Energetické využívání těžebních zbytků v lesích důvody, možnosti a rizika.

Vlastnosti popela jako produktu spalování biomasy dřevin. Obsahy živin a rizikových prvků.

Možnosti využití dřevěného popela jako hnojiva v lesních porostech dosavadní zkušenosti ve světě i v ČR.

Rizika a omezení používání dřevěného popelau s ohledem na legislativní podmínky, stav lesních půd a růst dřevin.

Závěrečné zhodnocení.

Doporučený rozsah práce

Min. 25 stran textu.

Klíčová slova

hnojení a meliorace lesních porostů, dřevěný popel, energetické využití těžebních zbytků

Doporučené zdroje informací

- 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.
- Bureš M., Doležal R., Hána J., Kadeřábek V., Macků J., Níkl M., Pavloňová G., Zeman M., 2009: Analýza a výsledná kvantifikace využitelné lesní biomasy s důrazem na těžební zbytky pro energetické účely, při zohlednění rizik vyplývajících z dopadu na půdu, koloběh živin a biologickou rozmanitost. Brno, 50 s.
- Hruška J., Cienciala H., 2001: Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd limitující faktor dnešního lesnictví. MŽP, Praha, 160 s.
- Saarsalmi A., Smolander A., Kukkola M., Moilanen M., Saramäki M., 2012: 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management*, 278: 63-70.
- Tlustoš P. et al., 2012: Monitoring kvality popelů ze spalování biomasy. Certifikovaná metodika, ČZU v Praze, 22 s. ISBN 978-80-213-2327-8.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Remeš, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2014

prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 8. 2014

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 14. 04. 2015

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Možnosti využití dřevěného popela jako hnojiva v lesních porostech** vypracoval samostatně pod vedením doc. Jiřího Remeše a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.“

V dne

.....

Tomáš Mrázek

Poděkování

Poděkování za věcné a podnětné připomínky, za ochotu a trpělivost v průběhu zpracování mé závěrečné bakalářské práce, bych chtěl věnovat doc. Ing. Jiřímu Remešovi Ph.D.

Abstrakt

Cílem této práce je shrnout teoretické poznatky a již prověřené praktické zkušenosti se získáváním, zpracováním a využíváním biomasy. Jednotlivé části bakalářské práce se postupně zabývají rozdělením biomasy na jednotlivé druhy. Dále lesními těžebními zbytky, dřevěným popelem, jako produktem spalování biomasy, v neposlední řadě využitím dřevěného popela jako hnojiva a neméně důležitou kapitolou degradace a regradace lesních půd a porostů.

Tento text chce plnit funkci informační a poskytnout potřebné podklady pro rozhodovací činnost pro možná využití biomasy.

Klíčová slova:

Biomasa, energetické využití těžebních zbytků, dřevěný popel, degradace půdy, regradace půdy.

Abstract

Goal of thesis is summarize theoretical knowledge and practical experience of acquiring, processing and utilization of biomass. Individual parts of thesis follows, sorting of biomass into individual types, logging remains, wooden ash, as a product of burning biomass and utilization of wooden ash as a fertilizer and no less important chapter of degradation and regradation of woodlands and forest cover.

This text wants to fulfil information function and provide required documents for decision-making process for theoretical utilization of biomass.

Key words:

Biomass, energy utilization of logging remains, wooden ash, soil degradation, soil regradation.

Obsah

ABSTRAKT	6
OBSAH	7
SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ	9
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	10
1 ÚVOD	12
2 BIOMASA A JEJÍ DRUHY	13
2.1 Druhy biomasy (dle Nikl M. et. al., 2014).....	13
2.2 Významné druhy biomasy z pohledu lesnického sektoru:.....	14
3 LESNÍ TĚŽEBNÍ ZBYTKY	16
3.1 Využití lesních těžebních zbytků.....	16
3.2 Technické využití lesních těžebních zbytků	18
3.3 Využití lesních těžebních zbytků z hlediska ekonomiky	19
3.4 Přeshraniční obchod s lesními těžebními zbytky.....	23
4 DŘEVĚNÝ POPEL JAKO PRODUKT SPALOVÁNÍ BIOMASY	25
4.1 Obsah živin a rizikových prvků	25
4.2 Ekonomické aspekty	28
5 MOŽNOSTI VYUŽITÍ DŘEVĚNÉHO POPELA JAKO HNOJIVA V LESNÍCH POROSTECH	29
5.1 Česká republika.....	29
5.2 Zahraničí.....	31
5.3 Aplikace dřevěného popela.....	32
6 DEGRADACE A REGRADACE LESNÍCH PŮD A POROSTŮ	34

6.1	Degradace lesních porostů a půd	34
6.1.1	Degradační stadia.....	36
6.1.2	Acidifikace.....	39
6.2	Regradace lesních porostů a půd	40
6.2.1	Vápnění.....	41
6.2.2	Hnojení	41
7	EKONOMICKÁ ANALÝZA VYUŽITÍ DŘEVĚNÉHO POPELA	43
7.1	Náklady na aplikaci popela	43
7.2	Efekt hnojení	44
7.3	Zisk z prodeje těžebních zbytků	45
8	ZÁVĚR	46
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	48

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tab. 1	Potenciál energeticky využitelné dendromasy
Tab. 2	Přehled nabídek cen
Tab. 3	Zjištěné náklady na výrobu lesních štěpek
Tab. 4	Orientační přepočítávací koeficienty pro lesní štěpky z těžebních zbytků, (jehličnaté těžby, vlhkost 50 %)
Tab. 5	Skladování lesních štěpek
Tab. 6	Vývoz LTZ v ČR v roce 2010
Tab. 7	Průměrné obsahy jednotlivých PAU ($\mu\text{g/kg}$) v popelech ze spalování biomasy
Tab. 8	Průměrná cena za 1 kg živiny (k 11. 7. 2011)
Tab. 9	Náklady na aplikaci dřevěného popela
Tab. 10	Efekt hnojení

Obrázek 1	Celkový energetický potenciál biomasy v ČR v %
------------------	--

Seznam použitých zkratk a symbolů

As	chemická značka pro prvek arsen
Ca	chemická značka pro prvek vápník
Cd	chemická značka pro prvek kadmium
Cr	chemická značka pro prvek chrom
ČR	Česká republika
ČEZ	energetická společnost v České republice
H ⁺	chemická značka pro vodíkový kationt
K	chemická značka pro prvek draslík
LH	lesní hospodářství
LTZ	lesní těžební zbytky
Mg	chemická značka pro prvek hořčík
MZe	Ministerstvo zemědělství
Na	chemická značka pro prvek sodík
NH ₄ ⁺	chemická značka pro amoniak
NO _x	chemická značka pro oxid dusíku
OM	odvozní místo
P	chemická značka pro prvek fosfor
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
Pb	chemická značka pro prvek olovo

prm	prostorový metr
SO ₂	chemická značka pro oxid siřičitý
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
Zn	Chemická značka pro prvek zinek

1 ÚVOD

Od nepaměti je dřevo využíváno lidmi jako zdroj energie. Díky náročnosti zpracování a nízké účinnosti topenišť se dostalo dřevo do pozadí a začalo ho tak nahrazovat uhlí, nafta a plyn.

Díky snižování zásob fosilních paliv a nástupu energetické krize se opět pozornost zaměřila na obnovitelné zdroje, zde mluvíme i o dřevu (biomase). Vývoj lidstva jde ruku v ruce s vývojem energetiky. Ovšem tento vývoj se netýkal celé planety. Některé země, tedy hlavně ty rozvojové, zůstaly u dřeva jako u zdroje tepla, potřeby k vaření a otopu. To má za následek rapidní úbytek lesů. Z několika úhlů pohledu je tedy logické, že státy a organizace začaly být podporovány nejrůznějšími programy na energetické využití biomasy. I ČR má v tomto ohledu značný nárůst.

Při spalování biomasy, které vzniká nejen při výše zmíněných (energetických) aktivitách, ale například i v domácnostech, vzniká popel z jejího spalování (dřevěný popel). Lze proto očekávat, že produkce této suroviny bude nadále narůstat, a to zejména z důvodu evropské legislativy a snahy o vyšší využívání biomasy v souvislosti s jejím energetickým využitím a snižováním využívání fosilních paliv. Nastává tedy otázka, jak popel ze spalování biomasy využít lépe, než jen vývozem na skládky ve formě odpadu. Takto na dřevěný popel v současnosti nahlíží legislativa v ČR.

Řada výzkumů v Evropě, ale i v České republice, hodnotí popel ze spalování biomasy z hlediska obsahu příznivých, ale i nepříznivých prvků téměř jako rovnocenný produkt vedle průmyslových a statkových hnojiv. Někteří autoři navrhují vhodnost aplikace popela v kombinaci se statkovými hnojivy. Zahraniční specialisti již v minulosti při aplikaci popela ze spalování biomasy do ekosystémů prokázali pozitivní vliv na vegetaci.

Popel z biomasy, a to především popel vzniklý ze spalování dřeva, se již v dřívějších dobách hojně využíval k hnojivým účelům (Váňa, 2010).

Musíme brát ovšem v potaz, že globální využívání biomasy by nemělo vést k devastaci lesů a krajiny, ale spíše by mělo směřovat k vytváření předpokladů pro zlepšení jejich stavu.

2 Biomasa a její druhy

Za biomasu lze v obecném pojetí považovat jakoukoliv hmotu organického původu, jež vyprodukují živočišné organismy nebo rostliny. Biomasu lze v současnosti z hlediska využití rozdělit dle toho, jak se nejčastěji zpracovává. Nynější legislativa biomasu charakterizuje (definuje) ve dvou vyhláškách:

Vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy.

Vyhláška č. 477/2012 Sb., o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů.

2.1 Druhy biomasy (dle Nikl, et. al., 2014)

Skupina – cíleně pěstovaná energetická biomasa

Jedná se o: cíleně pěstované energetické dřeviny, obiloviny a olejniny pro energetické využití (celá nadzemní hmota), cíleně pěstované energetické plodiny, jednoleté, dvouleté a víceleté. Jde o biomasu využívanou pro zplynování, spalování a anaerobní fermentaci.

Skupina – biomasa neobsažená ve skupinách 1, 3, 4 – využitelná pro anaerobní fermentaci a procesy termické přeměny

Jedná se o: lepenky a odpadní papíry, čistírenské kaly, energetický kompost, použité dřevo a dřevní materiály, zbytková dřevní hmota max. do průměru 7 cm a délky 1 m, travní hmota a biomasa z údržby zeleně, zbytková biomasa z průmyslu (textilního a kožedělného průmyslu, praní a čištění, zpracování ovoce a zeleniny, lihovary, pekárny, pivovary), expanzivní a invazivní druhy vyšších rostlin, sláma, obiloviny a olejniny, zrno obilovin nevhodné pro potravinářské účely, ostatní části rostlin použité k energetickým účelům. Jde o biomasu využívanou pro zplynování, spalování a anaerobní fermentaci.

Skupina – materiálově nevyužitá biomasa

Jedná se o: palivové dřevo, odřezky a zbytky z dřevozpracujícího průmyslu, štěpka, hobliny a piliny. Jde o biomasu využívanou pro zplynování a spalování.

Skupina – biomasa pro anaerobní fermentaci a procesy termické přeměny

Jedná se o: kůru, výpalky a rostlinné zbytky z lihovarů, zbytkové oleje a tuky, alkoholy vyráběné z biomasy, ostatní kapalná biopaliva. Jde o biomasu využívanou pro zplynování, spalování a anaerobní fermentaci.

Skupina – biomasa výhradně pro anaerobní fermentaci

Jedná se o: biologicky rozložitelnou část vytríděného průmyslového a komunálního odpadu, zbytky z kuchyní a stravoven, znečištěná sláma z živočišného průmyslu, kapalné a tuhé živočišné exkrementy, kafilerní tuk, masokostní moučka, kaly a biomasa z živočišného průmyslu. Jde o biomasu využívanou pro anaerobní fermentaci.

2.2 Významné druhy biomasy z pohledu lesnického sektoru:

- zbytková dřevní hmota, která vzniká ve výrobě celulózy a biopaliva z ní vyrobená;
- hobliny, piliny, odřezky a dřevo nevhodné pro materiálové využití, dřevotřískové dýhy a desky jako zbytková hmota, případně vedlejší produkt (zejména z procesů: peletizace, lisování, drcení, třídění), zbytková kůra a jiné zbytky z průmyslového zpracování dřeva, dřevo použité, použité výrobky zhotovované ze dřevěných materiálů a dřeva, dřevěné obaly, při splnění ostatních požadavků a následně biopaliva z nich vyrobená;
- energetické dřeviny cíleně pěstované, vedlejší a zbytkové produkty těchto dřevin, biopaliva z nich vytvořená včetně zbytkových a vedlejších produktů z jejich zpracování;

- hmota z údržby zeleně (údržba vodotečí, cest, tratí atd.), hmota zbytková z prořezávek, probírek, těžby dřeva (vzniklá v lese) a biopaliva vyrobená z této zbytkové hmoty (palivové dřevo, dřevěná štěpka atd.), taktéž zbytkové a vedlejší produkty z jejich zpracování (Nikl, et. al., 2014).

3 Lesní těžební zbytky

Za těžební zbytky je považován dřevní odpad po mýtních i výchovných zásazích, který zůstává na lesní ploše pro další možné zpracování. V závislosti na různých výzkumech se odhaduje podíl dřevní suroviny připadající na strom v rozmezí 60 - 77 %. Vše ostatní můžeme považovat za těžební zbytky (Bureš, et. al., 2009).

Druhy lesních těžebních zbytků (dle Stupavsky, et al., 2009):

lesní těžební zbytky z probírek

lesní těžební zbytky z mýtní těžby

lesní těžební zbytky z pařezů a kořenů – využívání pařezů a kořenů se nedoporučuje.

3.1 Využití lesních těžebních zbytků

Lesní těžební zbytky jsou z ekonomického hlediska a pro energetické popř. jiné účely využitelné zejména větve a stromové vršky s podílem 10 - 15 % a asimilační orgány 2 - 3 %. Využití ostatních částí stromu 5 - 25 % (kořeny a pařezy) není z ekologického hlediska možné a z ekonomického hlediska rentabilní (Bureš et. al., 2009). Kořen a pařezy se v některých formách obhospodařování lesů (v lužních lesích a borových oblastech) získávají klučením podzemních částí stromů. Méně se pak tento proces využívá při odlesňování ploch pro stavby a komunikace, vodní nádrže a při celoplošné přípravě půdy před zalesněním. Odhadem je, že ročně se v ČR odstraňují pařezy na ploše do 1000 ha. Což představuje při zásobě dříví cca 50 m³/ha, zdroj 50 tis. m³ pařezového dříví za rok (Nikl, et. al., 2014).

Rentabilita zisku lesních těžebních zbytků z dendromasy se liší podle způsobu těžby. Nejefektivnější je jako následek mýtní těžby, kdy lze využít mechanizaci pro zpracování těžebních zbytků. Jestli-že se hodnotí využitelnost, musí se brát ohled na podíl těžebního odpadu, podmínky při likvidaci, použitou lesnickou techniku, kategorii lesů a nadřazenost převažujícího ekologického významu těžebního odpadu před záležitostí komerční (Bureš, et. al., 2009).

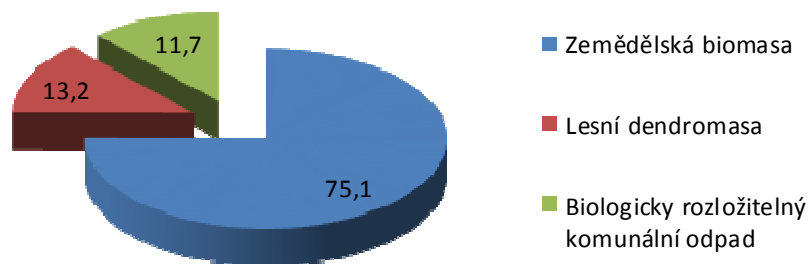
Dále se lesní těžební zbytky málo využívají jako zdroj bioenergie. Maximální množství lesní biomasy v Evropské unii je 543 milionů m³, z čehož potenciál lesních těžebních zbytků činí 251 milionů m³. Zejména z environmentálních důvodů (degradace půdy na stanovišti, nedostatek bází kationtů (P, K) a nedostatečný rozvoj a funkce mykorhizy (Mahmood, et al., 1999) by se ne všechny lesní těžební zbytky měly využívat. Environmentálním rizikům lze předejít tím, že ponecháme dostatečné množství živin na stanovišti. Postačí dostatečné množství větví, listů nebo jehličí.

Získatelný potenciál z hlediska environmentálního důvodu může být využit takto:

- až 75% lesních těžebních zbytků z maximálního potenciálu mýtní těžby
- až 45% lesních těžebních zbytků z těžeb předmýtních
- až 20% pařezů z mýtní těžby (Stupavsky, et al., 2009).

tab. 1, Potenciál energeticky využitelné dendromasy
(Expertní tým APB, MZe, 2011)

Název	%
Palivové dříví (bez domácností)	2
LTZ	17
Kůra	18
Odpad z dřevozpracující výroby	32
Využití odpadů z dalšího zpracování dřeva	31
Celkem	100



Obr. 1, Celkový energetický potenciál biomasy v ČR v %
(Expertní tým APB, MZe, 2011)

3.2 Technické využití lesních těžebních zbytků

Využitelnost vystihuje objem technologicky dostupné lesní biomasy při využití běžné používané lesnické techniky. Lesní pozemky, kde by využití techniky, která se běžně využívá v lesnictví, bylo vzhledem k terénní typizaci obtížné, je třeba vyřadit již v prvotním výběru. I když v terénně dobře dostupných porostech lze snadno využít mechanizace, je zřejmé, že nelze využít veškeré dostupné těžební zbytky.

Z praxe v České republice je maximální využitelnost lesních těžebních zbytků za použití techniky 70 až 80% z disponibilního objemu po mýtní těžbě. Veškerý objem lesních těžebních zbytků zahrnuje nehroubí kmenů a větví s čepovým průměrem 7 až 0 cm. Z hlediska využitelnosti jsou zohledněny nepříznivé podmínky, ke kterým vzhledem k používaným technologiím může při sběru lesních těžebních zbytků dojít. Což jsou: výkonnost používaných technologií, roztroušenost biomasy, ekonomické aspekty a terénní podmínky (Bureš, et. al., 2009).

3.3 Využití lesních těžebních zbytků z hlediska ekonomiky

Ekonomické aspekty ve výrobě a zpracování lesních těžebních zbytků jsou zejména ve skandinávských zemích intenzivně zkoumány a v praxi ověřovány a optimalizovány. V České republice zpracování těžebních zbytků ani trh se štěpkou z těchto odpadů v současnosti není standardizován. Tento trh existuje, nicméně je nestabilní, má pouze regionální charakter, ceny nejsou jednotné a většina subjektů si své informace střeží. Bohužel právě z výše uvedených důvodů chybí praxí ověřené podklady pro kalkulaci nákladů jednotlivých činností i výsledné ceny štěpky. Informace a zkušenosti v této problematice uvedl Ing. Martin Chytrý, VLS divize Hořovice v roce 2007 na konferenci odborných lesních hospodářů v Pelhřimově. Zkušenosti a údaje z této prezentace (Níkl, et. al., 2014).

Dle Chytrý (2007)

„Limitující faktory pro zpracování těžebních zbytků:

- svažitost;
- únosnost terénu;
- kamenitost;
- přibližovací vzdálenost;
- odvozní vzdálenost na místo spotřeby.

Základní faktory ovlivňující cenu lesních štěpek:

- hodnota vstupního materiálu;
- přibližování těžebního odpadu;
- zpracování těžebního odpadu;
- manipulace s lesními štěpkami;
- doprava lesních štěpek;
- přejímka lesních štěpek;
- skladování lesních štěpek.

Hodnota vstupního materiálu:

- do 50. let minulého století - klest výnosovou položkou;
- likvidace klestu na pasekách - nákladová položka (pálení, shrnování, drcení);
- hodnota služby se pohybuje od 40 do 80 Kč/m³ vytěženého hroubí;
- státní podpora za vyklízení klestu štěpkováním je 12 000 Kč/ha;
- vlastník lesa dotuje výrobu štěpky - běžná cena 15 - 30 Kč/m³ vytěženého hroubí.

Příspěvek ve výši 12 000 Kč podle Závazných pravidel poskytování finančních příspěvků na hospodaření v lesích v roce 2007 (MZe) na likvidaci klestu štěpkováním nebo drcením před obnovou lesa s rozptýlením hmoty nebo jiným využitím. O výši vyplácení příspěvku rozhodují krajské úřady.

Příklady nabídek ceny těžebních zbytků:

a) těžební zbytky na pasekách:

- odstranění klestu z pasek s následným zpracováním a odvozem v Kč/m³ vytěženého hroubí;
- klest z 15 000 m³ vytěženého hroubí – mýtní těžby, klest musí být odstraněn minimálně z 80 %;
- nabídnutá cena – minus 61 až plus 6 Kč/m³ vytěženého hroubí;
- kritéria ceny velmi různorodá.

b) těžební zbytky na hromadách na pasece nebo v porostech:

- vyvážení klestu z pasek a porostů s následným zpracováním a odvozem v Kč/m³ vytěženého hroubí;
- klest z 5 000 m³ vytěženého hroubí;
- nabídnutá cena - minus 51 až plus 31 Kč/m³ vytěženého hroubí;

- kritéria ceny velmi různorodá – přibližovací vzdálenost, objem štěrky z m³ vytěženého hroubí, atd.

c) těžební zbytky vyvezené na OM:

- zpracování a odvoz klestu vyvezeného na OM v Kč/m³ vyrobené štěrky, popř. jinak zpracovaného klestu.

- klest z 20 tis. m³ hroubí;

- nabídnutá cena minus 60 až 101 Kč/prm vyrobené lesní štěrky.

tab. 2, Přehled nabídek cen (Níkl, et. al., 2014) :

Hodnota těžebních zbytků	Tj.	Kč/tj.	Kč/prm štěrky
Na pasece	m ³ vytěženého hroubí	- 61 až + 6	x
Na hromadách	m ³ vytěženého hroubí	-51 až + 31	x
Na OM	m ³ vyrobené lesní štěrky	x	60 až 101

Zjištění ceny vyvážení těžebních zbytků:

- vyhlášena veřejná zakázka v rámci zadání harvestorových těžeb;
- vyvezení klestu z pasek odvozní soupravou na OM v Kč/m³ vytěženého hroubí;
- podmínkou bylo vyvezení minimálně 80 % klestu, zbývající klest musí být rovnoměrně rozmístěn po pasece a nesmí bránit následnému zalesnění;
- nabídková cena se pohybovala od 60 Kč do 180 Kč/m³ vytěženého hroubí;

Zjištění nákladů na štěpkování těžebních zbytků:

- sběr informací od dodavatelských subjektů v Kč/prm vyrobené štěrky;

- kalkulace se pohybují od 75 Kč do 130 Kč/prm vyrobené štěpky.

tab. 3, Zjištěné náklady na výrobu lesních štěpek (Nikl, et. al., 2014) :

Náklady	Kč/prm
úhrada vlastníka	-29 až 6
vyvážení	60 až 180
štěpkování	75 až 130
režie	25
doprava	30 až 75
Průměrné náklady celkem	181 až 416

Podle současné úrovně nákladů a cen se tyto pohybují v úrovni:

- náklady za vyvážení klestu 80 – 120 Kč/m³;
- výroba štěpky přibližně 250 Kč/m³;
- cena štěpky pro energii - 140 Kč/1 GJ;
- cena štěpky - 800 Kč/t;
- cena štěpky 250 Kč/prm u odběratele;
- podle vyhodnocení vlhkosti, pohyb ceny v rozmezí 600 – 2500 Kč

tab. 4, Orientační přepočítávací koeficienty pro lesní štěpky z těžebních zbytků, (jehličnaté těžby, vlhkost 50 %), (Nikl, et. al., 2014) :

	Plnometr	Prm	Tuna	Atrotuna	Gigajoule
plnometr	x	2,3	0,7	0,35	5,7
prm	0,4	x	0,3	0,15	2,4

tuna	1,4	3,3	x	0,5	8
atrotuna	2,8	6,6	2	x	16
gigajoule	0,18	0,4	0,13	0,06	x

Přejímka lesních štěpek:

- prostorový metr dodané dřevní suroviny;
- tuna dodané dřevní suroviny;
- atrotuna - tuna přepočítaná na absolutní sušinu;
- gigajoule obsažený v dodané dřevní surovině;
- gigajoule vyrobený z dodané dřevní suroviny.

tab. 5, Skladování lesních štěpek (Nikl, et. al., 2014, Simanov, 1992)

Objem	Tj.	Počet měsíců skladování štěpek							Celkem
		1	2	3	4	5	6	7	
Ztráta objemu	%	3,0	5,5	5,5	5,5	5,5	3,0	3,0	31,0
Skutečný objem	%	97	91,5	86	80,5	75	72	69	

Skladováním štěpky se ztrácí výhřevnost, po 6 – 7 měsících nastává kompostování“ (Nikl, et. al., 2014).

3.4 Přeshraniční obchod s lesními těžebními zbytky

Pokud porovnáme obchod s palivovým dřívím a obchod s lesními těžebními zbytky, dosahuje obchod s lesními těžebními zbytky výrazně vyšších hodnot.

Nicméně část z tohoto objemu je využívána rovněž k neenergetickým účelům, jako je celulózový a papírenský průmysl. Největším dovozcem lesních těžebních zbytků je Rakousko a to především z důvodu vysoké poptávky štěpkového, papírenského a také dřevotřískového průmyslu (čemuž následně odpovídá příslušný objem vývozu produkce dřevozpracujícího průmyslu). S přihlédnutím ke s postupem času zvyšující se poptávce po méně kvalitní dřevní surovině, jako výrobního materiálu, tak pro energetické účely, toto odvětví musí dovážet neustále více lesních těžebních zbytků. V letech 1996 až 2006 se celkový příhraniční obchod (import + export) s lesními těžebními zbytky v Rakousku zvýšil z 850 000 tun na 1,8 mil. tun. Tento trend způsobuje vyšší využití biomasy pro energetické účely a zvyšující se produkce dřevozpracujícího průmyslu (Stupavský, et. al., 2009).

Česká republika společně se Slovenskem jsou především exportéry štěpky, třísek, dřevěných pilin, zbytků a dřevěného odpadu do jejich okolních zemí. Vyjímkou je Ukrajina (Ministerstvo zemědělství, 2012).

tab. 6, Vývoz LTZ v ČR v roce 2010 (Ministerstvo zemědělství, 2012)

sortiment	v tis. m³
Štěpky, třísky	373
Piliny dřevěné	770
Zbytky, odpad dřevěný	172

4 Dřevěný popel jako produkt spalování biomasy

Rozhodující faktory ovlivňující kvalitu popela jsou podmínky spalování a složení biomasy (Oberberger, et al., 1997). V palivech z biomasy se množství popela pohybuje v rozmezí 1 – 6 % (Johansson, et. al., 2003). Dřevo obsahuje relativně nízké množství popela (0,3 %), vyšší hodnoty nalezneme v zrnu (2 %), kůře (4 – 5 %), travách (7 %) a slámě (5 %) (Biedermann, et. al., 2005).

V zařízeních, ve kterých probíhá spalování biomasy, lze obvykle rozlišit 2 druhy popelů: roštový a úletový. Popel roštový, vyskytující se na spalovacím roštu a v primární spalovací komoře, se často mísí s minerálními nečistotami obsaženými v biomase, např. kameny, zemina nebo písek. Tyto nečistoty mohou vytvořit zejména při spalování kůry na pevném loži strusku (v důsledku snížení bodu tání) a spečení těchto nečistot do roštového popela. Popel úletový obsahující jemné anorganické částice, které jsou obsaženy ve spalinách, je zpravidla zachytáván na elektrostatických nebo textilních filtrech (Biedermann, et. al., 2005).

4.1 Obsah živin a rizikových prvků

Živiny, jež lze najít v popelech, jsou draslík (5 – 14,5 %), vápník (7 – 45 %) a hořčík (4 – 6,5 %). Kůra a dřevo se vyznačují svou bohatostí na vápník, popel z obilovin a slámy vysokým obsahem draslíku (Oberberger, et al., 1997, Biedermann, et. al., 2005). Mikroprvky a fosfor se v popelu vyskytují v menším a variabilním množství (cca 1 %), dusík popel neobsahuje (Kuba, et. al., 2008).

Nicméně v popelu úletovém ve velkých zařízeních, jež používají technologie katalytické redukce NO_x, zde může dojít k výskytu malého množství amoniaku nebo močoviny. Tyto látky se do procesu přidávají jako redukční činidlo (Tlustoš, et. al., 2012).

Z hlediska životního prostředí je významný obsah těžkých kovů, které jsou obsaženy převážně v popelu úletovém. Živiny (Ca, K, Mg a P) se nacházejí zejména v popelu roštovém. Vyšší obsah těžkých kovů v popelu úletovém je dán

odpařením, následně kondenzací a navázání těkavějších těžkých kovů (Cd a Zn) na povrch částic popela úletového (Biedermann, et. al., 2005).

Další omezení pro využívání popelů je jejich vysoká hodnota pH, která je způsobena vysokým obsahem alkalických kovů v popelech (Kuba, et. al., 2008).

Významným rizikovým prvkem jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Tyto látky se převážně tvoří a těkají při nedokonalém procesu spalování. Z toho vyplývá, že se do prostředí dostávají při výrobě energie, spalování odpadů, z požárů, při kouření atd. Jednou z nejrizikovějších vlastností PAU je jejich karcinogenita. Nejznámější karcinogen PAU se nazývá benzo(a)pyren, u kterého je i podložen mechanismus, kterým přímo poškozují genetickou informaci buněk. Při vdechnutí PAU může dojít k rakovině plic, při požití k rakovině zažívacího traktu a v případě kontaktu s kůží k rakovině kůže.

Průměrné hodnoty PAU, které byly nalezeny ve vzorcích popelů v porovnání s dánskými předpisy (max. Σ PAU 3 mg/kg), jsou výrazně pod stanoveným limitem ve většině případů. Vyhovují tak i limitům pro sedimenty v rámci ČR. Jako výjimku je třeba uvést popel úletový několika provozoven. Tyto provozovny překročily výše uvedené limity a zvýšily tak průměrnou hodnotu PAU u kompletního hodnoceného souboru (jedná se konkrétně o 2 – 3 spalovny ze 16).

V popelech ze spalování biomasy je nejvíce zastoupeným PAU jednoznačně naftalen. Naftalen obsahuje nejvíce popel úletový ze spalování dřevní štěpky (300,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Úletový popel je oproti ostatním (roštový, směsný) bohatší i na další PAU, a sice: acetaftylen, fenantren a antracen (Tlustoš, et. al., 2012).

tab. 7, Průměrné obsahy jednotlivých PAU (μg/kg) v popelech ze spalování biomasy (Tlustoš, et. al., 2012)

PAU (μg/kg)	roštový		úletový		směsný
	dř.štěpka	dř.štěpka	dř.štěpka	dř.štěpka	dř.štěpka
naftalen	25,4	300,5	121,9	62,2	
acetnaftylen	2,2	87,4	7,1	23,4	
acetnaften	0,6	4,4	0,4	1,3	
fluoren	0,8	5,1	0,2	2,4	
fenantren	2,1	36,3	4,8	28,5	
antracen	0,5	18,3	0,2	3,0	
fluoranten	1,2	19,0	2,7	19,5	
pyren	1,0	15,2	3,9	20,4	
chrysen	0,3	2,2	0,4	1,3	
benz-a-antracen	0,4	3,7	0,3	1,3	
benzo-b-fluoranten	0,2	2,0	0,2	1,1	
benzo-k-fluoranten	0,2	1,9	0,2	,3	
benzo-a-pyren	0,2	2,0	0,2	3,3	
indeno(1,2,3-c,d)pyren	0,3	2,5	0,3	0,9	
dibenz(a,h)antracen	0,2	0,2	0,2	0,2	
benzo(g,h,i)perylene	0,3	2,4	0,5	1,5	

Tyto poznatky pocházejí nejvíce z oblastí s vysokým potenciálem dřevní suroviny jako jsou Skandinávská státy a Severní Amerika (Pitman, 2006).

4.2 Ekonomické aspekty

V současné době v České republice se popele ze spalování biomasy ukládají na skládky jako Ostatní odpad. Tato skutečnost při produkci přibližně 70 tis. tun popelů ročně a při poplatku za uložení jedné tuny Ostatního odpadu 800 – 1000 Kč (novela Zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. připravuje navýšení daně za skladování Ostatního odpadu, toto navýšení se projeví i v celkových nákladech na uložení odpadu nárůstem o 300 – 400 Kč za 1 tunu) činí celkové náklady na uskladnění popelů z biomasy cca 56 – 70 mil. Kč/rok. Tyto dodatečné náklady do značné míry zatěžují producenty elektřiny a tepla a snižují konkurenceschopnost těchto producentů na trhu s energiemi.

Popel je významným zdrojem živin, proto je vhodné při aplikaci na zemědělskou půdu sledovat snížení nákladů na skladování, rovněž tak je nutné vyčíslit množství živin, které popele obsahují a které zůstanou nevyužity uložení na skládkách. Přičemž by tyto živiny při určení hnojivé hodnoty popelů mohly znamenat příjem pro jejich producenty (Tlustoš, et. al., 2012).

tab. 8, Průměrná cena za 1 kg živiny (k 11. 7. 2011)
(Tlustoš, et. al., 2012)

živina	Kč/kg živiny
P	222,5
K	27,5
Ca	2,9
Mg	73,2

5 Možnosti využití dřevěného popela jako hnojiva v lesních porostech

Problematika spalování biomasy přimělo některé státy, aby vypracovaly návody na využívání dřevěného popela v lesnictví a zemědělství. Zejména státy s vysokým potenciálem dřevní biomasy (Severní Amerika, Skandinávské země a německy mluvící státy), již dlouhodobě řeší využití dřevěného popela jako hnojiva nejen v lesních porostech. Většina doposud známých poznatků z této oblasti pochází právě z těchto států. Zkušenosti z výše uvedených zemí v současnosti doporučují hektarovou dávku dřevěného popela ve výši 3 – 4 tuny za dobu obmýtí, v závislosti na podmínkách stanoviště a složení popela. Formou pokusu však byly aplikovány znatelně vyšší dávky dřevěného popela, aniž by byly zaznamenány jakékoliv náznaky negativních vlivů na lesní ekosystémy (Souček, et. al., 2006).

5.1 Česká republika

Na území České republiky se dřevěný popel prakticky nevyužívá, protože jeho produkce a využívání v podstatě neexistuje. Další důvod nevyužívání popelů je, že zdroje tohoto materiálu, teplárny, jsou rozptýleny prakticky po celém území České republiky, z čehož vyplývá, že shromažďování popelů by bylo časově a logisticky náročné. V neposlední řadě jako negativní aspekt lze uvést malé množství popelů a časovou rozkolísanost produkce. Dřevěný popel z domácností je využíván omezeně do kompostů či pro zahrádkářské účely, ve větším rozsahu však končí jako součást domácího odpadu. Spalovat biomasu na území České republiky nabízejí pouze některé elektrárny podniku ČEZ, ale podíl spalování biomasy je nízký. Biomasa je pouze přidávána formou doplňku ke spalovanému ligninu a hnědému uhlí, popel který pak tímto spalováním vznikne díky omezenému množství spalované biomasy, má podobné vlastnosti jako běžný elektrárenský popílek.

Odejmuté živiny z lesního prostředí a možnost jejich návratu formou dřevěného popela, dělá z dřevěného popela významný prvek udržitelného

hospodaření v lesích. To, jak se bude dřevěný popel na území České republiky využívat v budoucích letech, bude závislé na ekonomické náročnosti výroby a aplikace, dále pak na legislativním zázemí (Souček, et. al., 2006).

Na základě analýzy popelů z více než 40 zdrojů v České republice z hlediska jejich potenciálního využití na zemědělských půdách byly popele rozděleny do kategorií dle: rizikových prvků, vstupní suroviny s ohledem na obsah živin, hodnoty pH a PAU a na základě ztrát žíháním. Prokázalo se, že popele ze slámy a popele z dřevěné štěpky jsou si z hlediska složení velice podobné, popel ze slámy se od popele z dřevní štěpky liší tím, že je chudší na Ca (cca 10 %), bohatší na K (cca 25 %) a obsahuje jednoznačně nižší množství rizikových prvků, díky čemuž tento popel vyhovuje přísné národní legislativě na pomocné půdní látky. Oproti tomu popel z dřevní štěpky obsahuje cca 20 % Ca, 7 % K a 1,5 % P a Mg a více rizikových prvků, což je zapříčiněno i z důvodu nižšího množství popelovin, jedná se především o: Pb, Cr a As. Rizikové prvky obsažené v popelech se významně liší podle druhu popela i podle suroviny. V úletovém popelu se vyskytuje mnohem vyšší obsah rizikových látek než v popelu roštovém. Při srovnávání sedimentů a čistírenských kalů s popelem z hlediska limitních obsahů rizikových prvků, by většina roštových popelů mohla být přímo aplikována na zemědělskou půdu, tento popel rovněž splňoval zahraniční limity pro aplikaci popelů. Úletový popel, jehož produkce je významně nižší, by zmíněné limity na obsah rizikových prvků nespĺňoval, podobně tak i z hlediska obsahu PAU. Na základě výše zmíněných skutečností by bylo vhodné upravit legislativu v České republice tak, aby za určitých podmínek bylo možno popel aplikovat přímo na zemědělskou půdu. V případě, že by tato myšlenka byla realizovaná a popel ze spalování biomasy by bylo možno využít jako hnojivo, měla by tato skutečnost pozitivní dopad na spalovny a to v podobě snížení provozních nákladů, zejména v podobě nenutnosti skladování tohoto materiálu. Další velmi významný přínos by spočíval v návratu živin zpět do půdy, uzavření koloběhu živin a snížení využívání minerálních hnojiv (Tlustoš, et. al., 2012).

5.2 Zahraníčí

Dřevěný popel byl ve Finsku užíván pro melioraci rašelinných půd s jehličnatým porostem monitorován od roku 1935 (Hakkila, 1989, Korpilahti, et. al., 1999). Výzkum podložil zvýšení pH, znatelný nárůst objemového přírůstu, zejména po odvodnění primárně rašelinných půd, dále také obnovou biodiverzity (Näsi, et. al., 2005). Dřevěný popel je ve velkém měřítku produkován z výroby energie ve Švédsku. V roce 1970 byl iniciován výzkum, který byl zaměřen na rašelinné půdy a podzoly ve Švédsku (Högbom, et. al., 2001a, Högbom, et. al., 2001b). Z tohoto výzkumu vyplynul pozitivní efekt hnojení dřevěným popelem, což se projevilo zvýšením pH, zvýšením objemového přírůstu, také se projevila rovnoměrný růst podzemní a nadzemní části dřevin, rovněž se projevila zvýšená vitalita kořenů, což mělo za následek snížení náchylnosti kořenů k napadení a poškození houbovými patogeny ve Švédských lesích. Ze společných energetických zdrojů je dřevěný popel produkován v Dánsku, je to produkt smíšených organických paliv, jakými jsou stromy z probírky v lese, zelený odpad, dřevěná štěpka a sláma. Tímto způsobem vyprodukovaný dřevěný popel má smíšenou kvalitu a proměnlivý obsah chemických látek. Z tohoto důvodu je v Dánsku ročně přibližně 2500 tun dřevěného popelu odváženo na skládku (Møller, et. al., 2001).

V Německu a ve Skandinávii potvrdily výsledky výzkumů půdních rozborů pozitivní hnojivý efekt dřevěného popela, bylo pozorováno zvýšení pH a zásoby živin, což záviselo na podmínkách zkoumaného stanoviště, dále na dávce dřevěného popela a jeho složení. V této souvislosti byl rovněž prokázán dlouhodobý neutralizační efekt hnojení. Aplikací dřevěného popela v lesních ekosystémech lze přispět k trvalé udržitelnosti lesní produkce, protože dřevěný popel působí proti potencionálnímu nedostatku živin do budoucna a proti pokračující acidifikaci půd. Kvůli tomu, že dřevěný popel má variabilní obsah látek, musí jeho širšímu využití předcházet rozbor. Jestli-že dřevěný popel nebyl zapracován hlouběji do půdního horizontu, můžeme očekávat změny půdních vlastností pouze ve svrchních vrstvách půd, kde byl dřevěný popel aplikován. Dodání živin a změna pH může způsobit na některých stanovištích zvýšené vyplavování dusíkatých sloučenin a to vlivem vzájemného narušení živin a

zrychlení mineralizace humusových vrstev. Výše uvedené změny půdních charakteristik se mohou projevit příznivě na zdravotním stavu porostů a na jejich růstu (Bramaryd, et. al, 1995, Kahl, et. al., 1996, Eriksson, 1998, Perkiomaki, et. al., 2002).

5.3 Aplikace dřevěného popela

V minulosti se aplikoval dřevěný popel ve formě jemného prášku ve vodním roztoku a nebo rozprašováním. Vzhledem k obtížím při aplikaci a transportu (nasákivost a vysoká prašnost) se v současné době dřevěný popel spíše granuluje nebo obdobnou formou hutní. Tato použitá technologie (granulace) může ovlivnit průběh vyplavování živin. Na určitá rizika uplatnění dřevěného popela jako hnojiva poukazují výzkumy v souvislosti se složením dřevěného popela, stanovištními podmínkami a použitou technologií aplikace. Poškození kořenů a nebezpečí hutnění půdy může být následkem mechanizované aplikace dřevěného popela, kdy dochází ke zvýšenému pohybu stroje po půdním povrchu. Poškození přízemní vegetace mohou zapříčinit slabě stabilizované popeloviny. K poklesu přírůstu může dojít na některých chudších stanovištích a to díky snížené přístupnosti dusíku. K nahromadění těžkých kovů a dalších toxických látek v půdě může dojít při aplikaci nevhodného dřevěného popela. Vzhledem k uvedeným skutečnostem musí před aplikací dřevěného popela do lesního porostu předcházet chemický rozbor tohoto popela a musí se posoudit stanovištní podmínky. Teprve až po zhodnocení výsledků šetření lze navrhnout postup hnojení a dávku popela. V lesních ekosystémech se zkoušely aplikace různého množství (v rozpětí od 1 do 16 tun na hektar), opakovaná aplikace s nižšími dávkami jsou vhodnější z hlediska využitelnosti živin dřevinami. Při aplikaci na půdu musí být kladen důraz na ochranu aplikovaného popela před jeho splachem do spodních vod či na nechtěné povrchy. Podzim je všeobecně nejvhodnější termín pro aplikaci. Protože půdní pH je v tomto období nižší, půdy jsou lépe propustné a obvykle sušší. Popeloviny tak mohou s dostatečným časem reagovat s půdou dříve, než nastane jarní zvýšená spotřeba živin (Souček, et. al., 2006).

Hnojiva, která jsou vyráběna na bázi rostlinného popele, jsou prašnými materiály, proto je nutné při jejich přepravě prostřednictvím prostředků

s otevřenou ložnou plochou tuto zakrýt plachtou. Doporučená aplikace je prováděna samojízdnými nebo návěsnými traktorovými rozmetadly. Během aplikace je nutné brát ohled na rychlost větru, jestli-že je rychlost větru vyšší jak 5 m.s-1, je hnojivo nutné ihned po aplikaci zapravit do půdy. V Rakousku je mechanicky upravený popel skladován v podobě vodní suspenze, která se aplikuje rozstříkem na pozemek. Na území České republiky je zatím pouze registrováno jedno hnojivo na bázi popele z biomasy, a sice ze spalování biomasy v bioelektrárně. Další z možných způsobů využití popele ze spalování biomasy v zemědělství je aplikace společně se statkovými hnojivy (kejda a hnůj). V praxi se toto spojení realizuje smísením 80 – 90 % kejdy drůbeže, prasat nebo skotu s 10 – 20 % hmotnosti rostlinného popela. Kejdu lze nahradit fugátem z odvodnění digestátu nebo digestátem z bioplynové stanice (max. šupina 8 %). Možné je nahradit rovněž část kejdy a to buď škrobárenskou odpadní vodou nebo lihovarskými výpalky. Zrnitost popele se posuzuje v souvislosti s aplikační technikou a neměla by být vyšší než 5 mm (Váňa, 2010).

6 Degradace a regradace lesních půd a porostů

6.1 Degradace lesních porostů a půd

Pod pojmem degradace lesních půd je nutno si představit zhoršování vlastností půd a lesního stanoviště. Míru degradace ovlivňují dva hlavní faktory, a sice přírodní procesy (acidifikace, debazifikace, podzolizace atd.) a procesy způsobené lidskou činností. V rámci celého světa jsou za nejzávažnější činitele degradace půd považovány desertifikace, zasolení půd a eroze. Na území České republiky na degradaci půd působí vstup toxických elementů a kyselých imisí do půdního prostředí. Jako další příčinu degradace půd v lesních ekosystémech lze uvést i deficit některých elementů, vzniklý intenzifikací lesního hospodářství ve smyslu zvyšování výnosu surovin. Historický podíl na degradaci půd měl člověk např. hrabáním steliva. V roce 1994 se i v některých regionech na degradaci půd podílí turistická, sportovní a rekreační činnost, použití pesticidů a jiných chemických látek, hromadění odpadů a solení silnic (Ministerstvo zemědělství, 1994).

V současnosti eroze půdy ohrožuje více než polovinu celkové výměry orné půdy v České republice (přibližně 1 500 000 ha), vodní erozí 40 % orné půdy, větrná eroze potenciálně ohrožuje 10,4 % orných půd, zejména v Polabí a na jižní Moravě. VÚMOP Praha odhaduje, že z 11592 katastrů v České republice je 25,46 % ohroženo erozí extrémně a 32,23 % ohroženo erozí silně. U nás je 43,4 % orných půd na svazích ve sklonu 3 – 7 st., 8 % na svazích 7 – 12 st. a 0,7 % na svazích nad 12 st. (Saňka, 2009).

Lesní porosty obsahují mechanismy autoregulace (na rozdíl od zemědělských ekosystémů), jejichž rozpoznání a využití může hrát rozhodující roli v odolnosti vůči destrukčním vlivům a stálosti ekosystémů. Lesní ekosystémy bohaté na druhové zastoupení působí stabilizačně samy na svůj vývoj, rovněž tak působí pozitivně na stabilitu širšího prostředí až biosféry. V důsledku rozvoje lidské civilizace se však zhoršuje stav lesních ekosystémů. V historii lze nalézt výstražná mementa, která naléhavost těchto problémů jen podtrhují. Likvidace

lesů v podstatě vždy znamenala zánik civilizace (Libanon, Mezopotámie) (Lhotský, 1987).

Proces antropické degradace lesního ekosystému a s ním spojený proces degradace půd je odvozen od předpokladu, že se vyskytoval původní ekologicky hodnotný a plně produkční ekosystém, který byl degradován následnou lidskou činností. Toto tvrzení samozřejmě neplatí pro stanoviště, kde se vyskytují půdy, resp. ekosystémy s původně deficitním charakterem.

Stádia degradace původně hodnotných lesních ekosystémů lze chápat jako vývojová stádia s dlouhodobě nebo dočasně podvázaným (sníženým, utlumeným) koloběhem energetické a látkové výměny. Tento postoj opět neplatí pro půdy a ekosystémy původně deficitního charakteru. Za základní proces koloběhu látek a energií v lesních ekosystémech můžeme považovat proces transformace organické hmoty, její akumulaci v půdě, migraci, humifikaci a mineralizaci. Za výsledné komponenty objemu energie, která je vkládána do lesních ekosystémů, můžeme považovat objem a intenzitu látkové přeměny, kapacitu fyziologického profilu půdy, druhovou pestrost a vyprodukovanou biomasu. Snížení objemu a rychlosti látkové přeměny, kapacita půdy, v níž probíhají transformační pochody, je omezená, stejně jako tvorba biomasy, takovéto následky může mít degradace lesních ekosystémů. Východiskem z těchto aspektů degradačních stádií lesních ekosystémů je regradace (meliorace). Proces regradace (meliorace) musí nejprve odstranit bezprostřední příčiny a následky degradace a následně zintenzivnit pochody energetické a látkové výměny, jenž byly utlumeny degradačními procesy.

Hlavní projevy degradace lesních ekosystémů:

- zhoršení biologické činnosti půdy;
- zhoršení kvality a formy humusu včetně nadložního;
- zjednodušení biocenózy;
- okyselení půdy a vyplavování bází a dalších živin z vrchních půdních vrstev (Lhotský, 2005).

Na proces degradace lesních porostů působí velké množství chemických, fyziologických a biologických faktorů. Konkrétní příčiny na konkrétním stanovišti jsou obvykle kombinací více mechanismů.

První je rychlý mechanismus. Tento mechanismus se nejvíce děje v oblastech s vysokým obsahem SO₂ v ovzduší, např. v Krušných Horách, kdy dochází k přímému kontaktu asimilačních orgánů smrku s velmi koncentrovaným SO₂, jedná se o tzv. akutní poškození. V určitých případech (vhodné klimatické podmínky) může být imisní epizoda velice krátká, k odumření stromů pak může docházet během desítek minut. Rychlý mechanismus je v současné době na ústupu, což je zapříčiněno snížením koncentrace SO₂ v ovzduší.

Další mechanismy jsou chronické (pomalé). Procesem dlouhodobé acidifikace jsou z půdy vyplavovány kationty (Ca, Mg, K, Na), půdy jsou pak příliš kyselé. Dalším následkem je vysoká koncentrace toxických kovů (zejména hliníku) v půdní vodě, díky čemuž vznikají fyziologické problémy kořenového systému smrků, odumírání jemných kořenů, špatný příjem vody, živin a celkové oslabení rostliny, dále dochází k blokování příjmu Mg (nezbytné součásti chlorofylu), následkem toho dochází ke žloutnutí jehlic, stromy jsou pak vysoce náchylné vůči mrazu, suchu a dalším abiotickým vlivům. Tyto procesy jsou typické pro B-horizont lesní půdy a smrk vzhledem k jeho mělkému kořenovému systému. Druhou příčinou chronického mechanismu mohou být disproporce ve výživě stromu. S tímto úzce souvisejí kyselé deště, které jsou považovány za dobré hnojivo díky vysokému obsahu dusíku, naopak v půdě je nedostatek hořčíku nebo je jeho příjem blokován. Smrk pak rychle přirůstá, hořčík do nových jehlic je čerpán z jehlic starých, které žloutnou a opadávají. Takto stresované stromy mají řídké dřevo a jsou náchylné k napadení patogeny (Hruška, 2002).

6.1.1 Degradáční stadia

1) Paseční degradační stadium

Násilný zásah do režimu lesního ekosystému je holopasečný způsob hospodaření, a to pokud se jedná o stav záměrný, nebo vynucený (kalamitní holiny). V případě vědomého holopasečného způsobu hospodaření (pruhové seče,

obnovní náseky), obvykle lesník degradační vývoj nedopustí. Holiny po živelných kalamitách jsou horším případem. Zde dochází k narušení režimu svrchní vrstvy půdy (doprava, mechanizaci při přibližování) a ke ztrátě části energetických zdrojů odvozem vytěžených kmenů. S tímto souvisí zejména zabuřnění půdy, urychlení mineralizace nahromaděné organické hmoty a zhoršení biologických činností a fyzikálních vlastností lesních půd. Projevuje se také ztráta živin a zvýšené ohrožení půdy erozí. Dochází naopak k obohacení podzemních i povrchových vod živinami, zvláště dusíkem uvolňovaným intenzivní mineralizací. Jako další následek je třeba zmínit zhutnění půdy dopravou a mechanizovaným přibližováním kmenů při zhoršených podmínkách kalamit. Paseční degradační stádium má své specifické mikroklima, které zatěžuje nové zalesnění. Pokud je holý povrch půdy, dochází k jeho přehřívání, v noci naopak dochází k inverzi a v zimě ke škodám mrazem. V případě zabuřnění je vytvořen aktivní povrch ve 2/3 výšky buřně, nicméně tato „ochrana“ sazenic lesních dřevin je spíše neúprosnou ekologickou konkurencí beřně (odběr světla, vody a živin).

2) Porostní degradační stádium

Nejčastějším degradačním stádiem lesních ekosystémů je porostní degradační stádium. Toto stádium bývá způsobeno nevhodnou záměnou hlavní dřeviny. Jako typický případ jsou uváděny jehličnaté monokultury, které se nachází na stanovištích, kde byl původně smíšený les. Součástí degradace lesních ekosystémů je degradace půd (okyselení, omezená mineralizace a humifikace, akumulace nadložního humusu). Je stádiem s dočasně sníženou přeměnou energie (omezená látková výměna, nižší kapacita fyziologického profilu půdy, chudší druhová pestrost, nižší produkce biomasy).

Porostní degradačním stádiem je výsledek degradačního vývoje v průběhu zhruba posledních dvou obmýtí. V minulosti bylo obvykle silné degradační stádium způsobováno mimo nevhodné záměny dřevin také devastačním způsobem hospodaření (např. pastvu v bývalých selských lesích a nebo hrabáním steliva).

V 70. a 80. letech byly realizovány experimentální šetření v růstových lesních oblastech Jihočeské pánve, Novohradské hory, Českomoravská vrchovina, Středočeská pahorkatina, kde se našla krom původních zachovalých lesních

ekosystémů i stadia blízka původním ekosystémům (stadium kulturní). Zjednodušení fytoceózy u smrkového porostu indikoval fytoceologický snímek. Zejména u jeho silně degradačního stádia a to na úkor druhů vyznačujících kvalitní půdní procesy (v případě zachovalého stádia výskyt 26 druhů při 65 % pokryvnosti, v případě zachovalého stádia výskyt 18 druhů při 30 % pokryvnosti). V případě silně degradačního stádia byla skladba druhů půdního pokryvu redukována na indikátory nepříznivých degradačních procesů (7 druhů při pokryvnosti 70%, hlavně mechy a borůvka).

3) Imisní degradační stádium

Závažný problém v lesním hospodářství, jež delší dobu představuje degradace smrčín vlivem zvýšené koncentrace oxidu siřičitého. V nejzávažnějších případech může vést až k rozpadu smrkových monokultur. Přímý imisní vliv na lesní ekosystémy se projevuje na základě toho, jedná-li se o mokrou nebo suchou depozici.

Depozice mokrá znečišťujících látek je zprostředkována srážkami. Jedná se především o sloučeniny dusíku a síry, ionty ionizovaných sloučenin ovlivňující hlavně pH srážkové vody. Srážky ovlivněné tímto způsobem působí jak na lesní půdu, tak na lesní porosty. Největší část působnosti však spočívá v okyselování prostředí. Zvláštní případ je intoxikace lesních porostů těžkými kovy ve formě spadu v blízkosti některých průmyslových provozů.

Depozice suchá může být tuhého nebo plynného skupenství. V těsné blízkosti zdrojů znečištění jsou usazovány depozice tuhých částic ve formě spadu. V poslední době se množství tuhého spadu snižuje, jelikož použití odlučovačů je účinné. Hodnoty spadu se v České republice pohybují maximálně na jedné čtvrtině kritické hodnoty. Sloučeniny ve skupenství plynném se usazují na povrchu půdy. Významnou roli v tomto procesu hraje vlhkost půdy (zvláště při sorpce oxidu siřičitého). Čím vyšší vlhkost, tím vyšší sorpce. Sorpce plynného SO₂ do povrchu lesních půd se v ČR v 80 letech odhadovala přibližně okolo 1 tuny na 1 km². V současnosti je znatelně nižší (až 20krát méně). Jiné plynné depozice jsou zanedbatelné (sloučeniny fluoru, čpavek).

4) Jiné příčiny

Mezi jiné příčiny lze zahrnout intenzifikaci života vyspělé společnosti a negativní dopady civilizačního vývoje. Významnou změnu růstového prostředí představuje cestní síť spolu s vlastní dopravou (aplikace posypových solí, zplodiny ze spalovacích motorů, rušivé zářezy do lesních komplexů narušující výživu lesních ekosystémů i vodní režim) a lomová těžba hnědého uhlí, jenž je provázena novotvary v krajině. Složiště odpadů a různých látek mají lokální význam. Z těchto míst může být větrnou erozí zanášen do okolních prostorů toxický prach. V lokalitách, kde je realizována těžba některých rud, mohou být lesní ekosystémy intoxikovány jak následky použitých technologií, tak vlastními produkty těžby. Ani mechanizace vlastních prací v lesním hospodářství není vždy jen přínosná, může znamenat i citelnou újmu (např. přibližování traktory, čehož je následkem zhutnění půd). I rekreace s sebou může nést řadu nezanedbatelných složek nepříznivých vlivů na lesní půdu a lesní ekosystémy (např. vytlačování přirozené fauny pohybem a hlukem, vnesení cizorodých látek a předmětů, škody na podrostu, udupání půdy) (Lhotský, 2005).

6.1.2 Acidifikace

Acidifikace půdy je postupná ztráta schopnosti neutralizovat kyselé vstupy. Jedná se o proces přirozený. Z hlediska přírodních podmínek je přirozená acidifikace způsobena autoprotolýzou vody, její reakci s atmosférickými plyny (zejména s CO_2) a dále v důsledku tvorby biogenních kyselin (H^+). Tyto biogenní kyseliny jsou do vody uvolňovány jako důsledek rozkladu odumřelé organické hmoty. Nízkomolekulární frakce organických kyselin na sebe vážou bazické kationty (jedná se o ionty draslíku, hořčíku a vápníku), tyto bazické kationty jsou velmi mobilní a podílejí se aktivně na procesu neutralizace těchto sloučenin. Následkem těchto procesů vznikají soli, které jsou vyplavovány z půdy, čímž dochází potenciálně k postupnému úbytku přístupných minerálních živin v půdě a k jejímu okyselování. Lesní dřeviny způsobují okyselování půdy v době příjmu

dusíku (NH_4^+), kdy je z nich vylučováno ekvivalentní množství H^+ (Samec, et. al., 2008).

6.2 Regradace lesních porostů a půd

Degradační stádia v lesích, které byly původně produkčně a ekologicky hodnotnými ekosystémy, jsou schopny regradace. Ve spojitosti s problematikou odstranění příčin degradace a nápravy degradovaných lesních porostů jsou uváděny pojmy meliorace (komplexní soustava opatření sloužících k odstranění následků a převážně i příčin degradace) a rekultivace (obnova produkčních schopností půdy, jednorázovou nápravou obvyklé jednotlivé překážky, jež omezuje produkční schopnosti půdy). Meliorační proces je členěn na melioraci biologickou (zařazování meliorační dřeviny popř. melioračních rostlin pomocných, optimalizování porostní stavby a přeměna monokultur), meliorací chemickou (přímé hnojení a vápnění) a meliorací mechanickou (na bázi prvků mechanického zpracování půdy) (Lhotský, 1987).

V případě snahy o melioraci (regradaci), by se mělo vycházet z uvolnění utlumené energetické a látkové výměny. V lesních ekosystémech se jedná především o hospodaření dle typologických poznatků, diverzifikaci biocenózy, uvolnění energie a živin z nadložního humusu, prohloubení (zvětšení) aktivního půdního profilu apod. K regradačnímu účinku přispívá meliorační dřevina jako přirozený druh původního lesního ekosystému, resp. ekologické nároky této rostliny, jsou z hlediska stanoviště, kde roste, splněny. Naopak degradace je intenzivnější v monokulturálních porostech, jež není přirozená skladba lesních ekosystémů. Kupříkladu smrkové monokulturální porosty na stanovištích vlhkých doubrav. Tato stanoviště náročnost smrku na vodu splňují, což mělo za výsledek slabší degradační projevy oproti monokulturálním smrkům na stanovištích svěžích doubrav. Téměř totožné projevy chování byly zaznamenány u borových monokultur (stádií) svěžích doubrav v porovnání s borovými monokulturami ve vlhkých doubravách či bučinách, kde se projevila silná degradace (Lhotský, 2005).

Regradaci lze dosáhnout kombinací chemické meliorace s meliorací biologickou. Meliorace chemická je z lesnického hlediska představována jako krajní opatření. Zvažování k přistoupení na tento způsob řešení probíhá až tehdy, nelze-li počítat s nápravou formou spontánního vývoje lesního ekosystému či v případě klasických pěstebních opatření a dochází-li k výrazným poruchám vývoje lesních porostů. Do chemické meliorace jsou řazena opatření typu přímého hnojení a nepřímého hnojení (vápnění) (Podrázský, et. al., 2001a).

6.2.1 Vápnění

Dlouhodobě nepoužívanějším melioračním opatřením mnoha světových zemí je vápnění (nepřímý způsob hnojení). Využívá se jak v imisních podmínkách, tak v nejrůznějších ekologických stanovištích. V evropských zemích dosáhlo největšího rozmachu ve spojitosti s imisní kalamitou v rámci těchto území. Původně bylo jeho využití záměrem k mírnění dopadu kyselé atmosférické depozice na zemědělské a lesní půdy (Podrázský, et. al., 2001a).

6.2.2 Hnojení

V oblasti lesního hospodářství jsou rozlišovány dva hlavní typy hnojení: operativní hnojení pěstovaných dřevin a základní hnojení půd.

Základní hnojení – do půdy dodává hnojivé látky za účelem dosáhnout zlepšení růstových poměrů (úrodnosti) daného stanoviště a především za účelem upravení nevyhovujících vlastností (biologické, chemické a fyzikální) půdy. Dle funkce je hnojení členěno na zásobní hnojení, startovací hnojení, kompenzační hnojení, udržovací hnojení, meliorační hnojení apod. Výsledky pedologického průzkumu zájmové lokality jsou podkladem pro stanovení potřeby hnojení základní půdy.

Operativní hnojení – Čili se jedná o aplikaci hnojiv do živého lesního prostředí dřevin v době, kdy se již jejich jakákoliv vývojová a růstová stadia nacházejí na daném pozemku. Z čehož vyplývá, že tento pojem zahrnuje hnojení od semenáčků a sazenic v lesních školkách, přes hnojení sazenic při výsadbě či vzcházejících sítí, až po hnojení mlazin, lesních kultur, tyčkovin a hnojení vzrostlých porostů. Cílem tohoto typu hnojení je ovlivnění podmínek a stavu výživy u pěstovaných lesních dřevin. Podkladem pro realizaci tohoto způsobu

hnojení jsou průzkumy stavu výživy dřevin za pomoci anorganických rozborů rostlinných pletiv nebo za pomoci obdobných diagnostických metod (Ministerstvo zemědělství, 1994).

7 Ekonomická analýza využití dřevěného popela

7.1 Náklady na aplikaci popela

Jelikož je dřevěný popel získáván jako odpadní produkt při spalování biomasy, náklady na jeho získávání jsou prakticky nulové. Tudiž můžeme uvažovat mezi náklady pouze samotnou aplikaci popela do ekosystému, resp. k jednotlivým sazenicím. Aplikace by měla být prováděna dle mého názoru důkladně a co možná nejšetrněji, a sice formou ruční aplikace v podobě pracovníka, který by dřevěný popel sypal ke každé sazenici ve stejném množství. Z toho vyplývá, že náklady vystávají pouze v souvislosti se mzdou pro pracovníka. Tuto bych stanovil na základě:

1. počtu sazenic/ha - Minimální počet sazenic na jeden hektar se odvíjí od druhu dřeviny použité a stanoviště. Tyto počty pro prostokřehý sadební materiál jsou uvedeny v příloze 6 vyhlášky 139/2004 Sb. Například: minimální počet sazenic dubu letního a zimního na kyselých, exponovaných, oglejených a podmáčených stanovištích je 8000 ks/ha. (*viz. příloha č. 6 k vyhlášce MZe č.139/2004 Sb.*).
2. délky trvání ošetření jednoho ha - Aplikaci popela prostřednictvím práce pracovníka bych přirovnal dle dokumentu: *Výkonové normy pro pěstební činnost* k postřiku, kdy ošetření 100 ks sazenic trvá 0,35 Normohodiny.

tab. 9, Náklady na aplikaci dřevěného popela (autor, 2015)

Druh	Počet sazenic/ha	Doba aplikace v Nh	Cena aplikace v Kč/ha * ¹	Doprava náklady/100km * ²
DB	8000	28	2800	217 Kč
BO	8000	28	2800	217 Kč

*¹ Cena aplikace popela byla uvažována jako tarif 100 Kč za normohodinu.

*² Náklady na dopravu pracovníků a popela do porostu byly uvažovány ve výši 7 l/100 Km, při čemž cena za 1l je průměrně 31 Kč.

7.2 Efekt hnojení

Aby aplikace dřevěného popela do porostu měla smysl, musí po jeho aplikaci a využití prvků, které obsahuje dřevinami, dojít k vyššímu přírůstu dřevní hmoty, než kdybychom popel nepoužili.

tab. 10, Efekt hnojení (Lesnická práce, 2012 - 2014)

Druh	Ø Ceny surového dříví (Kč/m ³)	Výnos z prodeje/ha * ¹	Výnos z prodeje/ha po aplikaci popela	Potřebný nárůst dřevní hmoty v m ³
DB III.C třídy jakosti	1 815	479 160 Kč	476 143 Kč	1,9
BO III.C třídy jakosti	1 499	395 736 Kč	392 719 Kč	2,3

*¹ Výnos z prodeje/ha vychází z průměrné zásoby dle webových stránek Ministerstva zemědělství v České republice, což je 264 m³/ha, jenž byla vynásobena \emptyset cenou za stanovené období. V této souvislosti je nutné zmínit, že veškerou dřevní hmotu nelze prodat jako třídu jakosti III.C, část zásoby bude využita např. jako palivo, či nevyužita ve formě odpadu.

7.3 Zisk z prodeje těžebních zbytků

Cena klestu se v České republice pohybuje mezi 20 – 25 Kč za m³ (Ventrubová, ústně 2014).

8 Závěr

Bakalářská práce je věnována možnostem využití dřevěného popela v lesních porostech a problematice s ní úzce související. Cílem bylo na základě získaných informací zhodnotit současný stav týkající se uvedené problematiky na území České republiky.

Využívání popela ze spalování biomasy je v zahraničí studováno již řadu let. Většina teoretických poznatků pochází ze zemí s vysokým dřevním potenciálem, přičemž tyto poznatky jsou již dostatečně ověřeny v praxi. Jedná se především o státy Severní Ameriky a Skandinávie.

V České republice je využívání popela ze spalování biomasy minimální. To je zapříčiněno především rozptýleností zdrojů dřevěného popela, nízkou produkcí, nevhodnou legislativou a v neposlední řadě nízkým povědomím veřejnosti o jeho možném využití. V současnosti se s popelem nakládá omezeně ve formě prostého skladování bez jakéhokoliv dalšího využití. Oproti tomuto současnému nakládání dřevěný popel vzhledem ke svým fyzikálním a chemickým vlastnostem nabízí širokou škálu možností, jak ho využít. Po aplikaci na zemědělských či lesních půdách byly pozorovány pozitivní účinky na růst rostlin, snižování acidity půd, obohacování půd o živiny apod. Nutně se nemusí vždy jednat jen o zemědělské nebo lesnické využití, lze jej využívat i ve formě sorbentu nebo příměsi do stavebních materiálů.

Hlavním limitujícím faktorem využití dřevěného popela je výskyt škodlivin, které obsahuje. Jedná se zejména o vyšší koncentraci těžkých kovů, jejich množství je závislé na složení spalované dendromasy (např. v souvislosti s použitými nátěrovými materiály), chování těžkých kovů během samotného procesu spalování, odlučování a separace jednotlivých frakcí popela. Stěžejní je zejména obsah Cd, jenž omezuje jakékoliv přímé použití na půdu. I legislativa v České republice nenabízí velké množství alternativ, jak s popelem nakládat. Z legislativního hlediska je totiž na popel nahlíženo jako na odpadní produkt výroby.

Z mého pohledu a tak, jak jsem měl možnost se s touto problematikou seznámit, by bylo vhodné dřevěný popel jako hnojivo ať už samostatně nebo

formou příměsi využívat. Plusem v souvislosti s jeho využitím jsou zejména prakticky nulové náklady na jeho získávání. Pozitivní vlivy na půdu resp. rostlinstvo jsou již dokázány (s ohledem na studie ze severských zemí) a samotná aplikace, zejména v souvislosti s ekonomickou stránkou věci, je, dle mých úvah, v porovnání s tímto pozitivním vlivem prakticky zanedbatelná.

Seznam použité literatury

1. BIEDERMANN F., OBERNBERGER I., 2005: *Ash-related problems during biomass combustion and possibilities for a sustainable ash utilisation*.
<http://www.bios-bioenergy.at>. [Online] Austrian Bioenergy Centre GmbH, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, [Citace: 11. listopad 2014.] <http://www.bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Biedermann-AshRelated-2005-10-11.pdf>.
2. BRAMRYD T., FRANSMAN B., 1995: *Silvicultural use of wood ashes—effects on the N nutrient and heavy metal balance in a pine (Pinus sylvestris, L.) forest soil*. [S. 1.]: Water, Air and Soil Pollution 85.
3. BUREŠ M., DOLEŽAL R., HÁNA J., KADEŘÁBEK V., MACKŮ J., NIKL M., 2009: *Analýza a výsledná kvantifikace využitelné lesní biomasy s důrazem na těžební zbytky pro energetické účely, při zohlednění rizik vyplývajících z dopadu na půdu, koloběh živin a biologickou rozmanitost*. Brno : ÚHÚL. Brandýs nad Labem, 50 s.
4. ERIKSSON H., 1998: *Short-term effects of granulated wood ash on forest soil chemistry in SW an NE Sweden*. [S. 1.]: Scandinavian Journal of Forest Research Supplement 2.
5. HAKKILA P., 1989: *Utilisation of Residual Forest Biomass*. Berlín : Springer Series in Wood Science.
6. HÖGBOM L., NOHRSTEDT H. Ö., NORDLUND S., 2001b: *Effects of wood-ash addition on soilsolution chemistry and soil dynamics at a Picea abies (L) Karst site in southwest Sweden*. [S. 1.]: SkogForsk Report No. 4.
7. HÖGBOM L., NOHRSTEDT H. Ö., NORDLUND S., 2001a: *Wood ash addition to an acid and highly N loaded Norway spruce site in SW Sweden*. [S. 1.]: SkogForsk Report No. 2.

8. HRUŠKA J., CIENCIALA E., 2002: *Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd – limitující faktor současného lesnictví*. Praha : Ministerstvo životního prostředí, ISBN 80-7212-190-1.
9. JOHANSSON L. S., TULLIN C., BECKNER B., SJOVALL P., 2003: *Particle emissions from biomass combustion in small combustors*. [S. 1.]: Biomass and Bioenergy.
10. KAHL J., FERNANDEZ I., RUSTAD L., PECKENHAM J., 1996: *Threshold application rates of wood ash to an acidic forest soil*. [S. 1.]: Journal of Environmental Quality 25.
11. Korpilahti A., Moilanen M., Finér L., 1999: *Wood ash recycling and environmental impacts. State of the art in Finland. In Developing Systems for Integrating Bioenergy into Environmentally Sustainable Forestry*. A.T. Lowe and C.T. Smith (compilers). Rotorua, New Zeland : autor neznámý.
12. KUBA T., TSCHÖLL A., PARTL C., MEYER K., INSAM H., 2008: *Wood ash admixture to organic wastes improves compost and its performance*. [S. 1.]: Agriculture, Ecosystems & Environment.
13. LHOTSKÝ J., 1987: *Degradace lesních půd a jejich meliorace*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 234 s.
14. LHOTSKÝ J., 2005: *Příčiny antropické degradace lesních ekosystémů*. Lesnická práce, Sv. 84, 6.
15. MAHMOOD S., FIMLEY R. D., ERLAND S., 1999: *Effects of repeated harvesting of forest residues on the ectomycorrhizal community in a Swedish spruce forest*. [S. 1.]: New Phytologist, 142: 577–585.
16. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR., 1994: *Lesnický naučný slovník. Díl I, A-O* / Red. Zdeněk Poleno; Jaz. úprava Věra Vlková ; Předml. Pavel Rybníček. Praha : MZe, ISBN 80-7084-111-7.
17. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR., 2012: *Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012 - 2020*. Praha : MZe, ISBN 978-80-7434-074-1.

18. MØLLER I., INGERSLEV M., 2001: *The need for and effects of wood-ash application in Danish forests*. [S. 1.]: SkogForsk Report No. 2.
19. NÄSI N., KUBIN E., TILLMAN-SUTELA E., 2005: *Re-vegetation of a cut-away peatland is accelerated by ash fertilisation: In ReCash Seminar Proceedings, Regular Recycling of Wood Ash to Prevent Waste Production: ReCash – A Life Environment Demonstration Project. J. Pechova and J. Karas (eds)*. Prague : Lesy České republiky s.p. (Forests of the Czech Republic SE.) .EU Life Project.
20. NIKL M., SOUŠEK Z., POLÍVKA M., a kolektiv zaměstnanců., 2014: *Pěstování a využití biomasy lesních dřevin pro další zpracování a energetické účely*. Brandýs nad Labem : ÚHÚL, 42 s.
21. OBERNBERGER I., BIEDERMANN F., WIDMANN W., RIEDL R., 1997: *Concentrations of inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fractions*. Biomass and Bioenergy.
22. PERKIOMAKI J., FRITZE H., 2002: *Short and long term effects of wood ash on the boreal forest humus microbial community*. [S. 1.]: Soil Biology & Biochemistry 34.
23. PITMAN R. M., 2006: *Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts*. [S. 1.]: Forestry.
24. PODRÁZSKÝ V., a kol., 2001a: *Možnosti revitalizace lesních půd imisních oblastí*. Praha : Česká zemědělská univerzita. Lesnická fakulta, ISBN 80-231-0745-5.
25. SAMEC P., VAVŘÍČEK D., MACKŮ J., 2008: *Acidifikace versus pufrace lesních půd*. Lesnická práce, Sv. 87, 5.
26. SAŇKA M., 2009: *Program ochrany zemědělské půdy v Libereckém kraji*. Brno : Liberecký kraj.
27. SOUČEK J., ŠPULÁK O., 2006: *Dřevěný popel – odpad, nebo cenná surovina? (Wood ash – waste or valuable material?)*. Praha : Lesnická práce, Sv. 85.

28. STUPAVKŠÝ V., HABART J., TLUKA P., 2009: *Biomasa & Energetika 2009*. Praha : CZ Biom, ČZÚ, Zemědělská společnost při ČZU v Praze, 78 s.
29. TLUSTOŠ P., OCHECOVÁ P., SZÁKOVÁ J., PERNÁ I., HANZLÍČEK T., HABART J., STRAKA P., 2012: *Monitoring kvality popelů ze spalování biomasy*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, ISBN 978-80-213-2327-8.
30. ULRICH B., 1983: *Soil acidity and its relation to acid deposition*. In: Ulrich, B., Pankrath, J. (Eds.): *Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems, Proceedings Workshop Göttingen*. Dordrecht : Reidel.
31. VÁŇA J., 2010: *Tretiruka.cz.*, [Citace: 3. březen 2015.]
<http://www.tretiruka.cz/news/vyuziti-popele-ze-spalovani-biomasy/>.