

**METODICKÉ POSTUPY PRO ZMENŠENÍ
NEPŘÍZNIVÉHO PŮSOBNÍ VYŠŠÍCH
KONCENTRACÍ A DEPOZIC SLOUČENIN
DUSÍKU NA LESNÍ EKOSYSTÉM
V ORLICKÝCH HORÁCH**

LESNICKÝ PRŮVODCE



**Ing. JIŘÍ SOUČEK, Ph.D.
a kol.**

**Certifikované
METODIKY
PRO PRAXI**

16/2018

Metodické postupy pro zmenšení nepříznivého působení vyšších koncentrací a depozic sloučenin dusíku na lesní ekosystém v Orlických horách

Certifikovaná metodika

Ing. Jiří Souček, Ph.D.

Ing. Dušan Kacálek, Ph.D.

Ing. František Šach, CSc.

Ing. Jan Leugner, Ph.D.

Ing. Evelína Erbanová, Ph.D.

Lesnický průvodce 16/2018

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

Strnady 136, 252 02 Jíloviště

www.vulhm.cz

Publikace vydané v řadě Lesnický průvodce jsou dostupné v elektronické verzi na:

http://www.vulhm.cz/lesnicky_pruvodce

Vedoucí redaktor: Ing. Jan Řezáč; e-mail: rezac@vulhm.cz

Výkonná redaktorka: Miroslava Valentová; e-mail: valentova@vulhmop.cz

Grafická úprava a zlom: Klára Šimerová; e-mail: simerova@vulhm.cz

ISBN 978-80-7417-181-9

ISSN 0862-7657

METHODS TO MITIGATE NEGATIVE IMPACT OF INCREASED CONCENTRATIONS AND DEPOSITIONS OF NITROGEN COMPOUNDS IN FOREST ECOSYSTEMS, THE ORLICKÉ HORY MOUNTAINS

Abstract

The Orlické hory Mountains belong to the regions with the greatest pollution of nitrogen in the Czech Republic. The main goal of this guide is to propose silvicultural measures focused on mitigation of increased nitrogen load in forest ecosystems. Application of these measures secures better providing of both non-commercial and production services of forests. Measures are differentiated according to site conditions and tree species.

Key words: nitrogen deposition; Norway spruce; beech; larch; birch; forest management; Orlické hory Mountains

Oponenti: doc. ing. Zbyněk Kulhavý, CSc., VÚMOP, v. v. i., Praha, pracoviště Pardubice
Ing. Miroslav Válek, ÚHÚL Brandýs nad Labem, pobočka Hradec Králové

Adresa autorů:

Ing. Jiří Souček, Ph.D.

Ing. František Šach, CSc.

Ing. Evelína Erbanová, Ph.D.

Ing. Jan Leugner, Ph.D.

Ing. Dušan Kacálek, Ph.D.

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

Výzkumná stanice Opočno

Na Olivě 550

517 73 Opočno

e-mail: soucek@vulhmop.cz

Podíl autorů:

J. Souček 50 %

D. Kacálek 10 %

F. Šach 20 %

E. Erbanová 10 %

J. Leugner 10 %

Obsah

1	ÚVOD	7
2	CÍL METODIKY	9
3	VLASTNÍ POPIS METODIKY	10
3.1	Trendy vstupů, spotřeby a výstupů dusíku z modelového povodí U Dvou louček	10
3.2	Kalkulace poutání živin v biomase modelových lesních porostů	12
3.3	Produkce biomasy podle dřevin a stanovištních podmínek	13
3.4	Potenciál využití rychle rostoucích dřevin (jedinců) pro redukci zvýšené zátěže dusíkem	15
3.5	Redukce zásob dusíku ve smrkovém porostu výchovnými zásahy	17
3.6	Možnost návratu živin do ekosystému využitím dřevního popela	21
3.7	Omezení negativního vlivu dusíku v horských polohách umělou obnovou s využitím celého růstového spektra horských populací smrku	22
4	SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“	24
5	POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	24
6	EKONOMICKÉ ASPEKTY	25
7	ZÁVĚRY	26
8	DEDIKACE	26
9	LITERATURA	27
9.1	Seznam použité literatury	27
9.2	Seznam publikací řešitelů, které předcházely metodice	30
	SUMMARY	31

1 ÚVOD

Dusík (N_2) je v přírodě hojný prvek, jako inertní plyn tvoří 78 % objemu atmosféry. Do přírodního cyklu se ze vzduchu dostává při bouřkách, některé rostliny mohou fixovat vzdušný dusík s využitím symbiotických bakterií. Dominantním zdrojem dusíku v půdě je přirozený rozklad organické biomasy. Na mnohých stanovištích byl dusík historicky považován za prvek limitující růst a primární produkci ekosystémů. Střední hodnoty vstupu dusíku do ekosystému bez ovlivnění lidskou činností nepřesahovaly 0,5 kg N na hektar za rok, současné roční depozice dusíku v oblasti střední Evropy se pohybují v širokém rozmezí 5–60 kg N na hektar. Průměrná hodnota celkové roční depozice dusíku se v České republice pohybuje v rozmezí 10–20 kg na hektar a kritická zátěž je překročena na velké části území. Podle současných poznatků je pro středoevropské jehličnaté lesy kritickou zátěží roční depozice přesahující zhruba 10 kg N na hektar. Výrazné globální zvýšení emise dusíku (3–5krát v minulém století) je zmiňováno v souvislosti s intenzifikací zemědělství, průmyslu a dopravy.

Překročení kritické zátěže se nepříznivě projevuje na stavu lesa, výrazně zvýšená depozice může způsobit zhoršení zdravotního stavu, růstu a případně i odumření jedince. Hospodářské lesy jsou v porovnání s jinými ekosystémy schopny vázat poměrně velké množství dusíku. Snížená schopnost porostů vázat dusík je spojena se zdravotním stavem porostů (včetně stavu lesních půd) a jejich věkem. Roční spotřeba dusíku dospělými porosty smrku je okolo 13 kg, u buku 17 kg (LOCHMAN, KANTOR 1985). Mladší porosty produkují více biomasy, a tím vykazují i vyšší spotřebu dusíku. Zvýšená dostupnost dusíku v ekosystému zpravidla zvyšuje jeho obsah v pletivech asimilačních orgánů. Při odpovídajícím zastoupení ostatních prvků a vhodných podmínkách prostředí (zákon minima) může být stimulována úroveň fotosyntézy, což následně vede k zvýšenému růstu. Literární poznatky o vlivu depozice dusíku na přírůst jsou často rozporuplné z důvodu rozdílných stanovištních a porostních poměrů, rozdílné saturace ekosystému dusíkem a výskytu dalších faktorů (světlo, voda, zásoby dalších živin) v limitním množství. V těchto případech může být efektivnost zvýšené zásoby dusíku v ekosystému potlačena. Dosavadní experimenty s dlouhodobým přidáváním dusíku do ekosystému naznačují, že růstová reakce stromů nemá zpravidla lineární průběh. Počáteční stimulace růstu zvýšenou depozicí dusíkem může být záhy nahrazena výrazným poklesem pod výchozí hodnotu.

Mezi další nepříznivé působení zvýšených koncentrací a depozic dusíku na lesní ekosystémy je možné řadit riziko eutrofizace půdy a zakyselování prostředí vyplávaním bazických kationtů. Lesní porosty vykazují stanovištním poměrům nepří-

měřený přírůst výškový i tloušťkový (zvláště smrk) s následným ohrožením stability těchto porostů abiotickými faktory (sníh, vítr, sucho) i faktory biotickými (houbová onemocnění a zejména pak podkorní hmyz). Tyto vlivy nepříznivě ovlivňují stav lesa a plnění požadovaných funkcí. Zvýšená depozice také nepříznivě ovlivňuje biodiverzitu druhů. Zvýšená depozice v lesnatých oblastech ve srovnání s bezlesými je ovlivněna schopností dřevin vyčesávat látky z ovzduší.

Orlické hory patří v rámci České republiky mezi oblasti s největší zátěží sloučeninami dusíku (HRUŠKA, CIENCIALA 2002; FOTTOVÁ 2003). Oblast je zvýšenou zátěží dusíkem ohrožovaná již od konce 20. století, nejvýznamnější depozice jsou zaznamenány v 6. a 7. (částečně i v 5.) lesním vegetačním stupni. Majitelé lesů i lesní hospodáři musí reagovat na zhoršování zdravotního stavu lesních porostů vlivem zvýšených depozic dusíkatých sloučenin lesopěstebními opatřeními pro zajištění odpovídajícího plnění produkčních i mimoprodukčních funkcí. V současné literatuře se vyskytují značně rozdílné názory, jak využít potenciál pěstebních zásahů na snížení dopadu zátěže dusíkem na produkční i mimoprodukční funkce lesa v závislosti na stanovištních a porostních podmínkách. Současné návrhy předpokládají zejména rozdílné formy využití biomasy, úpravu dřevinné skladby a pěstební zásahy. Volba dřevinné skladby v dané oblasti je částečně ovlivněna zájmy ochrany přírody, těžební zásahy s různým využitím biomasy naráží na rizika ochuzení ekosystému o komplex dalších živin.

Vyšší využití biomasy se v současné době dostává do popředí zájmu vlastníků lesa, těžebních společností i energetických firem. Biomasa tvoří značný podíl z obnovitelných zdrojů používaných pro výrobu energie. Mezinárodní závazek ČR vyplývající ze směrnice 2009/28/ES určuje závazný cíl dosáhnout podílu obnovitelných zdrojů energie na konečné spotřebě energie ve výši 13 % v roce 2020. Vyšší využívání biomasy představuje potenciál ekonomického zisku, na druhou stranu jsou zmiňována rizika spojená s postupným ochuzováním lesních půd systematickým odnímáním biomasy a v ní vázaných živin. Koncentrace důležitých živin v biomase větví a asimilačních orgánů jsou výrazně vyšší ve srovnání s biomasou dřeva, intenzivní využívání těžebních zbytků tak může zvyšovat riziko možného vyčerpání dostupných zásob bazických kationtů. Reálnost rizik vyčerpání zásob živin souvisí i s nepříznivým stavem lesních půd a problémy s výživou lesních porostů. Trvale udržitelné hospodaření v lesích je přitom možné pouze za předpokladu, že jsou dlouhodobě vyrovnané vstupy a výstupy látek (živin) z (do) ekosystému (půdy). Rizika spojená s odnímáním živin mohou být snížena zpětným použitím produktů vzniklých spalováním dřeva (dřevního popela). Této problematice je v poslední době ve světě věnována značná pozornost.

2 CÍL METODIKY

Cílem metodiky je poskytnout vlastníkům a správcům lesa praktická doporučení podporující plnění požadovaných funkcí lesa v oblastech ovlivněných zvýšenými depozicemi sloučenin dusíku. Výsledným efektem použití metodiky je omezit nepříznivý vliv zvýšené depozice dusíku.

Metodika přináší lesním hospodářům tyto informace:

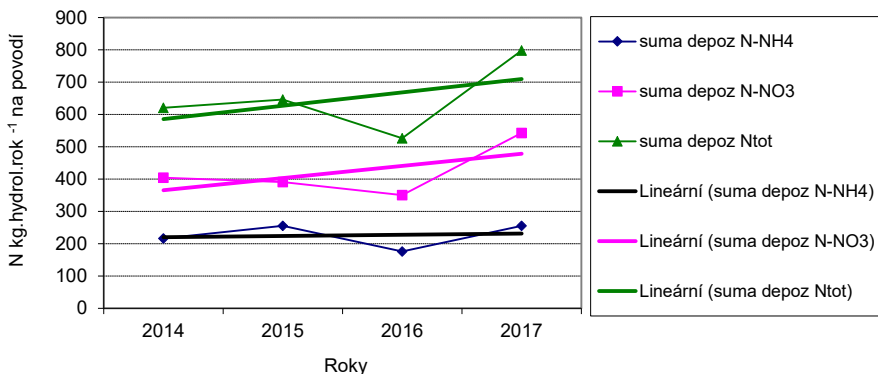
- Trendy vstupů, spotřeby a výstupů dusíku (modelové povodí U Dvou louček);
- Potenciál poutání živin v mladých lesních porostech v podmínkách středních a vyšších horských poloh;
- Možnost využití rychle rostoucích dřevin (jedinců) pro redukci zvýšené zátěže dusíkem;
- Možnosti využití různých těžebních postupů při redukci zvýšené zátěže dusíkem spolu s rizikem odstranění základních živin při různých způsobech zpracování dřevní hmoty;
- Potenciál omezení negativního vlivu zvýšené zátěže dusíkem využitím celého růstového spektra populací;
- Potenciál využití dřevního popela jako kompenzace odnětí živin (P, K, Ca, Mg) z těchto stanovišť.

3 VLASTNÍ POPIS METODIKY

3.1 Trendy vstupů, spotřeby a výstupů dusíku z modelového povodí U Dvou louček (UDL)

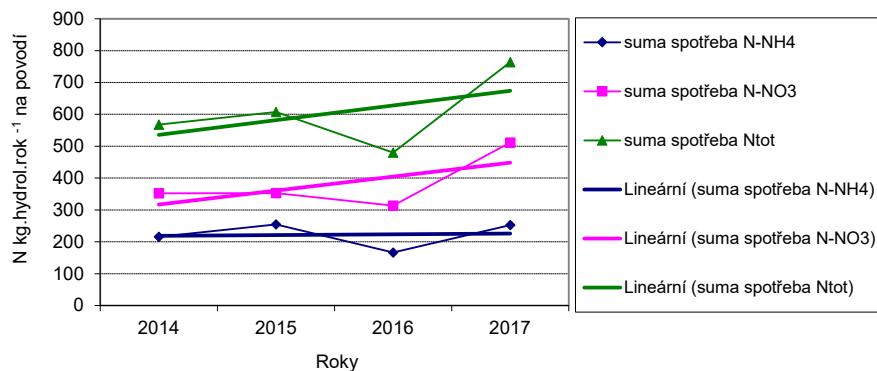
Roční sumy depozic obou sloučenin N (N-NH_4 a N-NO_3) na povodí během hydrologických let 2014–2017 stoupaly, právě tak jako jejich součet N_{tot} . Vyšší byla a více stoupala depozice N-NO_3 (obr. 1). Vyšší byl také odtok N-NO_3 ve vodoteči v závěru povodí než odtok N-NH_4 , N-NO_3 však v odtoku významně klesal, zatímco N-NH_4 mírně stoupal (obr. 2).

Spotřeba N-NH_4 byla nízká, oscilovala kolem 200 kg na povodí a hydrologický rok (ca 6 kg na 1 ha a hydrorok) a v podstatě se neměnila. Spotřeba N-NO_3 byla vyšší než spotřeba N-NH_4 a v průběhu hydrologických let 2014–2017 stoupala z ca 300 kg na ca 450 kg na povodí a hydrologický rok (ca z 9 na 14 kg na 1 ha a hydrorok). Spotřeba N_{tot} byla v součtu pochopitelně nejvyšší a její stoupání z 540 na 680 kg na povodí a hydrologický rok (ca ze 16 na 21 kg na 1 ha a hydrorok) dotoval

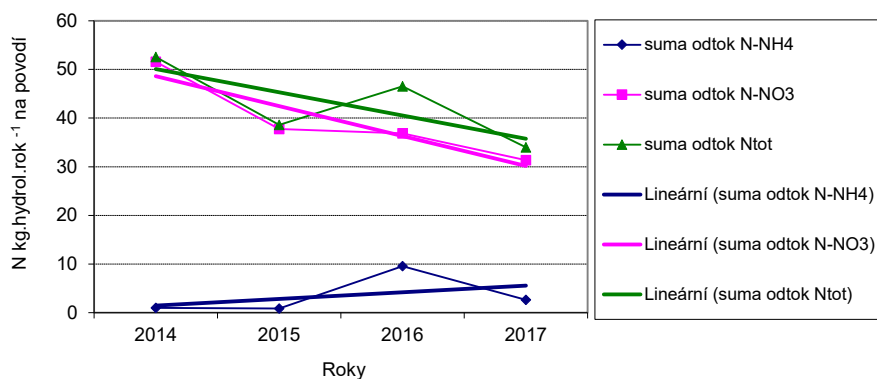


Obr. 1: Trend depozice nitratového, amonného a celkového dusíku v hydroletech 2014–2017 na povodí UDL

zejména N-NO₃. Nevelký zbytek deponice dusíku (hodnoty při poklesu z ca 50 na 36 kg na povodí a hydrorok, tedy ca z 1,5 na 1,1 kg na 1 ha a hydrorok) se pak půdou dostává do vodoteče (obr. 3).



Obr. 2: Trend spotřeba nitrátového, amonného a celkového dusíku v hydroletech 2014–2017 na povodí UDL



Obr. 3: Trend odtoku nitrátového, amonného a celkového dusíku v hydroletech 2014–2017 na povodí UDL

3.2 Kalkulace poutání živin v biomase modelových lesních porostů

Pro modelování množství živin vázaných v lesních porostech v oblasti Orlických hor byly vybrány modelové dřeviny smrk ztepilý, buk lesní, z rychle rostoucích dřevin modřín opadavý a bříza bělokorá. Smrk a buk jsou nejrozšířenější dřeviny v dané oblasti; bříza byla navržena z důvodu jejího pionýrského charakteru růstu a potenciálu rychlé produkce biomasy. Modřín jako domácí dřevina je na hodnoceném území dlouhodobě využíván z důvodu rychlého růstu, potenciálu odrůstání na volných plochách i produkce žádaného dřeva. Pro kalkulaci byly vybrány dominantní stanovištní podmínky v zájmovém území (5K, 5S, 7K). Dřeviny použité při modelování porostního vývoje mají odlišné ekologické nároky i postupy hospodaření. Při návrhu vývoje porostů se vycházelo ze stávající legislativy minimálních počtů jedinců při umělé obnově. Kalkulace zásob biomasy a živin v ní poutaných byly provedeny na plné zakmenění porostu.

Základní porostní charakteristiky pro zvolené dřeviny byly stanoveny s využitím aktuálních růstových tabulek (ČERNÝ et al. 1996; ČERNÝ, PAŘEZ 1998) pro odpovídající stanovištní podmínky a zvolené věkové rozpětí (30–50 let). Přepočítání zásob nadzemní biomasy na sušinu podle jednotlivých částí stromů (kmen, větve, asimilační aparát) byl realizován s využitím alometrických rovnic (ZIANIS et al. 2005; VEJPUSTKOVÁ et al. 2015; JAGODZIŃSKI et al. 2018; ČIHÁK, VEJPUSTKOVÁ 2018) i vlastních produkčních šetření v zájmové oblasti. Pro jednotlivé složky sušiny byly následně stanoveny obsahy základních živin (N, P, K, Ca, Mg). Z těchto hodnot byly vypočítány zásoby základních živin pro jednotlivé druhy dřevin podle stanovištních podmínek a věku porostu.

Pro modelový porost smrku byl stanoven vliv těžebních zásahů a různé postupy využití nadzemní biomasy na snížení zásob dusíku a dalších živin v porostech, postup výchovy odpovídal modelům pro dané stanovištní podmínky (SLODIČÁK, NOVÁK 2007). Pro využití vytěžené hmoty byly navrženy 3 technologie a pro ně spočítáno množství živin, které jsou danou technologií vyvezeny z porostu.

Použité technologie využití biomasy lesních porostů:

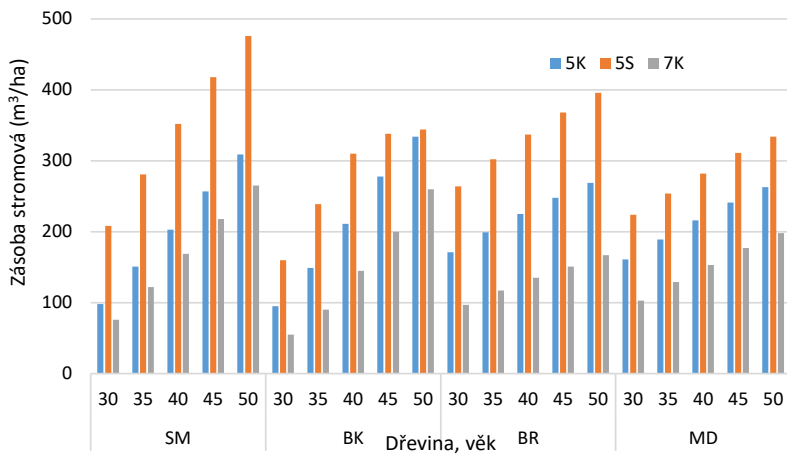
- Odvoz hroubí kmenů (Těžba K) – nehroubí tvořené větvemi spolu s asimilačním aparátem zůstává ponecháno v lesních porostech k rozkladu;
- Odvoz dřeva (Těžba K+V) – hroubí ve formě kmenů je odvezeno, hmota větví je po opadu asimilačního aparátu vyvezena z porostu a rozdrcena na energetickou štěpku. Štěpka z biomasy s menším podílem asimilační plochy má nižší hmotnost, při energetickém využití tvoří zpravidla nižší množství popela;

- Odvoz stromů (Těžba S) – v sledované oblasti nevyužívaná metoda odvozu celých stromů včetně asimilačního aparátu, potenciálně zajímavá jako možná metoda redukce zvýšených zásob dusíku poutaných v biomase porostů.

3.3 Produkce biomasy podle dřevin a stanovištních podmínek

Celková zásoba nadzemní biomasy porostu se zvyšuje s rostoucím věkem, běžný přírůst v mladých porostech kolísá mezi 7–15 m³ na hektar za rok podle stanovištních podmínek a dřeviny. Modřín a bříza vykazují rychlý růst v mládí a dřívější kulminaci přírůstu. Na kyselých stanovištích středních poloh (5K) vykazují modřín i bříza zpočátku vyšší produkci dřevní hmoty ve srovnání se smrkem a bukem (obr. 4). Ve věku 50 let vykazuje vyšší celkovou produkci buk než smrk vzhledem k většímu podílu biomasy větví, celková produkce buku je o 8 % vyšší ve srovnání se smrkem. Pokles produkce u porostu břízy je ovlivněn kulminací růstu v daném věku, u modřínu je celková produkce ovlivněna nízkými počty jedinců vlivem výchovných zásahů. Na živných stanovištích středních poloh (5S) má smrk ve věku 50 let nejvyšší produkci biomasy, bříza vykazuje vyšší produkci ve srovnání s bukem a modřínem. Nejnižší produkce u modřínu je způsobena nízkým počtem jedinců (pouze 70 % ve srovnání s biomasou smrku). Srovnatelnou produkci nadzemní biomasy smrku a buku na stanovišti 7K ve věku 50 let ovlivňuje vyšší biomasa větví. Modřín i bříza na tomto stanovišti již vykazují nižší produkci biomasy; modřín 74 % produkce smrku ve věku 50 let (bříza pouze 63 %).

Rozdíly v produkci biomasy dřevin podle stanovištních podmínek, rozdílná alokace biomasy (kmen, větve, listy) i rozdíly v koncentracích živin v jednotlivých částech biomasy se promítají do celkového objemu poutaných živin. Nejvyšší souhrnné zásoby dusíku v biomase byly zjištěny na počátku sledovaného intervalu věku u modřínu, nejnižší u buku (obr. 4). Na stanovišti 5K vykazuje nejvyšší akumulaci dusíku v nadzemní biomase ve věku 50 let buk, na ostatních stanovištích poutá ve věku 50 let nejvíce dusíku porost smrku (tab. 1). Porost modřínu poutá ve srovnání se smrkem 56–63 % zásob dusíku (bříza 63–84 % podle stanovištních podmínek). Ve věku 50 let je v biomase kmenů poutáno 25–40 % celkové zásoby dusíku, srovnatelné množství dusíku je poutáno v asimilačních orgánech (obr. 5). Jednotlivé dřeviny i rozdíly stanovištních podmínek se promítají na poutání dalších živin v nadzemní biomase (tab. 1).



Obr. 4: Tabulková zásoba stromová ve věku 50 let podle dřevin a stanovištních podmínek

Tab. 1: Akumulace živin v nadzemní biomase porostů dřevin ve věku 50 let podle stanovištních podmínek (kg/ha)

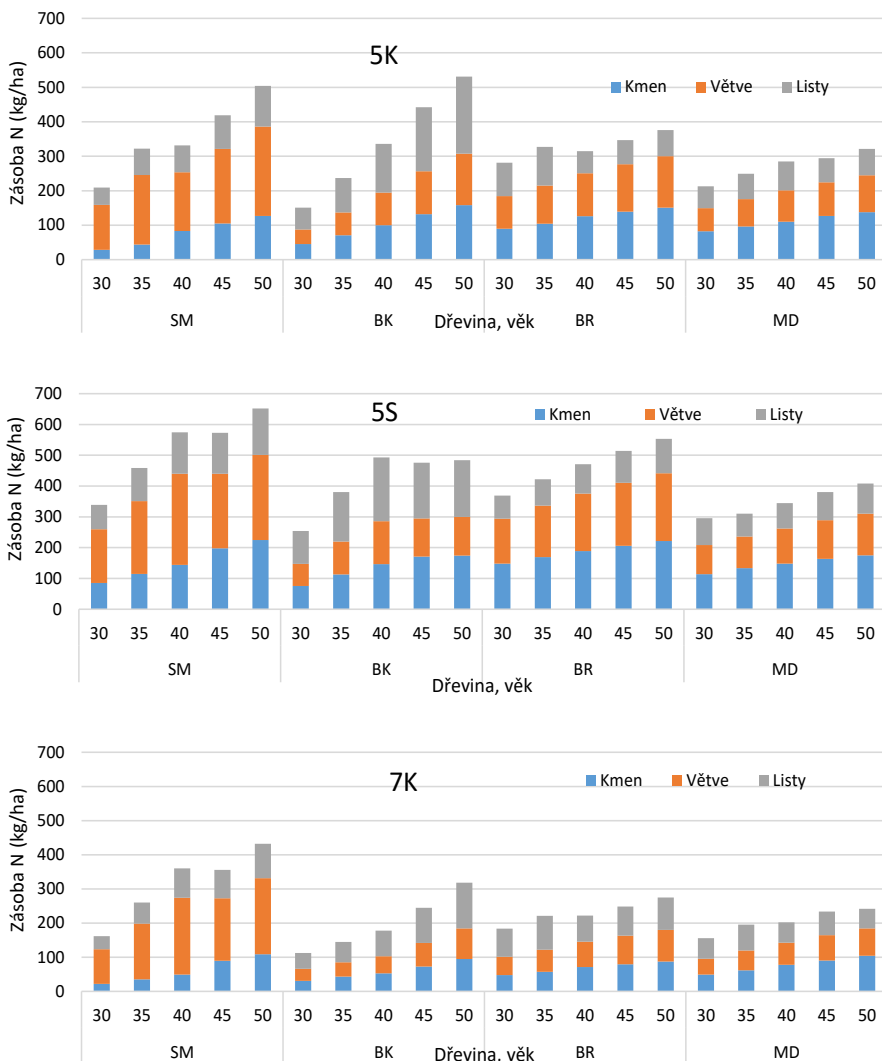
	N			P			K			Ca			Mg		
	5K	5S	7K	5K	5S	7K	5K	5S	7K	5K	5S	7K	5K	5S	7K
Smrk	504	652	432	38	55	33	164	253	141	212	301	182	66	104	56
Buk	531	484	318	81	77	63	460	449	358	281	272	219	92	92	71
Bříza	376	553	274	26	38	21	133	196	98	225	332	176	54	79	45
Modřín	322	408	242	22	27	16	157	199	118	144	183	109	56	72	42

3.4 Potenciál využití rychle rostoucích dřevin (jedinců) pro redukci zvýšené zátěže dusíkem

Potenciál možné redukce nepříznivého působení vysoké depozice dusíku jeho akumulací do biomasy rychleji rostoucích dřevin pěstovaných ve zkráceném obmýtí je omezený. Střední hodnota obsahu dusíku ve dřevě nepřesahuje 0,2 %. Výrazně větší množství dusíku (a dalších živin) je poutáno v asimilačním aparátu, kůře a kořenech, které však na stanovištích zpravidla zůstávají. Modřín a bříza jako rychle rostoucí dřeviny mohou částečně redukovat zvýšenou zátěž dusíkem, zejména v mladém věku. Pro obě dřeviny je charakteristický rychlý růst v mládí, vysoká produkce biomasy i odpovídající odolnost vůči působení nepříznivých faktorů. Modřín vykazuje na všech stanovištích ve věku 30 let vyšší poutání dusíku v nadzemní biomase než buk, srovnatelnou nebo mírně nižší zásobu dusíku ve srovnání se smrkem (obr. 5). Obdobně vyšší zásoby dusíku v porovnání biomase vykazuje i bříza na všech stanovištích, zejména ve srovnání s bukem.

Porovnání produkce a poutání dusíku v čistých porostech dřevin naznačuje, že smrk produkčně převyšuje břízu ve věku 35–45 let podle stanovištních podmínek, ve stejném rozpětí věku dochází k obratu i z hlediska poutání dusíku v nadzemní biomase. Modřín má porostní zásobu i poutání dusíku v nadzemní biomase nižší než bříza, věk porostu v době obratu produkce a poutání dusíku je též nižší (20–35 let podle stanovištních podmínek). Ve vyšším věku vychovávané porosty modřínu a břízy mají nižší počty jedinců, tím i nižší zásobu nadzemní biomasy a nižší poutání dusíku v ní. Naproti tomu rozhodující podíl biomasy z celkových zásob je kumulován v kmenové části.

Z pohledu potenciálu snížení zásoby dusíku by to znamenalo vytváření čistých porostů břízy nebo modřínu a jejich odtěžení ve zkráceném obmýtí. Tvorba čistých porostů i těžba ve zkráceném obmýtí neodpovídá současné lesnické legislativě i představám společnosti. Obě dřeviny lze výhodně pěstovat v porostních směsích s bukem a smrkem v libovolném zastoupení. Smíšené lesní porosty vykazují minimálně srovnatelnou produkci dřevní hmoty i plnění požadovaných funkcí lesa ve srovnání s monokulturami, biodiverzita smíšených porostů je zpravidla vyšší. Volba dřevin, jejich zastoupení i způsob mísení závisí na rozhodnutí lesního hospodáře. Při požadavku na snížení zastoupení dřevin s pionýrskou strategií růstu v rámci výchovných zásahů je vhodné jejich prostorové uspořádání ve formě řadového uspořádání. Vnášení dřevin ve formě řadové příměsi umožňuje snadné zakládání porostu umělou obnovou i následnou péčí o ně. Situování řad s ohledem na předpokládaný systém vyklizovacích linií umožní případné bezeškodné vyklizení těžných stromů v rámci výchovných zásahů. Jednotlivá příměs je možná a vhodná



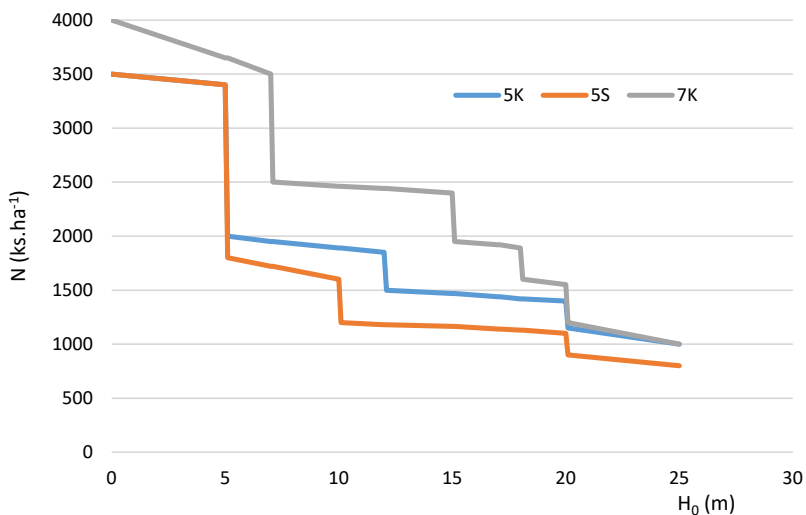
Obr. 5: Rozdělení zásob dusíku v nadzemní biomase podle dřevin a stanoviště

zejména u modřínu, u břízy je nutné zajistit větší rozestup pro zamezení rizika ošlehávání korun sousedních dřevin (zejména u smrku). Při skupinovitém rozmístění modřínu a břízy záleží na velikosti skupin a představě lesního hospodáře o dalším vývoji porostu. Při kompletním odtěžení skupin rychle rostoucích dřevin může vzniknout v porostu středního věku porostní mezera. Funkce těchto mezer může být pozitivní (např. iniciální místo pro následnou obnovu) i negativní (narušení porostního zápoje). Míra působení závisí na charakteru skupiny (velikost, tvar) i stavu okolního porostu.

3.5 Redukce zásob dusíku ve smrkovém porostu výchovnými zásahy

Pro odpovídající vývoj porostů jsou nutné výchovné zásahy, které zvyšují kvalitu a bezpečnost produkce dřevní hmoty, upravují porostní mikroklima a koloběh živin. V porostu smrku byl realizován modelový výchovný zásah podle aktuálních modelů výchovy a stanovištních podmínek (SLODIČÁK, NOVÁK 2007). Modelové programy výchovy předpokládají první silný výchovný zásah při horní porostní výšce 5–7 m (podle stanovištních a porostních podmínek) s výraznou redukcí počtu jedinců; v těžené biomase dominuje nehroubí a biomasa je ponechávána v porostech k postupnému rozkladu. Cílem zásahu je rozčlenění porostu a podpora individuální stability stromů. Další výchovné zásahy již mají klesající sílu zásahu a prodlužuje se pěstební perioda (obr. 6). Výchovnými zásahy v rozmezí věku 30–50 let je na stanovišti 5K odstraněno 31 % výchozího počtu stromů (N), ale pouze 21 % výchozí výčetní základny (G); na stanovišti 5S to je 45 % N, 38 % G a 38 % N a 29 % G na stanovišti 7K). Různý věk (horní porostní výška) jednotlivých těžebních zásahů podle stanovištních podmínek neumožňuje přímé srovnání odběru živin výchovnými zásahy podle věku.

V modelovém porostu smrku na stanovišti 5K je ve věku 30 let zásoba dusíku 209 kg/ha (tab. 2). Do věku 50 let se zásoba dusíku poutaného v nadzemní biomase zvýší o 136 %. Výchovnými těžbami se ve stejném období při stromové metodě odstraní celkem 28 kg dusíku (13 % výchozího stavu), při odvozu kmenů 6 kg dusíku (3 % výchozího stavu) a při odvozu kmenů a větví 21 kg dusíku (10 % výchozího stavu). Zásoba fosforu (tab. 3) se ve stejném rozpětí věku zvýší o 174 %, těžbou stromů je odstraněno 15 % zásoby (pouze 7 % zásoby při těžbě kmenů). U draslíku a hořčíku (tab. 4 a 5) se zásoba poutaná v nadzemní biomase zvýší o více než 200 %,



Obr. 6: Výchovné programy pro porosty smrku podle stanovištních podmínek

Tab. 2: Zásoby dusíku ve smrkovém porostu a potenciál odstranění při různých těžebních technologiích (kg/ha)

věk	5K				5S				7K			
	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V
30	209				241	25	9	19	162			
35	326	21	5	16	315	1	0	1	249	10	2	8
40	310	2	0	1	363	4	1	3	261	2	0	1
45	401	5	1	4	464	49	17	38	325	20	5	15
50	493				505	8	3	6	395	5	1	4

17 % draslíku (hořčíku) je odstraněno výchovnými těžbami při odvozu kompletní nadzemní biomasy (11 % při odvozu pouze kmenů). U vápníku (tab. 6) se zásoba v daném intervalu věku zvýší o 168 %, výchovnými těžbami je odstraněno 15 % Ca při odvozu nadzemní biomasy a 7 % při odvozu pouze kmenů.

Tab. 3: Zásoby fosforu ve smrkovém porostu a potenciál odstranění při různých těžebních technologiích (kg/ha)

věk	5K				5S				7K			
	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V
30	13,6				18,2	2,1	1,1	1,4	10,6			
35	21,2	1,6	0,7	1,0	23,8	0,1	0,1	0,1	17,1	0,7	0,3	0,5
40	23,4	0,1	0,1	0,1	30,6	0,3	0,2	0,2	22,4	0,1	0,1	0,1
45	30,3	0,4	0,2	0,2	39,1	4,2	2,2	2,9	26,0	1,5	0,6	1,0
50	37,2				42,6	0,7	0,4	0,5	30,2	0,4	0,2	0,2

Tab. 4: Zásoby draslíku ve smrkovém porostu a potenciál odstranění při různých těžebních technologiích (kg/ha)

věk	5K				5S				7K			
	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V
30	52,3				69,1	9,6	6,8	8,2	40,6			
35	81,7	6,9	4,2	5,7	102,0	0,5	0,4	0,5	65,7	3,2	2,0	2,6
40	101,0	0,5	0,3	0,4	139,6	1,6	1,1	1,4	86,0	0,5	0,3	0,4
45	130,7	1,6	1,0	1,3	160,8	19,1	13,5	16,3	112,1	6,4	3,9	5,3
50	160,5				192,6	3,2	2,3	2,7	130,2	1,6	1,0	1,3

Tab. 5: Zásoby hořčíku ve smrkovém porostu a potenciál odstranění při různých těžebních technologiích (kg/ha)

věk	5K				5S				7K			
	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V
30	19,6				31,5	4,0	3,1	3,6	15,2			
35	30,6	2,8	1,9	2,5	41,0	0,2	0,2	0,2	24,6	1,3	0,9	1,1
40	40,4	0,2	0,1	0,2	58,2	0,7	0,5	0,6	32,2	0,2	0,1	0,2
45	52,3	0,6	0,4	0,6	74,4	7,9	6,2	7,2	44,9	2,6	1,8	2,3
50	64,2				81,0	1,3	1,0	1,2	52,1	0,6	0,4	0,6

Tab. 6: Zásoby vápníku ve smrkovém porostu a potenciál odstranění při různých těžebních technologiích (kg/ha)

věk	5K				5S				7K			
	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V	Zásoba	TěžbaS	TěžbaK	TěžbaK+V
30	77,2				101,5	11,4	6,5	9,8	59,9			
35	120,6	8,9	4,0	7,5	132,4	0,6	0,4	0,5	96,9	4,1	1,9	3,5
40	130,4	0,7	0,3	0,6	167,7	1,9	1,1	1,6	126,9	0,7	0,3	0,6
45	168,8	2,1	0,9	1,7	214,6	22,8	12,9	19,5	144,8	8,2	3,7	6,9
50	207,2				233,5	3,8	2,2	3,3	168,1	2,1	0,9	1,7

3.6 Možnost návratu živin do ekosystému využitím dřevního popela

Komplexní odvoz a využití nadzemní biomasy dřevin může představovat vedle ekonomických přínosů i významnou ztrátu živin z daného prostředí, protože těžební zbytky (kůra, dřevo větví a asimilační orgány) obsahují nejvyšší podíl základních živin, jako je N, P, K. Formou dřevního popela lze kompenzovat všechny prvky potřebné pro růst rostlin, vyjma dusíku, který popel neobsahuje. Hlavní výhodou aplikace dřevního popela v oblastech s vysokými depozicemi dusíku je vrácení potřebných živin do ekosystému bez dalšího dodávání dusíku.

Složení popela kolísá v závislosti na vstupní surovině a procesu zpracování. Dokonalým spálením dřeva vzniká průměrně 6–10 % popela, nedřevnatá příměs jeho podíl zvyšuje. Fyzikální a chemické složení popela závisí na charakteru spalované suroviny, místě jejího původu, způsobu zpracování dřeva a technologii procesu spalování. Hlavními živinami, které nalézáme v popelu, jsou vápník (7–34 %), draslík (3–4 %), hořčík (1–2 %), fosfor (0,3–1,4 %), mangan (0,3–1,3 %) a sodík (0,2–0,5 %). Další prvky jako zinek, bór, měď, molybden apod. se vyskytují ve stopovém množství. Prvky jsou v popelu přítomny ve formě oxidů, přičemž dominují formy CaO a SiO_2 . Uhlík může být přítomen v rozsahu 5–30 %.

Přínosy aplikace dřevního popela zahrnují podpoření růstu rostlin a jejich kořenů (hlavně růst nových kořenových špiček), neboť přítomnost makroživin (Ca, K, S, Mg, P) i mikroživin (Mn, Zn, Fe, B, Cu, Mo) zlepšuje prvkovou rovnováhu v ekosystému. Růstová odezva na přidavek popela je však více úspěšná tam, kde je v půdě (např. vlivem imisí) již přítomen N. Přihnojení dřevním popelem má tak opodstatnění na stanovištích chudých především na bazické kationty, konkrétně v horských oblastech. Dále zásaditý charakter popela poskytuje neutralizační efekt obdobný vápnění, snižuje mobilitu a biologickou dostupnost rizikových prvků, redukuje toxicitu hliníku, manganu a železa pro rostliny snížením výměnných obsahů jejich iontů v kyselých půdách. Aplikace popela také zlepšuje texturu, aeraci a vodní kapacitu půd. Přítomnost popela pozitivně mění (především díky změnám pH v půdě) složení komunity půdních mikroorganismů a jejich aktivitu. Ke změnám mikrobiálních a chemických vlastností nedochází současně ve všech půdních horizontech, ale vede spíše k vertikální stratifikaci půdy. Účinky přihnojení popelem přetrvávají po mnoho let po aplikaci.

Recyklace dřevního popela zpět do lesních ekosystémů je mnoha studiemi potvrzena jako vhodná metoda s ohledem na kvalitu popela. Kvalitou popela se míní obsah rizikových prvků (těžkých kovů Cd, Pb, As, Cr a Hg) v limitních hodno-

tách (pro ČR uvedených v příloze vyhlášky č. 131/2014 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva týkající se popela ze samostatného spalování biomasy), které by se jinak mohly akumulovat v ekosystému. Aplikací popelů by se omezila především spotřeba průmyslových minerálních hnojiv. V zemích jako je Německo, Švédsko a Finsko je využití popela již zaměřeno na jeho aplikaci na lesní půdy. Stejně tak v Kanadě probíhá změna pohledu na nakládání s popelem a ustupuje se od jeho skládkování.

V České republice v současné době platí vyhláška č. 131/2014, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv. Díky této vyhlášce, týkající se využití popelů na zemědělské půdě, již mohou čeští zemědělci aplikovat popel ze samostatného spalování biomasy na zemědělskou půdu. Maximální aplikační dávka popela ze samostatného spalování biomasy jsou 2 tuny na hektar za 3 roky. Neutralizační efekt hnojení popelem je poměrně dlouhodobý.

3.7 Omezení negativního vlivu dusíku v horských polohách umělou obnovou s využitím celého růstového spektra horských populací smrku

Vysoká zátěž sloučeninami dusíku dlouhodobě ohrožuje stabilitu porostů a následně i plnění funkcí lesa ve vyšších horských polohách (nad 900 m n. m.). Jednou z možností omezení negativního vlivu zvýšených depozic dusíku v těchto polohách je postup, kdy je pro umělou obnovu využíváno celé růstové spektrum populací horského smrku zteplého s důrazem na ve školce pomalu rostoucí jedince. Dlouholetým výzkumem bylo prokázáno, že tito v juvenilním stadiu pomalu rostoucí jedinci tvoří nejstabilnější složku horských populací smrku, tzv. „stromy s klimaxovou strategií růstu“. Ověřování růstu těchto jedinců v oblastech se zvýšenými depozicemi dusíku potvrdily stabilní vývoj také v tomto prostředí. Lze tedy tento postup doporučit jako jeden z dalších pěstebních postupů pro omezení negativního působení dusíku.

Pro zajištění stability a dlouhodobé funkčnosti nově zakládaných porostů horského smrku je nutný nejen odpovídající podíl jedinců s klimaxovou strategií růstu, ale i jejich vhodné prostorové rozmístění. Tito jedinci by měli tvořit budoucí kostru

porostu a být zachováni až do dospělosti, kdy se plně uplatní jejich genetická kvalita. Pokud budou jedinci s klimaxovou strategií růstu vysázeni například ve velkých, od sebe příliš vzdálených skupinách, lze očekávat, že jich bude většina odstraněna během výchovných zásahů a v dospívajícím porostu bude větší podíl méně perspektivních stromů s pionýrskou strategií růstu. Proto doporučujeme jejich pravidelné rozmístění například řadovým smíšením s ostatními jedinci stejné populace, případně doplněné o přípravné dřeviny s rychlým růstem v mladém věku (bříza, osika, modřín).

Následné výchovné zásahy by poté měly být zaměřeny na uvolňování perspektivních „klimaxových“ jedinců, a to především výřezem jedinců s pionýrskou strategií růstu a přípravných dřevin. V těchto dřevinách je díky rychlejšímu růstu, a tím i větší produkci biomasy, akumulováno větší množství dusíku. Tyto stromy tak lze například využít jako materiál pro energetickou štěpku, a tím zvýšenou depozici dusíku částečně kompenzovat (viz kap. 2.3).

4 SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“

Předložená metodika doporučuje pěstební opatření, kterými je možné částečně redukovat zvýšenou zátěž lesních porostů dusíkatými sloučeninami. Pro dominantní stanovištní podmínky modelového území Orlických hor bylo stanoveno množství živin vázaných v lesních porostech smrku, buku, modřínu a břízy v rozpětí věku 30–50 let. Dále byly stanoveny možnosti redukce zásob dusíku a dalších živin výchovnými zásahy ve smrkových porostech s různou technologií odběru nadzemní biomasy. Práce také naznačuje potenciál využití rychle rostoucích dřevin (modřínu a břízy) pro snížení zásob dusíku v porostech. Metodika upřesňuje i možnosti využití dřevního popela jako materiálu, kterým je možné vracet do lesních ekosystémů živiny odvezené v rámci těžebních zásahů. Dalším možným postupem je využití širokého spektra populací sadebního materiálu s rozdílnou strategií růstu, práce uvádí poznatky na příkladu smrku ve vyšších horských polohách.

Vhodnými pěstebními opatřeními lze částečně redukovat zásoby dusíku kumulované v nadzemní biomase lesních porostů, a tím i omezit jejich nepříznivé působení na zdravotní stav a růst. Odpovídající zdravotní stav lesních porostů a jejich růst zajišťuje plnění požadovaných produkčních i mimoprodukčních funkcí lesa. Možnosti redukce zvýšených zásob dusíkatých sloučenin v lesních ekosystémech nebyly v této formě zatím prezentovány.

5 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Současná celková depozice dusíku v oblasti Orlických hor přesahuje 1,5 g N na m² za rok, v rámci ČR toto území patří mezi lokality s nejvyšší dlouhodobou zátěží. Zvýšená depozice dusíku ve středních a vyšších horských polohách v dané oblasti negativně ovlivňuje stav lesních porostů. Metodika je určena pro praktické využití vlastníky lesů a lesním hospodářům na daném území, organizacím státní správy a ochrany přírody. Popsané postupy možné redukce dusíku pěstebními postupy lze však využít i na dalších územích negativně ovlivněných zvýšenou depozicí dusíkem.

6 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Vysoká zátěž dusíkatými sloučeninami negativně ovlivňuje zdravotní stav a vývoj lesních porostů ve středních a vyšších polohách Orlických hor, depozice dusíku zde výrazně překračují hodnoty z jiných oblastí. Lesní hospodářství v dané oblasti se musí vypořádat s abnormálním růstem mladších porostů i dalšími negativními projevy. Tyto porosty mohou mít díky intenzivnímu výškovému přírůstu v budoucnu problémy se stabilitou. Navrhovaný postup odebrání části nebo celé biomasy z výchovných zásahů je jednou z možností jak snížit negativní působení vysokých depozic dusíku a zajistit trvalost plnění požadovaných funkcí lesa.

Předpokládané postupy jsou zaměřeny na možnost redukce celkové zátěže dusíkem v porostech úpravou druhové skladby a pěstebních postupů pro dominantní dřeviny v dané oblasti.

Výrazná redukce zásob dusíku v lesních porostech uplatňováním pouze pěstebních postupů není možná, postupy zaměřené na odstranění zásob dusíku zároveň redukuje zásoby dalších živin vázaných v nadzemní biomase lesních porostů.

Předkládané pěstební postupy shrnují informace o zásobách živin v porostech smrku, buku, modřínu a břízy pro převažující podmínky v dané oblasti a rozpětí věku 30–50 let. Uplatňováním navržených postupů při zakládání porostů a realizaci výchovných zásahů by mělo dojít ke zlepšení zdravotního stavu, stability a plnění požadovaných funkcí lesa, a tím také k předcházení potenciálním nákladům na rekonstrukce mladých porostů poškozených především abiotickými parametry.

Náklady na potenciální rekonstrukci stávajících porostů do 40 let věku lze odhadnout podle věku porostu a terénních podmínek cca 60 tis. v řadě případů i přes 100 tis. Kč. Jen v rámci Orlických hor se může jednat řádově o stovky hektarů ohrožených porostů.

Ekonomický přínos navržených postupů lze navíc doplnit kalkulacemi o možném prodeji dřevní hmoty včetně využití biomasy, která byla donedávna ponechávána v porostech.

Výraznější změna ekonomických ukazatelů lze předpokládat až po delší době s ohledem na dlouhodobost celého procesu. Dalším přínosem s obtížným ekonomickým vyjádřením je zachování trvalé udržitelnosti lesního hospodaření na sledovaném území, protože smrkové porosty v horských polohách představují nejcitlivější oblasti z hlediska plnění funkcí lesa, zejména funkce vodohospodářské, protierozní a rekreační. Tyto funkce nejsou v současnosti snadno finančně ocenitelné, ale mají z ekonomicko-spoločenského hlediska velký význam a jsou nenahraditelné.

7 ZÁVĚRY

Depozice dusíku na modelovém povodí U Dvou louček mírně převyšuje spotřebu dusíku porostem.

Rozdíly v produkci biomasy dřevin podle stanovištních podmínek, rozdílná alokace biomasy (kmen, větve, listy) i rozdíly v koncentracích živin v jednotlivých částech biomasy se promítají na celkovém objemu poutaných živin.

Při výchovných zásazích by měly být odstraňovány pouze kmeny bez větví a asimilačního aparátu.

Formou dřevního popela lze kompenzovat všechny prvky, vyjma dusíku, který v popelu chybí. Hlavní výhodou aplikace dřevního popela v oblastech s vysokými depozicemi dusíku je vrácení potřebných živin do ekosystému bez dalšího dodávání dusíku.

Ve smrcích vykazujících pionýrskou strategii růstu je díky větší produkci biomasy akumulováno větší množství dusíku. Tyto přednostně odstraňované stromy tak lze například využít jako materiál pro energetickou štěpku, a tím zvýšenou depozici dusíku částečně kompenzovat.

8 DEDIKACE

Metodika byla zpracována v rámci řešení výzkumného projektu NAZV QJ1520291: „Pěstební opatření na podporu odolnosti lesních porostů vůči vlivům zvýšených depozic dusíku“. Výsledek vznikl v rámci institucionální podpory MZE-RO0118.

9 LITERATURA

9.1 Seznam použité literatury

- BANG-ANDREASEN T., NIELSEN J. T., VORISKOVA J., HEISE J., RØNN R., KJØLLER R., HANSEN H. C. B., JACOBSEN C. S. Wood Ash Induced pH Changes Strongly Affect Soil Bacterial Numbers and Community Composition. *Front. Microbiol.* 8 (2017) 1400. doi: 10.3389/fmicb.2017.01400.
- BERG B., MATZNER E. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. *Environmental Reviews* 5 (1) (1997) 1–25.
- BJÖRK R. G., ERNFORS M., SIKSTRÖM U., NILSSON M. B., ANDERSSON M. X., RÜTTING T., KLEMEDTSSON L. Contrasting effects of wood ash application on microbial community structure, biomass and processes in drained forested peatlands. *FEMS Microbiol Ecol* 73 (2010) 550–562.
- BRAUN S., et al. Does nitrogen deposition increase forest production? The role of phosphorus. *Environmental Pollution* 158 (6) (2010) 2043–2052.
- BRUNNER I., ZIMMERMANN S., ZINGG A., BLASER P. Wood-ash recycling affects forest soil and tree fine-root chemistry and reverses soil acidification. *Plant and Soil* 267 (2004) 61–71.
- ČERNÝ M., PAŘEZ J., MALÍK Z. Růstové a taxační tabulky hlavních dřevin České republiky: (smrk, borovice, buk, dub). Jílové u Prahy, IFER, 1996, 245 s.
- ČERNÝ M., PAŘEZ J. Růstové tabulky dřevin České republiky. Jílové u Prahy, IFER, 1998, 119 s.
- ČIHÁK T., VEJPUŠTKOVÁ M. Parameterisation of allometric equations for quantifying aboveground biomass of Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) in the Czech Republic. *Journal of Forest Science* 64 (3) (2018) 108–117.
- FOTTOVÁ D. Trends in sulphur and nitrogen deposition fluxes in the GEOMON network, Czech Republic, between 1994 and 2000. *Water, Air, and Soil Pollution* 150 (1) (2003) 73–87.
- GALLOWAY J. N., et al. Nitrogen cascade. *BioScience* 53 (4) (2003) 341–356.
- GENENGER M., ZIMMERMANN S., HALLENBARTER D., LANDOLT W., FROSSARD E., BRUNNER I. Fine root growth and element concentrations of Norway spruce as affected by wood ash and liquid fertilisation. *Plant and Soil* 255 (2003) 253–264.

- GÖMÖRYOVÁ E., PICHLER V., TÓTHOVÁ S., GÖMÖRY D. Changes of Chemical and Biological Properties of Distinct Forest Floor Layers after Wood Ash Application in a Norway Spruce Stand. *Forests* 108 (7) (2016). doi:10.3390/f7050108.
- HANNAM K. D., VENIER L., HOPE E., MCKENNEY D., ALLEN D., HAZLETT P.W. AshNet: Facilitating the use of wood ash as a forest soil amendment in Canada. *The Forestry Chronicle*. 93 (1) (2017) 17–20.
- HRUŠKA J., CIENCIALA E. Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd - limitující faktor současného lesnictví. Praha, Ministerstvo životního prostředí, 2002, 159 s.
- HYVÖNEN R., et al. Impact of long-term nitrogen addition on carbon stocks in trees and soils in northern Europe. *Biogeochemistry* 89 (2008) 121.
- JAGODZIŃSKI A.J., et al. Tree- and Stand-Level Biomass Estimation in a *Larix decidua* Mill. Chronosequence. *Forests* 9 (10) (2018) 587.
- KREUTZER K., et al. The complete nitrogen cycle of an N-saturated spruce forest ecosystem. *Plant Biology* 11 (5) (2009) 643–649.
- LODENIUS M., SOLTANPOUR-GARGARI A., TULISALO E. Cadmium in Forest Mushrooms After Application of Wood Ash. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 68 (2002) 211–216.
- LOCHMAN V., KANTOR P. Působení smrkových a bukových porostů v Orlických horách na chemismus vody při odtoku do vodních zdrojů. *Zprávy lesnického výzkumu* 30 (4) (1985) 5–9.
- MUND M., et al. Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe. *Forest Ecology and Management* 171 (3) (2002) 275–296.
- NADELHOFFER K.J., et al. Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests. *Nature* 398 (1999) 145–148.
- NELLEMANN CH., THOMSEN M.G. Long-Term Changes in Forest Growth: Potential Effects of Nitrogen Deposition and Acidification. *Water, Air, and Soil Pollution* 128 (3-4) (2001) 197–205.
- PITMAN R. M. Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry*, 79 (5) (2006). doi:10.1093/forestry/cpl041.
- REAY D.S., et al. Global nitrogen deposition and carbon sinks. *Nature Geoscience* 1 (2008) 430–437.
- REMEŠ J., BÍLEK L., JAHODA M. Vliv přípravy půdy a hnojení dřevěným popelem na růst sazenic borovice lesní. *Zprávy lesnického výzkumu* 61 (3) (2016) 197–201.

- SAARSALMI A., MÄLKÖNEN E., PIIRAINEN S. Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. *Silva Fennica* 35 (3) (2001) 355–368.
- ŠLODIČÁK M., NOVÁK J. Výchova lesních porostů hlavních hospodářských dřevin. Recenzované metodiky. Lesnický průvodce 4/2007. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2007, 46 s.
- TLUSTOŠ P., OCHECOVÁ P., KAPLAN L., SZÁKOVÁ J., HABART J. Aplikace popelů ze spalování biomasy na zemědělskou půdu. Certifikovaná metodika. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2014. ISBN 978-80-213-2514-2.
- TLUSTOŠ P., OCHECOVÁ P., SZÁKOVÁ J., PERNÁ I., HANZLÍČEK T., HABART J., STRAKA P. Monitoring kvality popelů ze spalování biomasy. Certifikovaná metodika. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. ISBN 978-80-213-2327-8.
- VEJPUSTKOVÁ M., ZAHRADNÍK D., ČIHÁK T., ŠRÁMEK V. Models for predicting aboveground biomass of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Czech Republic. *Journal of Forest Science* 61 (2015) 45–54.
- VESTERGÅRD M., BANG-ANDREASEN T., MICKI BUSS S., CRUZ-PAREDES C., BENTZON-TILIA S., EKELUND F., KJØLLER R., MORTENSEN L. H., RØNN R. The relative importance of the bacterial pathway and soil inorganic nitrogen increase across an extreme wood-ash application gradient. *GCB Bioenergy* 10 (2018) 320–334.
- VRIES DE W., et al. The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and heathlands. *Forest Ecology and Management* 258 (8) (2012) 1814–1823.
- ZIANIS D., MUUKKONEN P., MÄKIPÄÄ R., MENCUCCINI M. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4, 2005. 63 p.

9.2 Seznam publikací řešitelů, které předcházely metodice

- KACÁLEK D., ČERNOHOUS V., ERBANOVA E. Vlastnosti vody v horských tocích po letním suchu 2015, případová studie. In: Funkce lesa v měnících se podmínkách prostředí. Sborník původních vědeckých prací u příležitosti 17. vědecké konference pěstitelů lesa. Dobruška, 30.–31. 8. 2016. Ed.: Kacálek D., Novák J., Nováková K., Součková J. Strnady, VÚLHM – VS Opočno 2016, s. 201–206. Proceedings of Central European Silviculture. Volume 6. ISBN 978-80-7417-112-3.
- LEUGNER J., MARTINCOVÁ J., JURÁSEK A., ERBANOVA E. Prosperita výsadeb smrku ztepilého tříděného ve školce před výsadbou v oblasti s vysokými depozicemi dusíku. In: Adaptívny manažment pestovania lesov v procese klimatickej zmeny a globálneho otepľovania. Ed.: Jaloviar P., Saniga M. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene 2017, s. 77–85. Proceedings of Central European silviculture. Vol. 7. ISBN 978-80-228-2979-3.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., ŠACH F., KACÁLEK D. Principy řešení zátěže povrchových vod dusičnany z plošných zdrojů. Zemědělec 5 (2017) s. 12.
- ŠPULÁK O., KACÁLEK D., BALCAR V. Seven spruce species on a mountain site - performance, foliar nutrients, and forest floor properties in stands 20 years old. iForest, 12 (2019) 106–113. doi: 10.3832/ifer 2731-11.
- ČERNOHOUS V., ŠVIHLA V., ŠACH F. Projevy sucha ve smrkové tyčovině v létě 2015. Zprávy lesnického výzkumu 63 (1) (2018) 10–19.
- ŠACH F., ČERNOHOUS V., ERBANOVA E., KACÁLEK D. Trend zátěže dusíkem postihující zájmovou oblast Orlických hor. Zprávy lesnického výzkumu 63 (3) (2018) 222–235.

METHODS TO MITIGATE NEGATIVE IMPACT OF INCREASED CONCENTRATIONS AND DEPOSITIONS OF NITROGEN COMPOUNDS IN FOREST ECOSYSTEMS, THE ORLICKÉ HORY MOUNTAINS

Summary

The Earth atmosphere is 78% nitrogen (N_2). This inert gas enters a nutrient cycle in two ways primarily: during thunderstorms and via nitrogen-fixing bacteria that live in symbiotic relations with plants. The major source of plant-available nitrogen compounds such as ammonia and nitrate is decomposition of dead biomass. Many sites are nitrogen-limited. Mean annual natural deposition of nitrogen was estimated 0,5 kg per hectare; up-to-date values ranged 5–60 kg in Central Europe and 10–20 kg in the Czech Republic (CZ), which means that critical value (10 kg/ha/yr) was exceeded within the most of CZ area. This affects forest health negatively. Managed forests are capable of sequestering relatively higher amounts of nitrogen compared to other ecosystems; the efficiency of N consumption is affected by health and age of stands. For Norway spruce was annual consumption estimated 13 kg/ha and for European beech 17 kg/ha (Lochman, Kantor 1985); the younger stand the more biomass is produced and more N is bound in it. Initially increased growth due to more N can rapidly turn into decline. Also eutrophication and acidification of soil are attributable to excessive N load. If under such influence, Norway spruce is threatened secondarily by snow, wind, drought, fungi and insects. The nature of spruce foliage further increases N deposited in throughfall.

The area of interest, the Orlické hory Mts. belongs to the most heavily N-affected areas in CZ (Hruška et al. 2003; Fottová 2003). There are many proposals published how to use silviculture in N-affected forests to mitigate negative consequences. These are: use of wood and other biomass, tree species composition conversion and silvicultural systems. As for the species composition, it is supervised by nature conservation agency. Thinning and logging operations can affect nutrient cycle negatively. Up-to-date approach for using both coarse and fine biomass debris for energetic purposes is based on international deal 2009/28/ES that required a 13% share of renewable resources to produce energy by 2020. Even more biomass combusted in power and heat plants seems to be economically sound. On the other hand, we cannot ignore the risk of systematic export of essential nutrients from the forest ecosystems. Soil improving function is expected from artificial addition of wood ashes.

This brochure provides both forest owners and forestry practitioners a guidance to appropriate management of forests under conditions of increased N depositions. Users are to find following information:

- Trends of input, consumption and export of nitrogen (data from UDL watershed);
- Potential for sequestering nutrients in young forest stands of middle, higher and mountain sites;
- Use of fast-growing tree species to reduce the N load;
- Logging as a tool reducing N load while posing also a risk of export of other essential nutrients;
- Deliberate support of initially slowly-growing spruces to get a diversified populations not so vulnerable to damage;
- Use of wood ashes to compensate nutrient loss (P, K, Ca, Mg) due to wood extraction.

The new approaches of this guide are based on calculations of nutrient pools in biomass compartments of Norway spruce, European beech, European larch and silver birch 30–50 years old. Potential of N reduction using thinning with both extraction and leaving above-ground biomass treatments were proposed.

It can be concluded that:

The deposition of N exceeded the consumption slightly in the UDL watershed.

Tree species above-ground biomass production and allocation (stem, limbs, and foliage) resulted in particular nutrient pools.

When thinned, stems without branches should be extracted from the site only; Fine biomass must be left on site.

Added wood ashes are capable of compensating the extraction of nutrients excepting nitrogen that is missing in it. On the other hand, nitrogen-free fertilizer is needed in the areas affected by artificial N load.

Spruce trees showing a pioneer growing strategy accumulate more N compared to slowly-growing ones. The former ones should be preferentially cut and extracted from the site to be used for burning, the latter ones should be left on site as future crop trees.



Výzkumný ústav
lesního hospodářství
a myslivosti, v. v. i.

www.vulhm.cz

LESNICKÝ PRŮVODCE 16/2018

