

REGULACE RIZIKA ZVÝŠENÉHO VYPLAVOVÁNÍ SLOUČENIN DUSÍKU DO VODNÍCH ZDROJŮ V SOUVISLOSTI S RŮZNÝMI POSTUPY OBNOVY LESA



Ing. JAN LEUGNER, Ph.D.
a kol.



1/2021

Regulace rizika zvýšeného vyplavování sloučenin dusíku do vodních zdrojů v souvislosti s různými postupy obnovy lesa

Certifikovaná metodika

**Ing. Jan Leugner, Ph.D.
Ing. Ondřej Špulák, Ph.D.
Ing. Dušan Kacálek, Ph.D.
Ing. Jiří Palarčík, Ph.D.
Ing. Miloslav Slezák, CSc.
Ing. Petra Peroutková
Ing. Jiří Mikeš, MBA**

Strnady 2021

Lesnický průvodce 1/2021

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 978-80-7417-213-7

ISSN 0862-7657

REGULATION OF THE RISK OF INCREASED LEACHING OF NITROGEN COMPOUNDS INTO WATER SOURCES IN CONNECTION WITH VARIOUS FOREST REGENERATION PROCEDURES

Abstract

Forest stand hydrological balance components change in terms of their amounts following clearcutting or sudden forest die-off due to disturbances. And also increased input of light accelerates mineralization of surface humus. The clearcutting forest management system is thus supposed to affect ground water quality negatively as reactive forms of nitrogen are intensively released.

This guide aims to propose optimal procedures to regenerate forest stands at sites where fast stabilization of soil environment is needed in order to control input of both organic and inorganic nitrogen (including other elements) into water sources. These approaches will be also applicable at sites supporting rare biotopes, which are prone to increased inputs of nitrogen. Based on the literature both domestic and foreign, and also the experimental results, it is obvious that nitrogen compounds migration can be eliminated when forest renewal is done under continual cover forestry. When stands were clear-cut, the very upper forest floor and percolating water was found higher in nitrogen compounds.

Generally, the faster restoration of forest ecosystem functions can be expected if natural regeneration occurs. Even if clear-cut system is used or post-disturbance sites need reforestation, natural regeneration using pioneer species such as birch or aspen can also be viable in these conditions. As for the larger clear-cuts, a combination of natural seeding and artificial planting is conducted as other site-specific species are added beside cohorts of natural regeneration origin.

Key words: silviculture; nitrogen; clear-cut; reforestation; ground water

Oponenti: prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc., ČZU v Praze, Fakulta lesnická
a dřevařská, Katedra pěstování lesů
Ing. Vlasta Knorová, Ministerstvo zemědělství České republiky,
Praha

Adresy a podíl autorů:

Jan Leugner	25 %
Ondřej Špulák	25 %
Dušan Kacálek	20 %
*Jiří Palarčík	5 %
*Miloslav Slezák	5 %
*Petra Peroutková	5 %
**Jiří Mikeš	15 %

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady
Výzkumná stanice Opočno
Na Olivě 550
517 73 Opočno
leugner@vulhmop.cz

*Univerzita Pardubice – Fakulta chemicko-technologická
Studentská 95
532 10 Pardubice

**TERAMED, s.r.o.
Nad Kamínkou 1345
156 00 Praha – Zbraslav

Obsah:

1 ÚVOD	7
2 CÍL METODIKY	7
3 METODIKA	8
3.1 Odborné podklady pro formulaci metodiky	8
3.1.1 Teoretická východiska	8
3.1.2 Výzkumný objekt	10
3.1.3 Výsledky šetření vlivu těžby na výzkumném objektu	12
3.1.4 Shrnutí analýz vod a lesních půd	18
3.2 Optimální postupy obnovy lesa na stanovištích s nutnou regulací výstupů dusíku do vodních zdrojů	18
3.2.1 Obnova pod ochranou lesního porostu	19
3.2.2 Obnovní postupy při nezbytnosti obnovy na holině	19
3.2.3 Kombinovaná obnova lesa s výsadbou dřevin s biopreparáty	21
4 ZÁVĚR	22
5 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	23
6 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	24
7 EKONOMICKÉ ASPEKTY	24
8 DEDIKACE	24
9 LITERATURA	25
9.1 Seznam použité související literatury	25
9.2 Seznam publikací, které předcházely metodice	27
10 SUMMARY	29
11 OBRAZOVÁ PŘÍLOHA	31

1 ÚVOD

Při vytěžení, ale i při kalamitním odumření lesních porostů v důsledku disturbancí, dochází k proporčním změnám jednotlivých složek hydrologického cyklu porostu. Současně je vlivem zvýšeného přístupu světla akcelerována mineralizace povrchového humusu. S holosečným způsobem hospodaření tak bývá spojováno nebezpečí negativního vlivu dekompozičních procesů v půdě na kvalitu podzemních vod zvýšeným vyplavováním živin, zvláště reaktivních forem dusíku, které jsou významnými kritérii hygienické nezávadnosti vod. Studií analyzujících změny v chemismu podzemní vody v důsledku lesnického hospodaření je však minimum. Mimo tyto faktory je nutné také uvažovat o úpravách managementu hospodářských lesů v podmínkách klimatických změn, které by měly směřovat k tzv. adaptivní strategii, spočívající v takových změnách struktury a druhové skladby lesních porostů, při jejichž dosažení budou lesní ekosystémy schopny lépe odolávat očekávaným budoucím klimatickým extrémům (BOLTE et al. 2009).

2 CÍL METODIKY

Cílem metodiky je navrhnout optimální postupy obnovy lesních porostů na lokalitách, kde je nutné rychle stabilizovat půdní prostředí z důvodu nezbytnosti omezení nárůstu množství sloučenin dusíku (případně dalších prvků) vyplavovaných do vodních zdrojů. Tyto postupy bude možné využít také na stanovištích, na kterých by případné zvýšené výstupy dusíku mohly ohrožovat vzácné biotopy.

3 METODIKA

3.1 Odborné podklady pro formulaci metodiky

Doporučená opatření jsou koncipována na základě poznatků získaných z dlouhodobých výzkumných ploch, provozovaných Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i, Výzkumnou stanicí Opočno v rámci celé ČR, a také literárních poznatků z podmínek ČR i zahraničních.

3.1.1 Teoretická východiska

Lesy mají na rozdíl od zemědělských pozemků výraznou schopnost zadržovat vodu v krajině a působit na stabilizaci odtoku z povodí (e.g. PEKÁROVÁ et al. 2009). Řadou studií bylo potvrzeno, že přes celkově vyšší evapotranspiraci (DIAS et al. 2015) přispívají lesní porosty díky minimalizaci povrchového odtoku významnou měrou k průsaku srážkové vody do geologických struktur, tzn. k doplňování podzemní vody (např. ILSTEDT et al. 2016).

Dřeviny svou intercepcí (zadržováním vody) a evapotranspirací (sdruženým výparem porostu) hrají významnou úlohu v koloběhu vody v krajině. Průběh intercepce a evapotranspirace porostu na konkrétním stanovišti závisí zejména na charakteru dřeviny (neopadavé jehličnany vs. listnaté dřeviny, habitus, hladkost či drsnost povrchu kmene atp.), věku, hustotě a vertikální struktuře porostu (např. REYNOLDS, HENDERSON 1967, PECK, MEYER 1996, HRIBIK et al. 2012). Porosty ovlivňují vlhkost půdy jak nepřímo redukcí množství podkorunové srážkové vody, tak přímo čerpáním vody na transpiraci (desítky procent srážek) a půdního roztoku pro svou výživu (jednotky procent srážek) (KUTÍLEK, NIELSEN 1994). Množství a dostupnost vody v lesním ekosystému jsou klíčovými faktory ovlivňujícími čistou primární produkci a další biologické procesy (ILVESNIEMI et al. 2010). Studie porovnávající úhrny porostních srážek a jejich rozložení v půdě, ale i vliv těžby na množství či chemismus vody v půdě jsou soustředěny zejména do porostů modelových dřevin smrk a buk převážně ve vyšších polohách.

V této souvislosti se pak stává často diskutovaným tématem laické i odborné veřejnosti vliv hospodaření v lese na množství a kvalitu podpovrchových a zvláště podzemních vod (např. DIAS et al. 2015, NEARY et al. 2009, VICENTE et al. 2018). Negativní vliv je přitom očekáván zejména od holosečného hospodaření, které

nejintenzivněji a skokově mění charakter lesního prostředí. Holosečný způsob hospodaření, je typický zejména pro borovici na přirozených borových stanovištích. Přestože je tato problematika celosvětově dlouhodobě studována, mnoho autorů dochází k závěru, že není možné obecné zjednodušení. Retence a akumulace vody v lese a její vsakování do podzemní vody jsou totiž ovlivňovány celou řadou faktorů, zejména meteorologických a klimatických, topografických, dále kvalitou vsakující vody, charakterem půdy, podloží a vegetací. (NEARY et al. 2009). Tyto faktory jsou často místně specifické.

Vznik holoseče znamená významné narušení koloběhu živin lesa (BINKLEY, FISHER 2019, RANGER et al. 2007), zvláště když je spojena s odběrem veškeré nadzemní biomasy stromovou metodou těžby. Koloběh živin, např. dusíku, je však měněn i přirozeně při narušení lesního ekosystému přírodními vlivy, jak s důrazem na dusičnanovou formu dusíku popisují např. VITOUSEK et al. (1979). Bylo zjištěno, že porosty různých dřevin mohou ovlivňovat již výši depozice sloučenin dusíku: v porovnání s listnatými porosty byl potvrzen vyšší spád v porostech smrkových, přičemž v porostu borovice bylo množství celkového dusíku jen o málo vyšší než pod listnáči (VÍCHA et al. 2012). Porosty jednotlivých druhů dřevin mohou mít také odlišný vliv na vodní režim (ŠVIHLA et al. 2014), významný vliv má i jejich struktura, kterou lze ovlivňovat výchovnými zásahy (CHROUST 1997). V pramenitých oblastech se vliv druhového složení na vodní režim významněji projevoval zejména v suchých epizodách (TESAŘ et al. 2004).

Otázka vlivu lesní těžby na množství a kvalitu vod v lese je komplexní. Odnětí nadzemní biomasy při holosečném způsobu hospodaření výrazně redukuje evapotranspiraci lokálního ekosystému a snižuje zásobu živin (VANGANSBEKE et al. 2015). Zvýšený dopad záření na povrch půdy současně mění teplotní i vlhkostní režim půdy a zvyšuje rychlost dekompozice jejích svrchních humusových vrstev (FINER et al. 2016). Na tyto změny reaguje přízemní vegetace i půdní biota (CESONIENE et al. 2019, MARSHALL 2000). Synergické působení nastalých změn má teoretický potenciál ovlivnění kvality a kvantity podpovrchových a podzemních vod.

Holosečný způsob obnovy je typický zejména pro borové hospodářství na chudých stanovištích. Hluboké písčité půdy borových oblastí dávají díky nízké retenční schopnosti (SHAHAZARI et al. 2020) předpoklad zvýšené prostupnosti srážkových vod do hlubších půdních horizontů i do podzemní vody.

3.1.2 Výzkumný objekt

Klíčovým výzkumným objektem se stal experiment na majetku spravovaném Městskými lesy Hradec Králové, a. s., v přírodní lesní oblasti 17 – Polabí. Jedná se o výzkumný objekt „Suchý chobot“, založený na jaře 2017 v sousedících lesních porostech o věku 85 až 98 let, o průměrné hustotě horní stromové etáže okolo 670 jedinců na hektar na stanovišti 1M – chudý (dubový) bor v nadmořské výšce cca 255 m. Půdy jsou písčité, terasovité nánosy sahají až do výšky několika metrů nad hladinu podzemní vody. Písčité půdy s nízkým obsahem humusu dávají předpoklad nízké maximální vodní kapacity a intenzivní infiltrace srážek do půdy. Experimentální plocha je tvořena trojicí dílčích výzkumných ploch nazvaných Kontrola, Holina 1 a Holina 2. Na plochách dominovala borovice lesní, smrk byl zastoupen v podúrovni, přimíšená byla i borovice vejmutovka (Tab. 1).

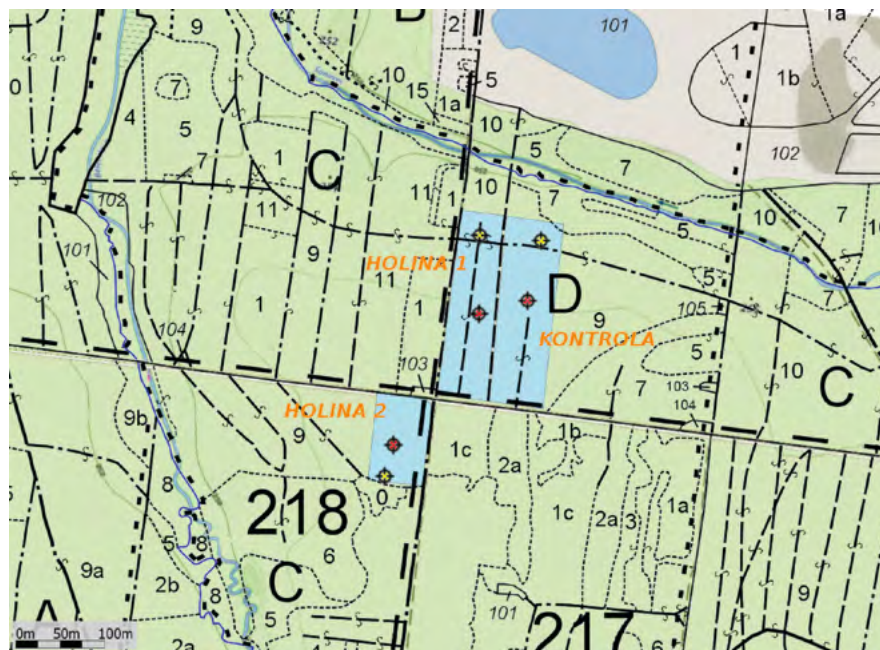
Tab. 1: Základní charakteristika výzkumných ploch výzkumného objektu Suchý chobot v době založení (2017)

Plocha	Věk (let)	Výměra (ha)	Zastoupení dřevin dle G	Borovice lesní	
				D _{1,3} (cm)	h (m)
Holina 1	98	1,1	BO 93, SM 7	27,0	25,1
Holina 2	90	0,6	BO 91, SM 5, VJ 4	26,7	26,4
Kontrola	85	1,3	BO 93, SM 6, VJ 1	26,7	27,0

Kromě hodnocení porostu bylo na lokalitě prováděno také mikroklimatické sledování a hydrologický monitoring na vybudované infrastruktuře (monitorovací hydrologické vrty, lyzimetrické sondy; Tab. 2) na každé z dílčích výzkumných ploch (Špulák et al. 2018). Tyto části výzkumného objektu reprezentují různé typy lesnického managementu při obnově lesa: na ploše Holina 1 byla realizována stromová metoda těžby s přípravou půdy frézou a naoráním v brázdách, na ploše Holina 2 kmenová metoda těžby s ponecháním těžebních zbytků ve valech (Obr. 1). Současně je sledován přilehlý porost (Kontrola), v kterém byla realizována pouze sanitární těžba. Sledování bylo zahájeno 1 rok před mýtní těžbou – vznikem holin na dílčích plochách „Holina 1 a 2“ – a pokračovalo další tři roky po této těžbě.

Tab. 2: Výzkumné plochy (varianty) výzkumného objektu Suchý chobot a označení měřicích zařízení pro sledování prvků koloběhu vody.

Plocha	Popis	Označení vybavení ploch			
		Lyzimetry -70 (PP)	Lyzimetry -10 (PD)	Srážkoměr (S)	Vrt (V)
Holina 1	stromová metoda těžby s přípravou půdy frézou a naoráním	PP1	PD1	S1	VH1
Holina 2	kmenová metoda těžby bez přípravy půdy	PP2	PD2		VH2
Kontrola	porost	PP3	PD3	S3a, S3b	VP3

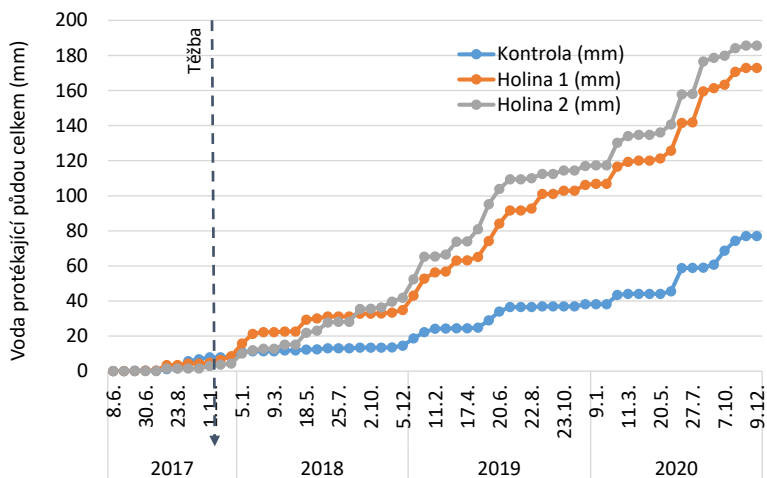


Obr. 1: Situace experimentálního objektu Suchý chobot. Červené body v plochách – lyzimetrické sondy, žluté body v plochách – průzkumné studny. U lyzimetrických sond na plochách Kontrola a Holina 1 jsou umístěny také meteorologické stanice.

3.1.3 Výsledky šetření vlivu těžby na výzkumném objektu

Změny v objemech vod

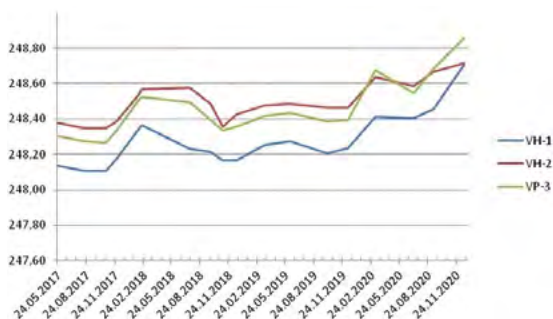
S poklesem celkové intercepce (zadržování vody) lesního porostu po vzniku holin vzrostlo množství srážek dopadajících na povrch půdy oproti lesnímu porostu v průměru o 16 %. Spolu s poklesem evapotranspirace (sdruženého výparu porostu) to přispělo k navýšení množství vody protékající půdou (obr. 2). Management obnovy lesa tedy v případě holosečného hospodaření výrazně ovlivňuje množství vody infiltrující do půdy.



Obr. 2: Voda protékající do hloubky 70 cm v půdě celkem na dílčích plochách od doby instalace lyzimetrů, s vyznačeným těžebním zásahem na plochách Holina 1 a 2

Změny hladiny podzemní vody

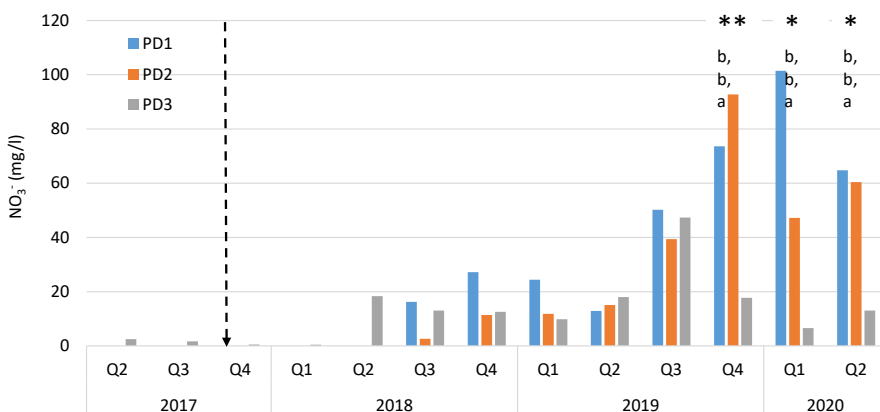
Periodicky prováděné záměry hladiny podzemní vody v monitorovacích vrtech během let 2017–2020 byly přepočítány na její nadmořskou výšku (Obr. 3). Do konce roku 2019 hladina podzemní vody tvořila rostoucí výškový gradient v pořadí $VH-1 < VP-3 < VH-2$. V srážkově příznivém roce 2020 se hladina podzemní vody v zájmovém území pohybovala v intervalu 247,1 až 249,5 m n. m. (tj. cca 4 m, resp. 9 m pod terénem). Můžeme sledovat poměrně výrazný nárůst úrovně hladiny podzemní vody, v průměru cca o 0,5 m oproti relativně setrvalým hodnotám v roce 2019, což lze dávat do souvislosti s celkově vyššími srážkovými úhrny v roce 2020. Hladina podzemní vody reagovala na srážkové úhrny a zároveň se pravděpodobně projevil i specifické stratigrafické poměry geologického podloží, ovlivňující její distribuci a proudění v rámci širšího území.



Obr. 3: Kolísání výšky hladiny podzemní vody (m n. m.) v zájmovém prostoru

Migrace dusičnanů

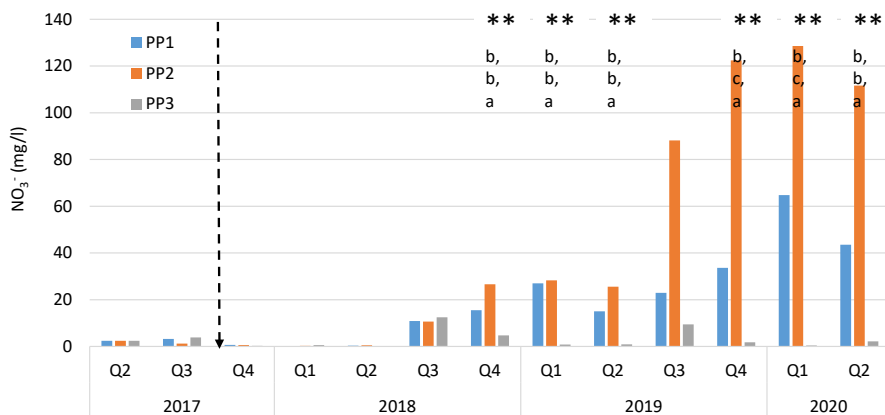
Průměrná koncentrace NO_3^- ve srážkových vodách v podkorunových srážkách byla celkově vyšší než ve srážkách volné plochy, v jednotlivých čtvrtletích však byly průkazné rozdíly potvrzeny až v závěru hodnoceného období. V mělkém průsaku PD na holinách byly hodnoty zpočátku obdobné, jako na ploše Kontrola, v posledních třech čtvrtletích se však projevil jejich průkazný nárůst, a to i přes výše zmíněné nižší koncentrace ve srážkových vodách (Obr. 4). Maximální koncentrace NO_3^- na Kontrole byla $87,9 \text{ mg.l}^{-1}$, na plochách Holina 1 a Holina 2 vystoupila až na $152,8$ a $117,6 \text{ mg.l}^{-1}$.



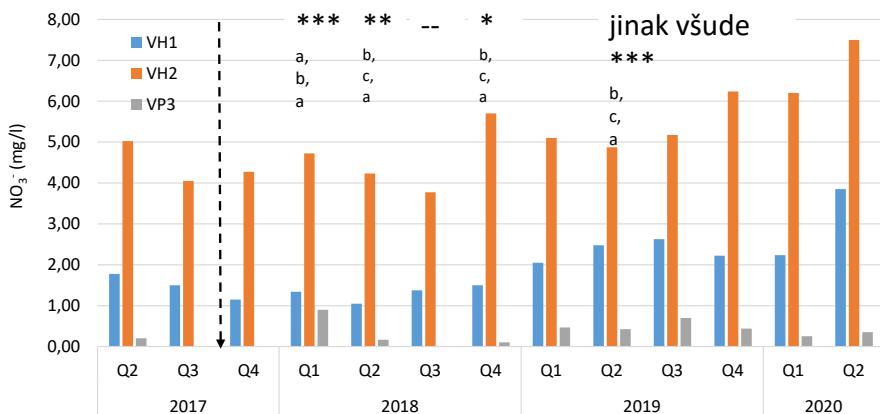
Obr. 4: Průměrné koncentrace NO_3^- (mg.l^{-1}) v průsaku na povrch minerální půdy (PD) za jednotlivá čtvrtletí podle variant; pro popis variant viz Tab. 2; hvězdičky značí statisticky průkazné rozdíly, svislá čárkovaná linie s šipkou vyznačuje termín těžby – vznik holin

V hlubším průsaku PP na holinách se nárůst koncentrace nitrátů v porovnání s Kontrolou projevil v odstupe 1 roku po těžbě – od Q4 2018 (Obr. 5). Od druhé poloviny roku 2019 byly pozorovány násobně vyšší koncentrace na Holině 2, a to pravděpodobně v souvislosti s výskytem a působením zvěře v blízkosti lyzimetrické sondy, jak lze zhruba od toho období pozorovat z pobytových stop. Zatímco hodnoty jednotlivých odběrů pod lesním porostem na ploše Kontrola dosáhly maximálně $17,8 \text{ mg.l}^{-1}$, na ploše Holina 1 a 2 to bylo $75,8$ a $178,1 \text{ mg.l}^{-1}$.

V podzemní vodě byla koncentrace dusičnanů vrtu VH 2 na ploše Holina 2 již od počátku sledování, tedy před těžbou, průkazně nejvyšší, rozdíly v tomto parametru byly potvrzené nicméně také mezi spolu blíže sousedícími VH1 a VP3. Po realizaci těžby hodnoty ve vrtech na holinách vysoce průkazně narůstaly (Obr. 6). Nárůst byl vyšší na Holině 2, což také koresponduje s vyššími koncentracemi NO_3^- ve vodě prosakující půdou (PP) na této variantě. Hodnoty dusičnanů v podzemní vodě pod lesním porostem žádný trend nevykazovaly. Podzemní voda pod porostem na Kontrole měla koncentrace NO_3^- do $2,5 \text{ mg.l}^{-1}$, na Holinách 1 a 2 pak do $4,6$ a $8,3 \text{ mg.l}^{-1}$. Ve všech variantách se tedy hodnoty obsahu dusičnanů stále drží hluboko pod jakostním ukazatelem pro pitnou vodu, který je 50 mg.l^{-1} (i dříve využívaným parametrem pro „kojeneckou vodu“ 15 mg.l^{-1}).



Obr. 5: Průměrné koncentrace NO_3^- (mg.l^{-1}) v průsaku na povrch minerální půdy (PD) za jednotlivá čtvrtletí podle variant; pro popis variant viz Tab. 2; hvězdičky značí statisticky průkazné rozdíly, šipka termín těžby – vznik holin



Obr. 6: Průměrné koncentrace NO_3^- (mg.l^{-1}) v podzemní vodě za jednotlivá čtvrtletí podle variant; pro popis variant viz Tab. 2; hvězdičky značí statisticky průkazné rozdíly, šipka termín těžby – vznik holin

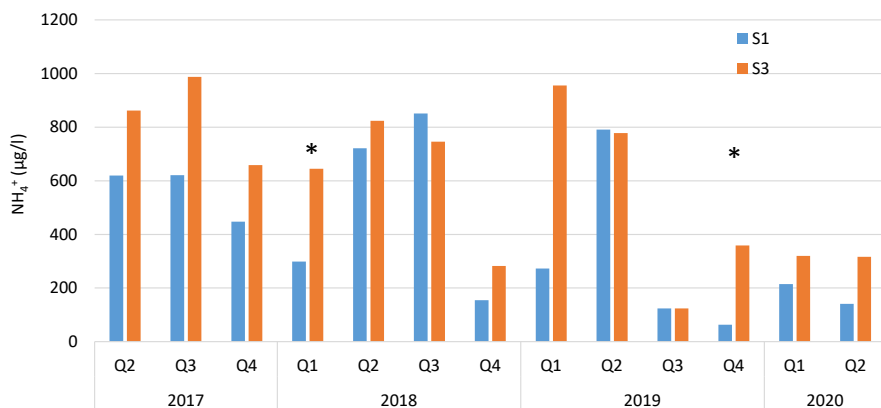
Migrace amoniakálních iontů

Shodně s dusičnany byla i koncentrace NH_4^+ ve srážkové vodě volné plochy celkově průkazně nižší než v podkorunových srážkách, při analýze jednotlivých čtvrtletí byly však průkazné rozdíly zjištěny pouze ve dvou případech (Obr. 7).

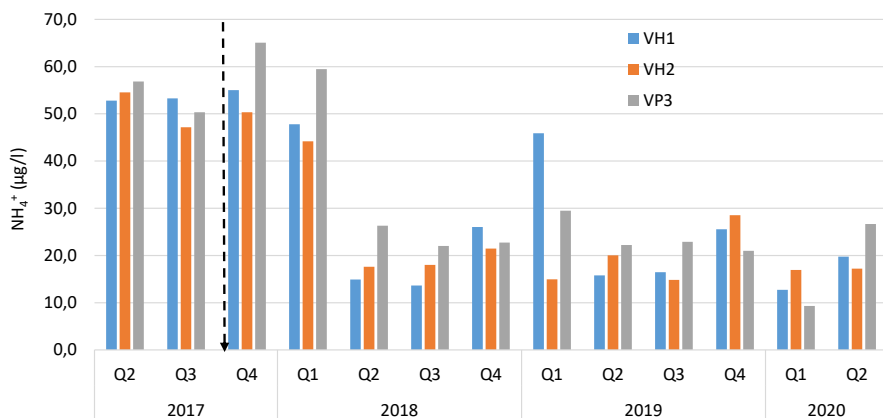
Koncentrace amoniakálního dusíku v průsacích PD naznačovaly, kromě závěru prvního kalendářního roku, celoroční klesající trendy: jak v roce 2018, tak v následujícím roce byla v prvním čtvrtletí koncentrace na plochách nejvyšší, poté klesala. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 15,0 až 3175,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$, bez průkazných rozdílů mezi variantami, tedy bez potvrzení vlivu vytěžení porostu.

V průsaku PP vykazovala koncentrace NH_4^+ výrazné kolísání, hodnoty byly v rozmezí 12,7 až 2306,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$ opět bez průkazných rozdílů mezi variantami.

Koncentrace amoniakálního dusíku v podzemních vodách byly v termínech odběrů v rozmezí 1,4 až 87,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Vyšší hodnoty byly pozorovány na počátku sledovaného období (do Q1 2018). Nebyl zjištěn průkazný rozdíl mezi variantami v jednotlivých čtvrtletích, ani v období po těžbě (Obr. 8). Hodnoty byly stále hluboko pod limitem pro pitnou vodu, který je 0,5 mg.l^{-1} . Analýzy tedy nepotvrdily vliv pasečného hospodaření – vzniku holiny na koncentrace této sloučeniny dusíku v podzemních vodách.



Obr. 7: Průměrné koncentrace NH_4^+ ($\mu\text{g.l}^{-1}$) ve srážkách za jednotlivá čtvrtletí podle variant; pro popis variant viz Tab. 2; hvězdičky značí statisticky průkazné rozdíly, šipka termín těžby – vznik holin



Obr. 8: Průměrné koncentrace NH_4^+ ($\mu\text{g.l}^{-1}$) v podzemní vodě za jednotlivá čtvrtletí podle variant; pro popis variant viz Tab. 2; bez průkazných rozdílů, šipka termín těžby – vznik holin

3.1.4 Shrnutí analýz vod a lesních půd

Od 2. poloviny roku 2019, tzn. v průběhu druhého roku po vzniku holin, došlo k velmi razantnímu nárůstu koncentrací dusičnanů vyplavovaných z prostoru svrchních půdních horizontů na plochách po těžbě, a to až na trojnásobek limitu dusičnanů pro pitnou vodu. Kromě nízké sumy srážek druhé poloviny roku 2019, která logicky přispěla k vyšším koncentracím půdního roztoku, lze za hlavní důvod považovat dopad akcelerace rozkladu rostlinných zbytků na těžebních plochách spojených s přeměnou na huminové látky. Jejich zastoupení bylo patrné zejména ve žlutohnědém zabarvení vod PD (přičemž na ploše Kontrola bylo zabarvení slabší). Vzestup obsahu dusičnanů od konce druhého roku po těžbě (2019) byl na holinách zaznamenán i v podzemních vodách a v půdě, v průměru výrazněji na ploše Holina 2 s kmenovou metodou těžby a bez přípravy půdy. Na Holině 1 byl také od stejného období pozorován očekávatelný rozdíl mezi vyššími koncentracemi dusičnanů v půdě pod valy než pod brázdami. Zřejmý byl výrazný nárůst obsahu dusičnanů v celém sledovaném půdním profilu do hloubky 70 cm, ale především v horních vrstvách na obou holinách. Na kontrolní ploše byl vzestup koncentrace dusičnanů patrný také, avšak významně nižší. V roce 2020 došlo k dalšímu nárůstu obsahu dusičnanů ve vertikální úrovni na obou holinách, zvláště na Holině 2. Pravděpodobnou příčinou bylo zvýšení uvolňování dusíku vlivem rozkladu ponechaných těžebních zbytků na ploše v tomto srážkově bohatším roce.

3.2 Optimální postupy obnovy lesa na stanovištích s nutnou regulací výstupů dusíku do vodních zdrojů

Na základě poznatků publikovaných v zahraniční i domácí literatuře a také dle výsledků experimentální části je zřejmé, že přestože změny v chemismu vody v půdě po vzniku holiny jsou pouze postupné, je pro eliminaci nárůstu uvolňování a migrace sloučenin dusíku a rizika ovlivnění podzemní vody optimální zachovávat kontinuální kryt lesa. Toho lze dosáhnout jemnějšími způsoby obnovy lesa s vyloučením holosečného obnovního postupu, při kterém dochází díky zrychlené dekompozici především nadložního humusu k potenciálně rizikovému zvýšení uvolňování dusíkatých sloučenin v povrchové vrstvě půdy (0–70 cm), jak bylo doloženo na příkladu z experimentální plochy „Suchý chobot“ výše.

3.2.1 Obnova pod ochranou lesního porostu

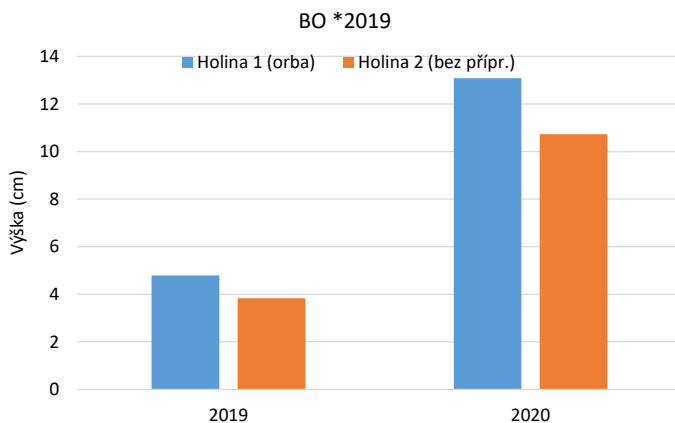
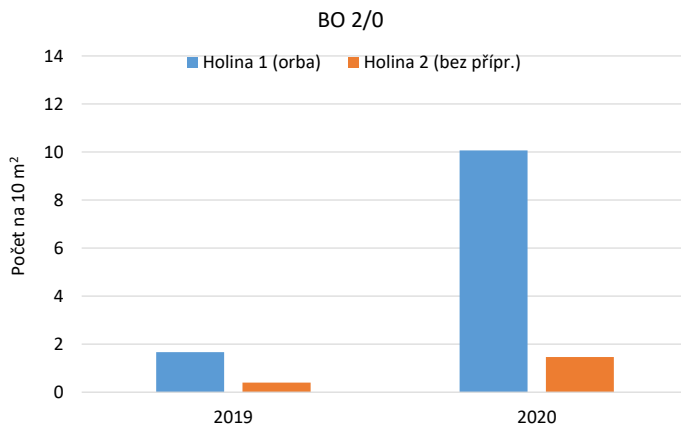
Pro minimalizaci změn prostředí vedoucích k zvýšení rizika ovlivnění kvality podzemní vody zvýšeným vyplavováním dusíku je optimální uplatňování postupů obhospodařování na základě výběrných principů. Současně jsou s úspěchem uplatnitelné postupy clonnými a okrajovými formami sečí s maximálním využitím přirozené obnovy. Pro obnovu světlomilných dřevin mohou být přípustné i maloplošné holosečné obnovní prvky (nejlépe do velikosti 1 porostní výšky mateřského porostu).

3.2.2 Obnovní postupy při nutnosti rychlé obnovy lesa na holině

V případě, že na lokalitách s nežádoucím rizikem ovlivnění kvality podzemní vody migrací dusíku dojde ke vzniku holiny s rozměry nad cca 1,5násobek porostní výšky, nejčastěji vlivem kalamit, je třeba zvolit postupy urychlující obnovu lesního prostředí. Část zvýšené zásoby dusíku je relativně rychle spotřebována růstem následné vegetace. Tato vegetace má dvě hlavní složky. Jednou je (i) buřň tvořená trávami, dvouděložnými bylinami a případně polokeři s relativně rychlou recyklací živin představující konkurenční prostředí pro (ii) hospodářsky cennou složku vegetace – obnovovaný porost lesních dřevin. Z hlediska lesnického hospodaření je na holinách žádoucí rychlá obnova porostního prostředí tvořeného lesními dřevinami. Pro jejich obnovu může být využita přirozená, umělá nebo kombinovaná obnova lesa. Volba konkrétního postupu závisí na lokálních stanovištních (ekologických) podmínkách.

Pro podporu přirozené obnovy lesa na stanovištích vhodných pro pěstování borovice lesní (cílové hospodářské soubory 13, 23) lze doporučit mechanizovanou přípravu půdy, která díky diverzifikaci mikrostanovišť urychlí její nástup. Tento fakt lze potvrdit i na výsledcích z experimentální plochy Holina 1, kde příprava půdy pozitivně ovlivnila průměrné počty semenáčků borovice – vyšší počty byly zjištěny v obou sledovaných letech. Také výškový vývoj byl na ploše s přípravou půdy intenzivnější (Obr. 9). Výskyt náletu dalších dřevin (DB, MD, SM, BR, JV) byl omezený, avšak mírně vyšší opět na Holině 1 s přípravou půdy.

Na bohatších lesních stanovištích vede zvýšená dostupnost živin v kombinaci s nárůstem intenzity záření po odtěžení porostu k rychlému rozvoji buřně. Ta fixuje zvýšené množství uvolňovaného dusíku po určitou dobu ve své biomase, z níž část se vrací v ročním koloběhu živin opadem odumřelých pletiv a zároveň brání obnově lesa. Pokud není reálná přímá obnova cílových dřevin, je z hlediska lesnického



Obr. 9: Průměrný počet (nahore) a výška (dole) jedinců přirozené obnovy borovice na Holině 1 s přípravou půdy odstraněním kletu a orbou a Holině 2 bez přípravy půdy.

managementu na těchto holinách (zejména kalamitních) vhodné využít přípravné dřeviny s pionýrskou strategií růstu (bříza, osika, olše případně smrk), které relativně rychle odrůstají. Tím zajistí významně rychlejší obnovu podmínek lesního prostředí a zároveň, díky rychlému růstu, fixují zvýšené množství živin a následně potlačí vzniklou buřeň a vytvoří vhodné podmínky pro obnovu dřevin citlivějších na mikroklima při obnově lesa (např. BK a JD).

Obecně platí, že pro rychlejší obnovu funkcí lesního ekosystému je vhodná přirozená obnova dřevin. I v případě holosečného způsobu hospodaření, nebo na kalamitních holinách, může být alespoň z části přirozená obnova využívána (např. částečná obnova pomocí „přípravných dřevin“). Na rozsáhlejších holinách je většinou nutné využít kombinovaný způsob obnovy lesa, kdy je přirozená obnova doplněna výsadbou dřevin vhodných pro konkrétní ekologické podmínky. Vhodné je využít zvýšené minimální počty jedinců na ha (min. o 20 % výše, než je dáno příslušnou vyhláškou), které zaručí dřívější zapojení porostů a návrat prostředí k charakteru lesního ekosystému, a omezí tak časovou periodu rizika zvýšeného uvolňování živin, včetně sloučenin dusíku z prostředí.

3.2.3 Kombinovaná obnova lesa s výsadbou dřevin s biopreparáty

V případech vysokého stupně ohrožení podzemních vod, zejména při výskytu kalamitních holin, lze, kromě výše popsaných postupů urychlené obnovy lesního prostředí, pro podporu růstu výsadeb při umělé obnově lesa využít substrát s biopreparáty. Cílené biopreparáty mají funkci zajistit částečnou fixaci dusíku, případně i dalších živin, a jejich následné uvolňování, a tím podpořit počáteční růst výsadeb, které tak dříve a ve větší míře budou schopny akumulovat a recyklovat dusík z půdního koloidu.

Jedním z možných biopreparátů je klinoptilolit s aktivovanou biosložkou. Příprava materiálu spočívá v kolonizaci minerálního materiálu (klinoptilolitu) biologickým konsorciem z lesní půdy, které může pocházet z lokality, kde bude prováděna výsadba. Následně je kolonizovaný klinoptilolit zapracován do školkařského substrátu.

Experimentální ověřování potvrdilo pozitivní význam přidavku klinoptilolitu pro růst semenáčků borovice i břízy, ale neprokázal jednoznačně jeho očekávaný pozitivní vliv na překonání epizody jarního sucha semenáčků/sazenic těchto dřevin. U bříz byl potvrzen průkazně pozitivní vliv přidavku klinoptilolitu na pokles mortality: odumírání meliorovaných bříz bylo ojedinělé (1 %), zatímco u kontrolní výsadby dosahovalo průměrně 12 %.

To může naznačovat pozitivní vliv klinoptilolitu na distribuci živin a jejich rychlejší akumulaci biomasou bříz. Z porovnání reakce dřevin na složení substrátu a simulované sucho vyplynulo, že bříza reaguje především na vláhový režim – je náchylnější k suchu než borovice. Ta překonává období s nedostatkem vody lépe než bříza, sníží transpiraci, zpomalí rašení. Pokud však obě dřeviny nemají dostatek dostupné vody, zvýšená dávka hnojiva zhoršuje důsledky stresu suchem. Jak bylo zjištěno, hnojivo ve vyšší dávce za podmínek snížené dostupnosti vody brzdí fyziologické procesy těchto dřevin, proto se zejména při výsadbě na suchem ohrožená stanoviště nedoporučuje přidávat do substrátu.

4 ZÁVĚR

Pro omezení rizika nárůstu vyplavování dusíku do vodních zdrojů v souvislosti s obnovou lesa je klíčové zachování kontinuity lesního prostředí, případně jeho rychlý návrat po zajištění nových lesních kultur na vzniklých holinách. V rámci plánování obnovy lesa je tak důležité respektovat lokální stanovištní podmínky a podle nich plánovat a provádět obnovní práce. Dle místních podmínek lze využít přirozenou, umělou či kombinovanou obnovu. Přednostní uplatnění má hospodaření na základě výběrných principů. Pro obnovu dřevin s rozdílnými nároky na světlo, včetně dřevin světlomilných, mohou být přípustné clonné i maloplošné okrajové holosečné obnovné prvky (nejlépe nepřekračující šířkou porostní výšku mateřského porostu). Přesto je holosečný způsob obnovy v některých případech nutný, např. při změně druhové skladby nebo při obnově geneticky (fenotypově) nevhodných porostů. V současnosti nejaktuálnějším případem obnovy jsou velkoplošné holiny, které vznikají důsledkem poškození porostů vlivem biotických i abiotických faktorů (kůrovcové kalamity, extrémní sucha). Pro obnovu kalamitních holin, zejména na lokalitách s rizikem nežádoucího ovlivnění kvality podzemní vody migrací dusíku, je nutné využít postup, který co možná nejrychleji obnoví porostní prostředí. Nejúčinnější je zejména kombinovaný způsob obnovy lesa, při kterém je využita přirozená obnova všech dřevin, tedy i dřevin přípravných s pionýrskou strategií růs-

tu, která je doplněna výsadbou dalších dřevin vhodných pro konkrétní stanovištní podmínky. Využití zvýšených minimálních počtů jedinců na ha (min. o 20 % výše, než je dáno příslušnou vyhláškou) zaručí dřívější zapojení porostů a intenzivnější fixaci a recyklaci živin, včetně dusíku.

V případech vysokého stupně ohrožení, zejména v případech výskytu kalamitních holin, lze při umělé obnově lesa využít i substrát s biopreparáty umožňující fixaci dusíku a jeho následné uvolňování (např. klinoptilolit s aktivovanou biosložkou). Příprava materiálu spočívá v kolonizaci minerálního média (tj. klinoptilolitu) biologickým konsorciem z lesní půdy, která může pocházet z lokality, kde bude prováděna výsadba.

5 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Novost metodiky spočívá v komplexním vyhodnocení migrace sloučenin dusíku a nepřímo také vodního režimu v lesních ekosystémech po provedené těžbě hlavního porostu. Následně jsou navrženy optimální postupy obnovy lesa, které omezí případnou migraci dusíkatých sloučenin do zdrojů vody a případně do lokalit vzácných chráněných biotopů, jež mohou být zvýšeným vstupem sloučenin dusíku ohroženy. Pro případy, kdy by běžná obnova lesa nestačila k ochraně vodních zdrojů, byla otestována také možnost využití biopreparátu umožňujícího zvýšenou fixaci sloučenin dusíku v substrátu při umělé obnově.

6 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika je určena pro lesní hospodáře, vlastníky lesů, správce lesních majetků. Dále může být využita orgány státní správy lesů, Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů jako podklad ke tvorbě OPRL, taxačními kanceláři, lesnickými školami, univerzitami a pro účely lesnického výzkumu. Dokument vychází jako certifikovaná metodika v edici Lesnický průvodce, vydávané VÚLHM, v. v. i., Strnady. Metodika je rovněž přístupná v digitální podobě na webových stránkách www.vulhm.cz.

7 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Hlavní ekonomický přínos spočívá v ochraně vodních zdrojů před případnou zvýšenou migrací sloučenin dusíku (především dusičnanů). Tato ochrana spočívá v první řadě v rychlém obnovení porostního prostředí, které dle stanovištních podmínek a hospodářského způsobu může zajistit jak přirozená, tak také umělá obnova, případně lze využít obnovu kombinovanou. Finanční úspory plynou především ze snížení nákladů na úpravu vody z dotčených zdrojů. Metodický postup lze aplikovat i při ochraně vzácných biotopů, které mohou být rovněž ohroženy zvýšeným přísunem sloučenin dusíku.

8 DEDIKACE

Metodika byla vypracována v rámci grantové podpory TAČR projektu: TH02030823 „Vývoj metodicko-technických postupů minimalizace dopadů lesnického hospodářství na kvalitu podzemních vod v důsledku nadbytečné migrace reaktivních forem dusíku a fosforu“.

9 LITERATURA

9.1 Seznam použité související literatury

- BINKLEY D., FISHER R. F. 2019. Ecology and management of forest soils. John Wiley & sons, NY.
- BOLTE A., AMMER CH., LÖF M., MADSEN P., NABUURS G., SCHALL P., SPATHELF P., ROCK J. 2009. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24: 473–482.
- CESONIENE L., DAUBARAS R., TAMUTIS V., KASKONIENE V., KASKONAS P., STAKENAS V., & ZYCH M. 2019. Effect of clear-cutting on the understory vegetation, soil and diversity of litter beetles in scots pine-dominated forest. *Journal of Sustainable Forestry*, 38(8): 791–808. doi:10.1080/10549811.2019.1607755
- DIAS L. C. P., MACEDO M. N., COSTA M. H., COE M. T., & NEILL C. 2015. Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4: 108–122. doi:10.1016/j.ejrh.2015.05.010
- FINER L., JURGENSEN M., PALVIAINEN M., PIIRAINEN S., & PAGE-DUMROESE D. 2016. Does clear-cut harvesting accelerate initial wood decomposition? A five-year study with standard wood material. *Forest Ecology and Management*, 372: 10–18. doi:10.1016/j.foreco.2016.03.060
- HRIBIK M., VIDA T., SKVARENINA J., SKVARENINOVA J., IVAN L. 2012. Hydrological effects of Norway spruce and European beech on snow cover in a mid-mountain region of the Polana Mts., Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60 (4): 319–332.
- CHROUST L. 1997: Ekologie výchovy lesních porostů. Smrk obecný - borovice lesní - dub letní - porostní prostředí - růst stromů - produkce porostu. Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství - Výzkumná stanice. 277 s.
- ILSTEDT U., BARGUES TOBELLA A., BAZIE H. R., BAYALA J., VERBEETEN E., NYBERG G., . . . MALMER A. 2016. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Sci Rep*, 6: 21930. doi:10.1038/srep21930

- ILVESNIEMI H., PUMPANEN J., DUURSMA R., HARI P., KERONEN P., KOLARI P., KULMALA M., MAMMARELLA I., NIKINMAA E., RANNIK Ü, POHJA T., SIIVOLA E., VESALA T. 2010. Water balance of a boreal Scots pine forest. *Boreal Environment Research*, 15: 375–396.
- KUTÍLEK M., NIELSEN D. R. 1994. *Soil hydrology*. Cremlingen-Destedt, Catena: 370 s.
- MARSHALL V. G. 2000. Impacts of forest harvesting on biological processes in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133(1-2): 43–60. doi: 10.1016/S0378-1127(99)00297-2
- NEARY D. G., ICE G. G., & JACKSON C. R. 2009. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258 (10): 2269–2281. doi:10.1016/j.foreco.2009.05.027
- PECK A., MAYER H. 1996. Influence of stand parameters on evaporation in forests. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 115 (1): 1–9.
- PEKÁROVÁ P., MIKLÁNEK P., ONDERKA M., & KOHNOVÁ S. 2009. Water balance comparison of two small experimental basins with different vegetation cover. *Biologia*, 64(3): 487–491. doi:10.2478/s11756-009-0100-0
- RANGER J., LOYER S. et al. 2007. Effects of the clear-cutting of a Douglas-fir plantation (*Pseudotsuga menziesii* F.) on the chemical composition of soil solutions and on the leaching of DOC and ions in drainage waters. *Ann. For. Sci*, 64: 183–200.
- REYNOLDS E. R. C., HENDERSON C. S. 1967. Rainfall interception by beech, larch and Norway spruce. *Forestry*, 40: 165–184.
- SHAHNAZARI H., LALOUI L., KOUZEGARAN S., & JAFARIAN Y. 2020. Prediction and experimental evaluation of soil-water retention behavior of skeletal calcareous soils. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(5): 2395–2410. doi:10.1007/s10064-019-01695-9
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., ŠACH F., KANTOR P. 2014. Modelové stanovení vlivu záměny kultur smrku za buk na hydrologickou bilanci experimentálního horského povodí. *Zprávy lesnického výzkumu*, 59: 133–139.
- TESAŘ M., ŠÍR M., DVOŘÁK I. J. 2004. Vliv vegetačního porostu a jeho změn na vodní režim půd v pramenitých oblastech Krkonoš. In: Štursa J., Mazurski K. R., Palucki A., Potocka J. (eds.), *Geologické problémy Krkonoš*. Sborn. Mez. Věd. Konf., Listopad 2003, Szklarska Poreba. *Opera Corcontica*, 41: 30–37.

- VANGANSBEKE P., DE SCHRIJVER A., DE FRENNE P., VERSTRAETEN A., GORISSEN L., & VERHEYEN K. 2015. Strong negative impacts of whole tree harvesting in pine stands on poor, sandy soils: A long-term nutrient budget modelling approach. *Forest Ecology and Management*, 356, 101–111. doi:10.1016/j.foreco.2015.07.028
- VICENTE E., VILAGROSA A., RUIZ-YANETTI S., MANRIQUE-ALBA A., GONZALEZ-SANCHIS M., MOUTAHIR H., . . . BELLOT J. 2018. Water balance of Mediterranean *Quercus ilex* L. and *Pinus halepensis* Mill. forests in semiarid climates: a review in a climate change context. *Forests*, 9(7): art. nr. 426. doi: 10.3390/f9070426
- VÍCHA Z., LOCHMAN V., BÍBA M. 2012. Depozice dusíku v lesních porostech a jejich vliv na obsah nitrátů v odtékající vodě a na okyselování půdy. *Zprávy lesnického výzkumu*, 57, (4): 352–360.
- VITOUSEK P. M., GOSZ J. R., GRIER C. C., MELILLO J. M., REINERS W. A., TODD R. L. 1979. Nitrate losses from disturbed ecosystems: interregional comparative studies show mechanisms underlying forest ecosystem response to disturbance. *Science* 204: 469–474.

9.2 Seznam publikací, které předcházely metodice

- PALARČÍK J., SLEZÁK M., PEROUTKOVÁ P., ŠPULÁK O., LEUGNER J., MIKEŠ J. 2019. Vliv těžby porostu borovice lesní na kvalitu podpovrchových a podzemních vod. In: Procházka M. (ed.): 71. zjazd chemikov - Zborník abstraktov: 216–217
- ŠPULÁK O., KACÁLEK D., LEUGNER J. 2018. Hydrické poměry na stanovišti chudého boru – založení experimentu a první výsledky. [Water conditions at nutrient-poor Scots pine site – experiment establishment and first results]. In: Pěstování lesů ve střední Evropě. Sborník vědeckých prací u příležitosti 19. mezinárodního setkání pěstitelů lesa střední Evropy. Doksy, 4. – 5. 9. 2018. Ed. M. Baláš, V. Podrázský, J. Gallo. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze: 166–173. *Proceedings of Central European Silviculture*. Vol. 8. – ISBN 978-80-213-2866-2
- ŠPULÁK O., KACÁLEK D. 2020. How different approaches to logging residues handling affected retention of nutrients at poor-soil Scots pine site after clear-cutting? A case study. *Journal of Forest Science*, 66: 461–470

ŠPULÁK O., HACUROVÁ J. 2021. The influence of growing medium composition on pine and birch seedlings response during the period of simulated spring drought. *Journal of Forest Science*, in prep.

REGULATION OF THE RISK OF INCREASED LEACHING OF NITROGEN COMPOUNDS INTO WATER SOURCES IN CONNECTION WITH VARIOUS FOREST REGENERATION PROCEDURES

Summary

Forest stands removal due to disturbances and to some extent also due to clear cutting shifts amounts of particular hydrological balance components. The no-canopy conditions also accelerate mineralization of surface humus. This clear-cutting management system is thus considered a that one influencing ground water quality negatively as more reactive forms of nitrogen are expected to be leached out. The objective of this guide is to optimize forest renewal approaches at sites where fast stabilization of soil environment is needed. In other words, it aims to control both organic and inorganic nitrogen (including other elements) inputs into water sources. Use of these prescriptions can be also beneficial for rare biotopes.

Total amount of rainfall water is an important factor, which influences migration of all elements within forest. This input impacts on forest renewal management is shown in Fig. 3 depicting sums of water percolating through soil in three research plots. Nitrates increased markedly in the monitored soil profile, particularly both clear-cut treatments showed that in upper layers. In control plot with the mature pine stand left on site, the nitrates were significantly lower compared to clear-cut sites. In 2020, the increased nitrates were found even deeper as water enriched by decomposing logging residues percolated vertically below both clear-cuts; it was also attributable to more rain that year.

From forest renewal management point of view, fast clear-cut site reforestation is needed in order to control outputs/inputs of nitrogen. At all sites suitable for growing Scots pine (management units 13, 23), a mechanical soil surface scarification to prepare seedbed for natural regeneration is suitable. At nutrient-rich sites, increased availability of nutrients supports fast growth of weeds following clearcutting; this vegetation retains some nitrogen. It is, therefore, beneficial if forestry management prescribes use of fast-growing pioneer species such as birch, aspen, alder and also spruce. All these grow large in short time thus retaining large amounts of nitrogen in tissues and form a closed-canopy stands quickly, which suppresses herbal weeds and creates nursing conditions for other species such as beech and fir that do not perform well in large clearcuts. If ground water is endangered maximally –

especially in conditions of large clear-cuts, soil conditioners can be added to grow seedlings and help them perform at the site as retained N is later slowly released. Such conditioners include nitrogen-fixing bio-component (planting site origin is beneficial) that colonizes mineral medium (e.g. zeolites).

10 OBRAZOVÁ PŘÍLOHA

z výzkumného objektu Suchý chobot, autorem fotografií je Ondřej Špulák



Obr. 1: Instalace meteorologické stanice a celkový pohled na osazená měřicí zařízení – plocha Kontrola



Obr. 2: Instalace meteorologické stanice a celkový pohled na osazená měřicí zařízení – plocha Kontrola



Obr. 3: Příklad rozdílné intenzity prokořenění svrchní vrstvy půdy pod lesním porostem na ploše Kontrola (nahore) a na Holině 1 (dole)



Obr. 4: Rozvoj vegetace na holině 2 roky po provedené holosečné těžbě



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

www.vulhm.cz

LESNICKÝ PRŮVODCE 1/2021