

DOPORUČENÉ HOSPODÁŘSKÉ POSTUPY PRO PODPORU SEKVESTRACE UHLÍKU, ZAJIŠTĚNÍ KVALITY VODY POVRCHOVÝCH TOKŮ A IMOBILIZACE RIZIKOVÝCH PRVKŮ



Ing. RADEK NOVOTNÝ, Ph.D.
a kol.

Doporučené hospodářské postupy pro podporu sekvestrace uhlíku, zajištění kvality vody povrchových toků a imobilizace rizikových prvků

Certifikovaná metodika

**Radek Novotný
Václav Tejnecký
Martin Valtera
Dušan Kacálek
Věra Fadrhonsová
Kateřina Hellebrandová
Lenka Pavlů
Ladislav Holík
Jiří Novák
Jan Leugner
Vít Šrámek
Luboš Borůvka
Ondřej Drábek
Věra Řepková
David Juříčka
Jiří Volánek**

Lesnický průvodce 10/2024

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: k.simerova@vulhm.cz

ISBN 978-80-7417-284-7

ISSN 0862-7657

RECOMMENDED MANAGEMENT PRACTICES FOR SUPPORTING CARBON SEQUESTRATION, ENSURING SURFACE WATER QUALITY, AND IMMOBILIZING RISK ELEMENTS

Abstract

The methodology summarizes findings from forest sites affected by bark beetle calamity that occurred between 2019 and 2022. It focuses primarily on aspects such as soil chemistry, the parameters and condition of soil organic matter, the release of hazardous elements, the forest's capacity to sequester carbon, and the potential use of pioneer tree species in the restoration of affected areas. The methodology includes an overview of results from soil surveys and experiments conducted on selected large-scale clear cuts. It also provides recommendations for management measures aimed at minimizing the risk of organic matter loss in these areas, describes appropriate procedures for forest regeneration, and outlines strategies for restoring all forest functions while protecting forest soils and simplifying the planning of functionally effective species composition in new forest stands.

Key words: Forest soil chemistry, organic matter mineralisation, risk elements release, clear-cuts reforestation

Oponenti: prof. Ing. Jiří Remeš, Ph.D., ČZU v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra pěstování lesů

Ing. Norbert Buchta, MZe ČR, Sekce lesního hospodářství, Odbor státní správy, hospodářské úpravy a ochrany lesů

Adresy autorů:

Ing. Radek Novotný, Ph.D.

Ing. Dušan Kacálek, Ph.D.

Ing. Věra Fadrhonsová, Ph.D.

Ing. Kateřina Hellebrandová, Ph.D.

Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Ing. Jan Leugner, Ph.D.

doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D.

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

RNDr. Václav Tejnecký, Ph.D.

doc. Lenka Pavlů, Ph.D.

prof. Ing. Luboš Borůvka, Dr.

doc. Ing. Ondřej Drábek, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra pedologie a ochrany půd

Ing. Martin Valtera, Ph.D.

Ing. Ladislav Holík, Ph.D.

Mgr. Věra Řepková

Ing. David Juříčka, Ph.D.

Ing. Jiří Volánek, Ph.D.

Mendelova univerzita v Brně

Fakulta lesnická a dřevařská

Podíl pracovišť na přípravě metodiky:

VÚLHM 50 %

ČZU 25 %

MENDELU 25 %

Obsah:

1	ÚVOD	7
2	CÍLE METODIKY	9
3	VLASTNÍ POPIS METODIKY	10
3.1	Půdní vlastnosti na kalamitních plochách	10
3.1.1	Chemické vlastnosti půd	12
3.1.2	Rizikové prvky	16
3.1.3	Kvalita půdní organické hmoty	19
3.1.4	Dekompozice organické hmoty	21
3.2	Kvalita a množství vody v povrchových tocích ovlivněných kalamitou podkorního hmyzu	24
3.3	Využití dřevin při obnově kalamitních ploch	27
4	ZÁVĚR	32
5	SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	34
6	POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	34
7	EKONOMICKÉ ASPEKTY	35
8	DEDIKACE VÝZKUMNÝM PROJEKTŮM	35
9	LITERATURA	36
10	SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE	39
11	SUMMARY	40
12	PŘÍLOHY	43

1 ÚVOD

Kalamita podkorního hmyzu, které Česká republika i okolní evropské státy čelily v letech 2018–2023, je někdy označována za kalamitu století nebo dokonce kalamitu tisíciletí. Plocha nově vzniklých holin dosahovala každoročně 40–55 tisíc hektarů (tab. 1) a jednotlivé holé plochy měly často rozlohu desítek až stovek hektarů. V tom byla poslední kalamita skutečně výjimečná, protože předchozí kalamity způsobené větrem, sněhem, námrazou nebo hmyzem v průběhu posledních sto let takového rozsahu skutečně nedosáhly. I dramatické imisní poškození lesních porostů v průběhu 70. a 80. let minulého století, které vedlo ke vzniku zhruba 100 000 ha holin ve vrcholových partiích Krušných hor, Jizerských hor, Krkonoš a dalších pohoří, představovalo zhruba polovinu ztráty vzrostlých lesních porostů oproti současné kůrovcové kalamitě.

Právem se proto ve zvýšené míře diskutuje vliv tohoto rozsáhlého odlesnění na vodní režim krajiny, na infiltrační schopnost lesních půd nebo na riziko ztráty organické hmoty a uvolňování rizikových prvků do půdního roztoku a do vodních zdrojů. Součástí diskuse o obnově kalamitních ploch jsou také vhodné postupy pro minimalizaci uvedených rizik, způsob zalesnění, druhová a prostorová pestrost nově založených porostů a v diskusi jsou zastoupena také další témata, jako např. vliv spárkaté zvěře nebo pěstební postupy v porostech vzniklých na kalamitních plochách.

Tab. 1: Balance holin v ČR (zdroj: Statistická ročenka ČR)

Holiny	Rok / plocha (ha)								
	2012	2013	2014	2015	2018	2019	2020	2021	2022
Plocha holin k 1. 1. roku	24 023	24 028	23 098	22 144	24 151	35 761	54 497	70 912	76 592
Přírůstek holin během roku celkem	24 511	23 537	23 495	22 345	35 867	51 745	55 631	54 367	39 904
- z toho těžbou dřeva	19 835	18 233	17 872	15 510	27 824	43 501	47 538	46 939	31 759
- z toho neúspěšným zalesněním	3 751	4 327	4 634	5 246	3 941	3 799	3 621	4 847	6 082
- z toho živelními pohromami	925	977	989	1 589	4 102	4 445	4 472	2 580	2 063
Úbytek plochy holin v průběhu roku celkem	24 506	24 467	24 449	22 694	24 257	33 009	39 216	48 687	48 775
- z toho zalesněním	19 633	19 466	19 823	18 558	21 013	28 449	33 351	40 277	39 670
- z toho přirozenou obnovou	4 873	5 001	4 626	4 136	3 244	4 561	5 865	8 410	9 105
Plocha holin k 31. 12. roku	24 028	23 098	22 144	21 795	35 761	54 497	70 912	76 592	67 720

Hned v úvodu je nutné uvést, že přes obrovský rozsah této poslední kalamity – jak po stránce objemu vytěženého dřeva, tak z pohledu množství a velikosti vzniklých holin – se jedná o **odlesnění dočasné**. Většina vlastníků lesa intenzivně pracuje na zalesnění vytěžených ploch. Pokud na to jejich kapacity nestačí, nebo pokud se o zalesnění aktivně nestarají, dochází ke spontánní obnově přirozenými sukcesními pochody. A to jak bylinného a keřového patra, tak i přirozené obnovy pestrrou směsí lesních dřevin. Povrch půdy proto nezůstává odkrytý dlouho a v řádu jednotek let dochází ke snižování negativních efektů holých ploch i rizik, která pro lesní půdu, lesní ekosystém nebo krajinu jako celek představují. Přesto nelze přehlížet nebo zlehčovat riziko ovlivnění množství a kvality organické hmoty, změny ve srážko-odtokových poměrech, vliv na místní a regionální klima, případně další rizika spojená se vznikem takto rozsáhlých odlesněných ploch.

Již v průběhu kalamit a bezprostředně po jejich skončení vznikají nové kultury a porosty. Zakládány jsou uměle, s využitím přirozené obnovy anebo jako kombinace obou postupů v různém vzájemném poměru. Využívání přirozené obnovy probíhá jak cíleně, tak i jako „vedlejší produkt“ na místech, kde vlastník lesa nemohl, nestihl nebo nechtěl s plochou pracovat aktivně. Na mnoha plochách tak cíleně nebo neúmyslně vznikl tzv. přípravný les.

Stadium přípravného lesa je spojeno s obnovou lesa využívající dřeviny označované jako přípravné či pionýrské (Souček et al. 2016; Martiník 2019; Leugner et al. 2023). Význam přípravného lesa byl rehabilitován lesnickou veřejností a nadále roste zájem o využití přípravných dřevin v souvislosti s nárůstem plochy kalamitních holin (Souček 2021). Tyto holé plochy svou výměrou přesahují parametry maximální výměry nebo šíře holé seče stanovené zákonem (Souček et al. 2016). Nově vzniklé a odrůstající porosty pak zmírňují extremitu klimatu rozsáhlých holin (stíní, snižují rychlost proudění vzduchu), omezují konkurenci buřene a biomelioračně udržují podmínky svrchních půdních vrstev (Souček et al. 2016). Omezení buřene přípravným porostem také snižuje atraktivitu stanoviště pro myšovitě hlodavce (Souček et al. 2016).

Výzkumné i praktické zkušenosti s obnovou kalamitních holin v probíhající kůrovcové kalamitě **ukázaly velmi dobrou využitelnost kombinované obnovy**, která zároveň využívá umělý i přirozený způsob.

2 CÍLE METODIKY

Předkládaná metodika si klade za cíl shrnout poznatky z podrobněji studovaných kalamitních ploch, a to především ve vztahu k půdnímu chemismu, stavu půdní organické hmoty, uvolňování rizikových prvků, schopnosti lesa poutat uhlík a možnosti využití přípravných dřevin při obnově kalamitních ploch. Mezi hlavní cíle patří:

- doporučit opatření pro minimalizaci rizika ztráty organické hmoty na kalamitních plochách;
- popsat vhodné postupy pro obnovu porostů a návrat k plnění všech funkcí lesa;
- zjednodušit plánování funkčně efektivní druhové skladby nových lesních porostů na rozsáhlých kalamitních holinách s cílem zachování lesního půdního prostředí.

3 VLASTNÍ POPIS METODIKY

Při odkrytí půdního povrchu po odstranění stromů těžbou se dramaticky mění především světelné, teplotní a vlhkostní poměry stanoviště. Vystavíme-li náhle, skokově, povrch lesní půdy přímému oslunění, dochází k většímu vysychání organické hmoty a svrchní minerální půdy a k jejímu zahřívání. To může iniciovat zrychlení mikrobiální činnosti a zintenzivnit rozklad organické hmoty (mineralizaci).

Cílem při pěstování a obnově lesa je totiž zpravidla opak – tedy zachovat stabilní mikroklimatické a světelné poměry v porostu (tzv. klidné porostní klima), respektive měnit je postupně, pozvolna (dlouhá až velmi dlouhá obnovní doba). To v běžné provozní praxi znamená preferenci podrostních a maloplošných obnovních postupů, popř. využívání výběrných principů, kdy lesník pracuje se světlem a prostorem citlivě, opatrně, ve snaze udržet povrch půdy krytý mateřským porostem, a to podle záměru, se kterým obnova lesa probíhá – více světla svědčí obnově světlomilných druhů dřevin, méně světla pod korunami mateřského porostu zvýhodňuje dřeviny stínomilné nebo stín snášející.

Podle šetření ÚHÚL je v ČR průměrná velikost holé seče 0,3 ha, což svědčí o povědomí lesníků a vlastníků lesa o důležitosti chránit porostní mikroklima a lesní půdu před razantními změnami způsobenými vznikem holiny. Narušení korunového zápoje těžbou je tedy především nástrojem pro práci se světlem. Tím ovlivňujeme, které dřeviny se budou obnovovat a jak rychle budou odrůstat.

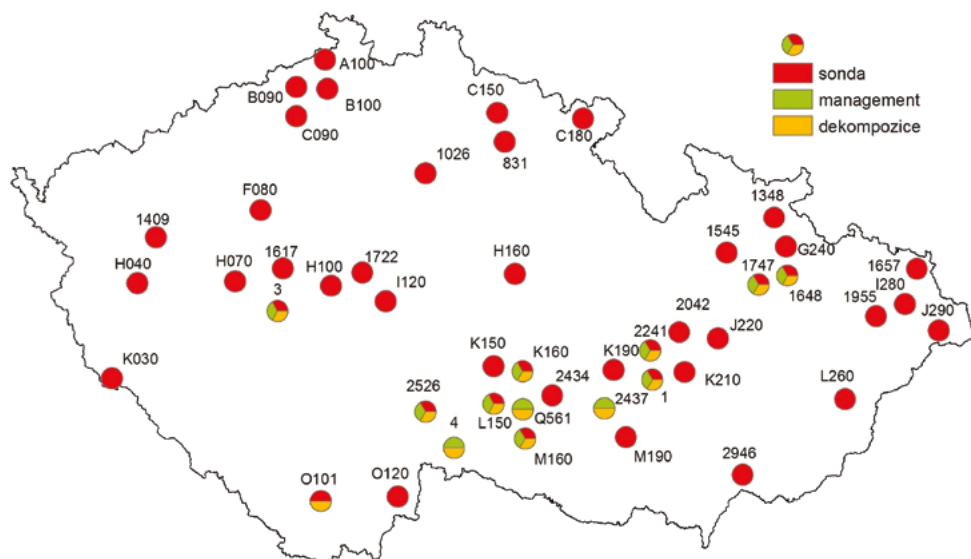
3.1 Půdní vlastnosti na kalamitních plochách

Půdní vzorky odebírané pro zjišťování chemismu a zásob vybraných prvků v lesní půdě byly odebírány jednak z klasických pedologických sond až do hloubky 80 (100) cm a jednak z tzv. půdních zákopků pro zjištění chemismu a zásoby prvků v nadložním humusu a ve svrchní vrstvě půdy, kde je prostorová variabilita větší, zpravidla do hloubky 20 nebo 30 cm. Přehled vzorkovaných ploch je na obr. 1.

Půdní vzorky ze sond byly odebírány dle metodiky ICP Forests (Cools, De Vos 2016). Na každé ploše byly odebrány vzorky pro stanovení objemové hmotnosti humusové vrstvy, odděleně horizont L a FH, případně LFH dohromady, byla-li prováděna příprava půdy frézami, případně štěpkováním nebo drčením klestu na ploše. Vzorky byly odebírány z plošek 25 × 25 cm pomocí kovového rámečku, zároveň byla změřena tloušťka organické vrstvy. Dále byly odebrány vzorky pro chemické analýzy z fixních hloubek minerální půdy (0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40 cm, 40–80 cm, příp. 80+ cm) a vzorek humusové vrstvy (FH). Ve vzorcích byly stanoveny pH aktivní a výměnné, obsah C, N, S, obsah přístupných (výměnných) prvků ve výluhu chloridem barnatým a pseudototální obsah prvků ve výluhu lučavkou královskou.

Půdní sondy byly vykopány/obnoveny na plochách sítě evropského monitoringu lesa ICP Forests, kde došlo v důsledku napadení porostů podkorním hmyzem ke vzniku holiny, a které byly vzorkovány v rámci evropského projektu BioSoil. Půdní zákopky s odběrem vzorků FH a minerální půdy po deseti centimetrech do hloubky 30 cm byly využity na plochách, kde před zalesněním vzniklých holin byly používány různé způsoby nakládání s těžebními zbytky – jako základní dvě porovnávané varianty byly zvoleny plochy s úklidem klestu do hromad nebo valů a přímo sousedící nebo blízké plochy, na kterých byly těžební zbytky ponechány na místě a zpracovány půdními frézami (drcení klestu). K těmto dvěma variantám přípravy plochy před výsadbou byla vždy stejným způsobem vzorkována také plocha v blízkém okolí s nesmýceným živým smrkovým porostem (kontrolní varianta).

Pro hodnocení rychlosti rozkladu organické hmoty na povrchu půdy byly využity stejné plochy a varianty jako pro odběr půdních vzorků ze zákopků (porost, úklid klestu, frézování klestu). Rozklad organické hmoty byl sledován jednak s využitím materiálu odebraného z nadložní organické vrstvy přímo z kalamitních ploch a jednak pomocí standardizovaného pokusu s využitím čajových sáčků uložených v minerální půdě v hloubce 5 cm. Jako podpůrné měření pro interpretace změn půdní organické hmoty na kalamitních plochách byla na 5 lokalitách na gradientu od České Kanady po Nízký Jeseník instalována čidla TOMST TMS4. Teplota je měřena v hloubce 5 cm a vlhkost v hloubce 0–10 cm minerální půdy. Čidla jsou na jednotlivých plochách rozmístěna zpravidla v designu rovnostranného trojúhelníku o délce strany 50 m (celkem 45 čidel) a měří kontinuálně v intervalu 15 min.



Obr. 1: Přehled ploch zahrnutých do řešení projektu. Sonda = odběr vzorků z půdní sondy dle metodiky ICP Forests. Management = odběr vzorků ze zákopků ve variantě úklid klestu, frézování klestu a kontrola v porostu. Dekompozice = plochy se založeným dekompozičním pokusem. Podrobněji viz text.

3.1.1 Chemické vlastnosti půd

Výsledky chemických analýz vzorků půd odebraných v letech 2022–2023 (stav po odtěžení porostů) byly porovnány s výsledky analýz prováděných v rámci projektu BioSoil (2005–2008) (stav v době existence porostu). Při porovnávání stavu půd před smýcením porostů a po něm jsme se zaměřili na hlavní parametry, tedy půdní reakci (aktivní a výměnné pH), obsah organického uhlíku, dusíku, jejich celkovou zásobu v organické vrstvě a obsah bazických živin (přístupné formy Ca, Mg, K). Protože hodnoty většinou nemají normální rozdělení, byl pro porovnání obou souborů dat použit neparametrický Wilcoxonův test. Výsledky Wilcoxonova testu jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Výsledky Wilcoxonova testu pro hodnoty pH, obsah a zásobu C, N a obsah přístupných prvků v půdách odebíraných na plochách ICP Forests zasažených kalamitní těžbou (srovnání stavu v době existence porostu – 2005 a po jeho smýcení – 2022; červeně vyznačen statisticky významný rozdíl na hladině $\alpha = 0,05$).

Hloubka půdy	FH				0–10 cm			
Proměnná	n	T	Z	p-value	n	T	Z	p-value
zásoba LFH 2005 vs. 2022 (kg/m ²)	23	92,0	1,4	0,2				
pH (H ₂ O) 2005 vs. 2022	26	55,0	3,1	0,0	26	49,5	3,2	0,00
pH (CaCl ₂) 2005 vs. 2022	26	22,0	3,9	0,0	26	129,0	1,2	0,24
Corg 2005 vs. 2022 (%)	26	153,0	0,6	0,6	26	96,0	2,0	0,04
Ntot 2005 vs. 2022 (%)	26	168,0	0,2	0,8	26	77,0	2,5	0,01
Ca_exch 2005 vs. 2022 (mg/kg)	21	28,0	3,0	0,0	25	37,0	3,4	0,00
K_exch 2005 vs. 2022 (mg/kg)	21	23,0	3,2	0,0	25	20,0	3,8	0,00
Mg_exch 2005 vs. 2022 (mg/kg)	21	9,0	3,7	0,0	25	32,0	3,5	0,00
zásoba Corg 2005 vs. 2022_(t/ha)	23	102,0	1,1	0,3	26	95,0	2,0	0,04
zásoba Ntot 2005 vs. 2022_(t/ha)	23	94,0	1,3	0,2	26	72,0	2,6	0,01

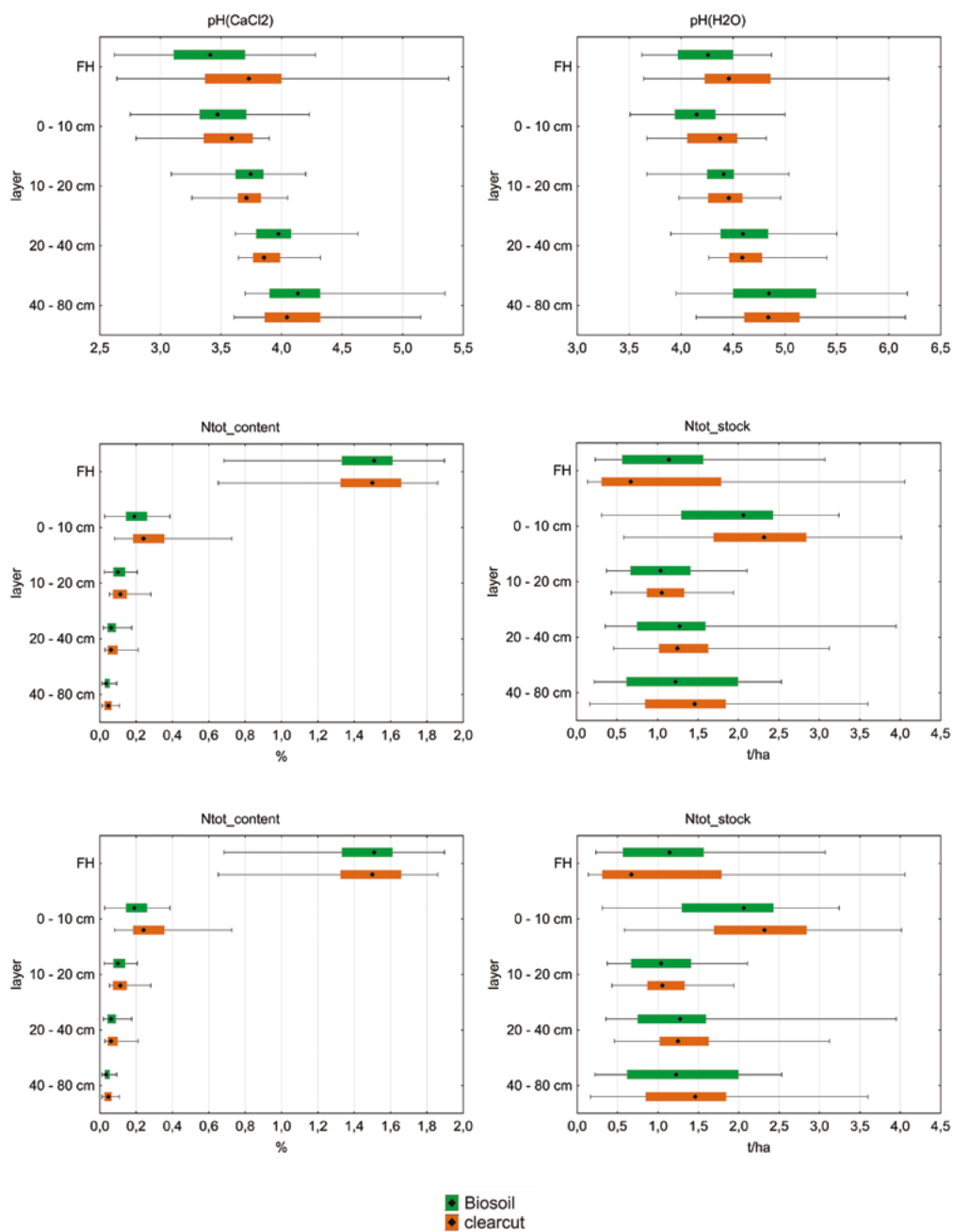
Základní statistické charakteristiky hodnocených ploch jsou pro odběry před a po smýcení porostů uvedeny v tabulkách 3 a 4, graficky je porovnání obou sad vzorků zobrazeno pomocí krabicových grafů na obrázku 2 a 3.

Tab. 3: Obsah C_{org} (%) v půdním profilu na plochách I. úrovně – srovnání stavu před (2005) a po (2022) smýcení porostu.

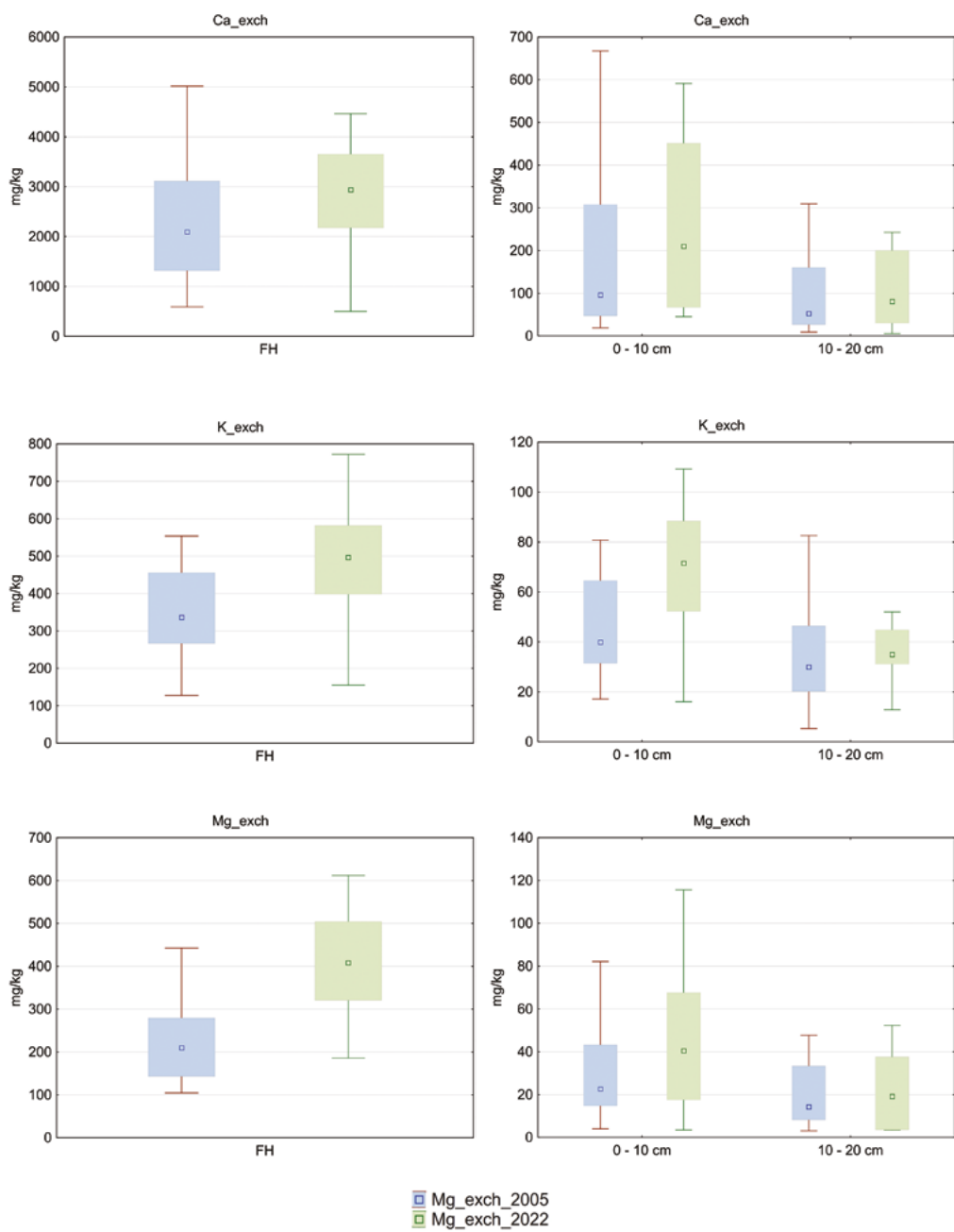
Vrstva	Odběr	Počet	Průměr	Median	Minimum	Maximum	Sm Odch
FH	porost (2005)	26	33,52	33,86	14,10	46,12	8,47
	holina (2022)	26	34,03	33,37	11,54	46,59	8,27
0–10 cm	porost (2005)	26	3,93	3,72	0,47	8,79	1,69
	holina (2022)	26	5,10	4,73	1,12	12,98	2,64
10–20 cm	porost (2005)	26	1,95	1,58	0,42	4,96	1,09
	holina (2022)	26	2,09	2,03	0,49	5,04	1,21
20–40 cm	porost (2005)	26	1,17	0,88	0,32	3,58	0,78
	holina (2022)	26	1,17	0,75	0,24	3,50	0,93
40–80cm	porost (2005)	26	0,66	0,49	0,15	2,37	0,54
	holina (2022)	26	0,60	0,37	0,02	2,33	0,57

Tab. 4: Zásoba uhlíku (t/ha) v půdním profilu na plochách I. úrovně – srovnání stavu před (2005) a po (2022) smýcení porostu.

Vrstva	Odběr	Počet	Průměr	Median	Minimum	Maximum	Sm Odch
FH	porost (2005)	26	27,25	26,46	6,12	74,47	15,77
	holina (2022)	26	33,10	19,74	2,75	107,73	31,86
0–10 cm	porost (2005)	26	36,52	33,35	5,54	73,24	17,70
	holina (2022)	26	44,01	46,92	7,77	73,51	18,50
10–20 cm	porost (2005)	26	18,66	18,63	6,33	42,92	9,65
	holina (2022)	26	18,64	18,94	3,40	40,01	7,71
20–40 cm	porost (2005)	26	21,96	18,66	4,04	80,44	15,98
	holina (2022)	26	19,63	16,20	4,18	66,08	13,01
40–80cm	porost (2005)	26	19,35	15,70	2,53	91,01	17,18
	holina (2022)	26	16,38	14,38	1,02	72,20	14,60



Obr. 2: Srovnání hodnot pH, obsahu a zásoby uhlíku a dusíku v porostu a po smýcení na holině.



Obr. 3: Obsah bazických živin v humusové vrstvě a ve svrchní části minerální půdy pod porostem a na holině.

V humusovém horizontu došlo po smýcení porostů k mírnému zvýšení hodnot aktivního ($\text{pH-H}_2\text{O}$) i výměnného (pH-CaCl_2) pH. Ve svrchní části minerální půdy do hloubky 10 cm se hodnoty pH rovněž zvýšily, u výměnného pH však nebyl rozdíl signifikantní. V hlubší části půdního profilu jsou hodnoty pH v obou případech srovnatelné. V horizontu FH i v minerální půdě do hloubky 10 cm se zvýšil i obsah přístupných bazických prvků (Ca, Mg, K) a v půdní vrstvě 0–10 cm rovněž obsah uhlíku a dusíku a i jejich celková zásoba; příčinou je však spíše vyšší podíl organické hmoty v minerální vrstvě v důsledku použité technologie zpracování těžebních zbytků (použití půdní frézy) a promíchání svrchní organické a minerální vrstvy půdy.

Z uvedených výsledků analýz půd vyplývá, že **na kalamitních holinách došlo přechodně ke změnám chemismu především v humusové vrstvě a ve svrchní části minerální půdy, které jsou nejvíce ovlivněny použitou technologií** (nakládání s těžebními zbytky) a narušeny při těžbě dřeva a při přípravě půdy před zalesněním. Nebyla zjištěna změna celkové zásoby organické hmoty v humusové vrstvě, ani změna zásoby uhlíku a dusíku v ní a ani změna obsahu těchto prvků v humusu. Naopak ve svrchních 10 cm minerální půdy se obsah uhlíku a dusíku i jejich celková zásoba mírně zvýšila v důsledku zvýšeného podílu organického materiálu v minerální půdě (promíchání). V hlubších vrstvách půdního profilu změny po smýcení porostů zjištěny nebyly.

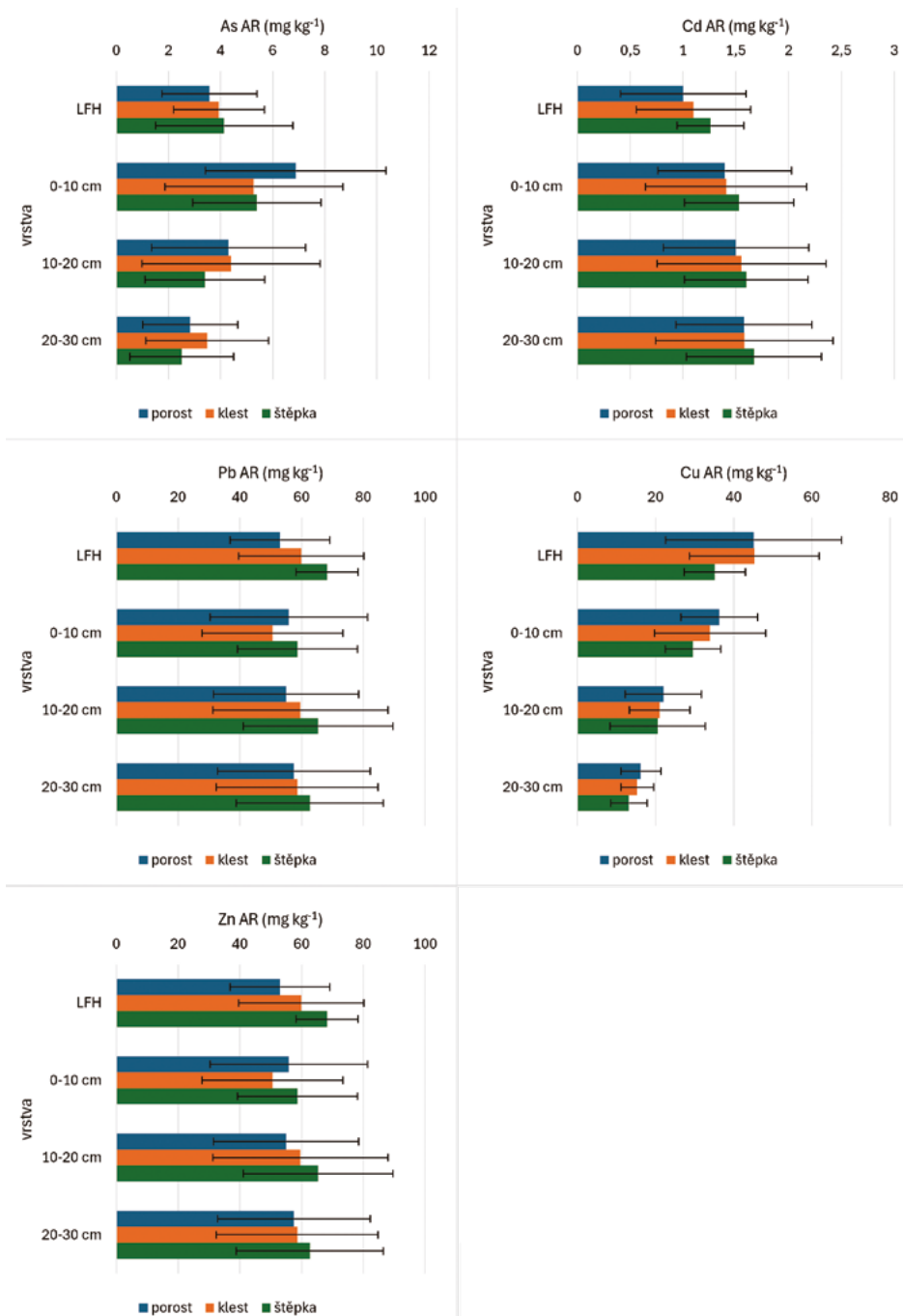
3.1.2 Rizikové prvky

Sledována byla pseudototální frakce rizikových prvků (RP – As, Cd, Cu, Pb a Zn) extrahovaná lučavkou královskou (AR; směs koncentrovaných kyselin chlorovodíkové a dusičné v poměru 3:1). Tato extrakce představuje obsah RP v půdě kromě frakce vázané na křemičitany (silikáty), jedná se většinou o antropogenní nebo přirozený obsah RP. Provedeny byly odběry na holině a v poblíž stojícím porostu, v případě holiny byl sledován management holin – úklid klestu (klest) nebo štěpkování (štěpka). Sledovány byly lokality s běžnými hodnotami RP a jedna lokalita vysoce zatížená RP.

Nebyly zjištěny změny v zastoupení pseudototální frakce rizikových prvků (As, Cd, Cu, Pb a Zn) v porovnání porostu a holin, rovněž nebyl zjištěn vliv různého managementu holiny na distribuci RP (obrázek 4).

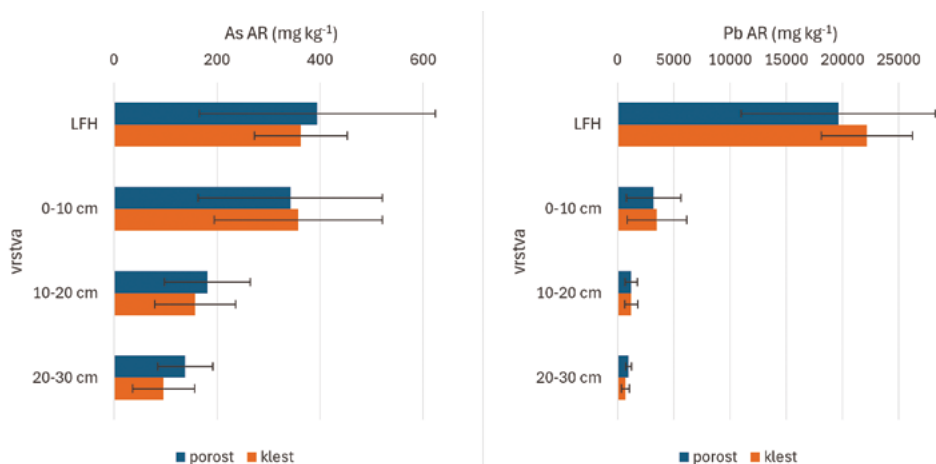
V důsledku sledování změny distribuce RP v půdě v souvislosti s těžbou dřeva a vzniku holin byla vybrána vysoce kontaminovaná plocha u Lhoty u Příbramě, a to na základě předchozích studií řešitelského kolektivu a literárních zdrojů.

Nejvyšší množství RP i jejich výměnné frakce bylo stanoveno v FH horizontech, obsah RP klesá s hloubkou půdního profilu (Obrázek 5). Např. v případě Pb bylo stanoveno maximální množství jeho pseudototální formy 27 g Pb kg^{-1} a výměnné 3 g Pb kg^{-1} (extrakce 1 M roztokem NH_4NO_3). Množství rizikových prvků překračují legislativní hodnoty ((vyhláška 153/2016 Sb.), které však jsou pro zemědělské půdy, a rovněž běžné požadové hodnoty pro lesní půdy (Borůvkak et al. 2015), nebo obvyklé hodnoty zjištěné v rámci probíhajícího monitoringu lesních půd v rámci tohoto projektu (průměrné hodnoty pseudototálního obsahu prvků As $1,68\text{--}7,67 \text{ mg kg}^{-1}$, Cd $0,31\text{--}2,44 \text{ mg kg}^{-1}$, Cu $3,73\text{--}27,1 \text{ mg kg}^{-1}$, Pb $2,29\text{--}59,4 \text{ mg kg}^{-1}$, Sb $2,05\text{--}4,77 \text{ mg kg}^{-1}$ a Zn od $20,7\text{--}123 \text{ mg kg}^{-1}$).



Obr. 4: Pseudototální obsahy RP (As, Cd, Cu, Pb, Zn) extrahované lučavkou královskou (AR) v půdách pod stojícím porostem (porost) a na holinách s úklidem klestu (klest) a drcením klestu (štěpka) (průměr a směrodatná odchylka v mg kg⁻¹, n = 145). Jedná se o průměry z lokalit s běžnými hodnotami rizikových prvků.

Vliv těžby na distribuci RP nebyl zjištěn v rámci rozšířeného monitoringu lokality. Obrázek 5 představuje distribuci As a Pb (což jsou nejvýznamnější kontaminanty na lokalitě). Vzorovány byly vždy 4 vzorky pro jednotlivou vrstvu a stanoviště (porost – holina). Nicméně, i tento rozšířený monitoring může být pro sledovanou lokalitu nedostatečný a pro průkaznější výsledky by bylo nutné zvýšit množství odebraných vzorků pro jednotlivá stanoviště. Prokázalo se totiž, že distribuce RP je na lokalitě velmi variabilní, což je dáno a) reliéfem terénu a b) vzdáleností od zdroje kontaminace – komín Kovohutí Příbram.

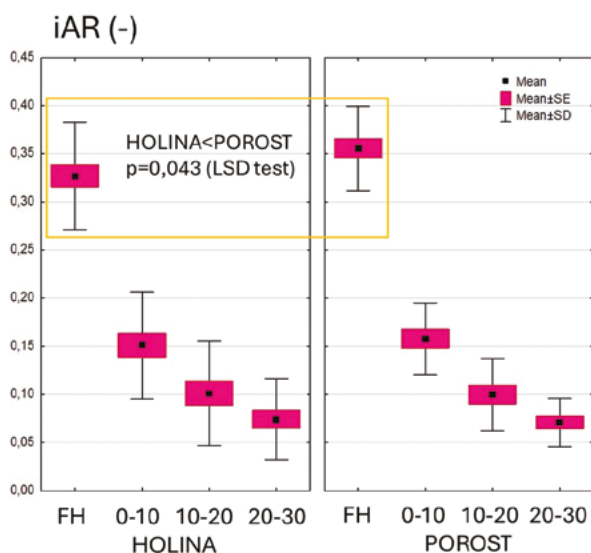


Obr. 5: Pseudototální obsahy RP (As a Pb) extrahované lučavkou královskou (AR) v půdách pod stojícím porostem (porost) a na holinách s úklidem klestu (klest) na lokalitě Příbram (průměr a směrodatná odchylka v mg kg⁻¹, n = 32).

3.1.3 Kvalita půdní organické hmoty

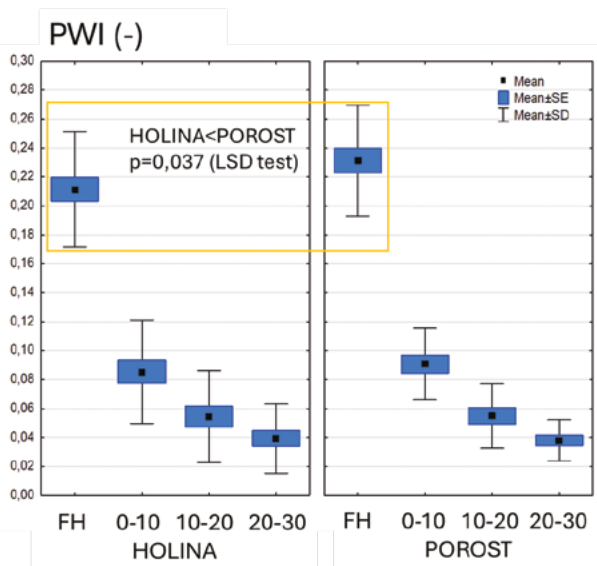
Výrazné rozdíly existují mezi jednotlivými vrstvami půdy, kdy s hloubkou stoupá podíl stabilnějších aromatických součástí půdní organické hmoty (klesá hodnota indexu iAR, obrázek 6) a klesá hydrofobnost (PWI – potential wettability index, obrázek 7) půdní organické hmoty.

Průkazné rozdíly mezi lesem a holinou byly zjištěny pouze ve vrstvě FH. Na holinách byl zjištěn vyšší podíl aromatických součástí než v přilehlém lese. To může být způsobeno vyšší úrovní dekompozice, kdy se přednostně rozkládají jednodušší alifatické komponenty půdní organické hmoty. Těžba ale mohla způsobit i promísení opadanky se svrchní minerální vrstvou půdy, což by také zvýšilo aromaticitu vrstvy FH. Ať je příčina jakákoli, důsledkem je nižší hydrofobnost této povrchové vrstvy způsobená vyšším podílem kyslíkatých funkčních skupin a menším zastoupením alifatických součástí v půdní organické hmotě. To pak může ovlivnit fyzikální vlastnosti půdy, sorpční schopnosti organické hmoty a také mobilitu živin, rizikových prvků i samotné organické hmoty, a tak i jejich snadnější transport do hlubších půdních vrstev.



Obr. 6: Aromaticita vyjádřená hodnotou indexu iAR ve vzorcích z holin a pod krytem porostu.

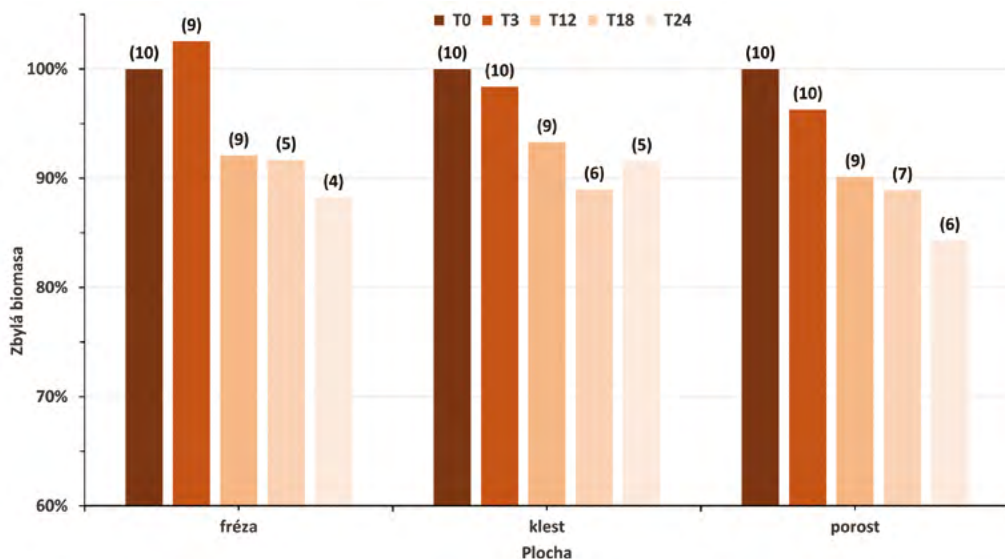
Obsah vodou extrahovatelného organického uhlíku (DOC), který se používá jako ukazatel obsahu mobilní frakce půdní organické hmoty, byl vyšší ve stávajícím porostu oproti holinám v humusové vrstvě (organických horizontech). V níže uložených minerálních vrstvách nebyly zjištěny rozdíly v obsazích DOC. Pokles DOC na holinách byl o cca 30 %. To znamená, že množství DOC na holinách bylo o 30 % nižší než v porostu. Pokles DOC na holinách lze vysvětlit zvýšenou mineralizací půdní organické hmoty, kdy DOC je frakcí půdní organické hmoty, která je nejnáchylnější na změny v půdním prostředí.



Obr. 7: Hydrofobnost (PWI – potential wettability index) měřená v povrchovém humusu a svrchní minerální půdě na holinách a pod porostním krytem.

3.1.4 Dekompozice organické hmoty

Vyhodnocení rozkladu nadložní organické vrstvy půdy naznačuje mírně rozdílné průběhy změny hmotnosti vzorků pod porostem a na holých plochách v závislosti na managementu, respektive složení organické vrstvy (obr. 8). Pod porostem probíhá pozvolný pokles hmotnosti vzorku s ca 90 % nerozložené hmoty po 1 roce a 84 % po 2 letech inkubace. Na holých plochách se průběh výrazně nelišil, rozklad probíhal spíše zpomaleně. Výsledky z prvního roku byly částečně zkresleny intenzivním prorůstáním vzorků kořeny a oddenky bylinné vegetace (počínaje druhým odběrem byly již živé kořeny a oddenky rostlin důsledně separovány). Iniciální rozklad na frézovaných plochách mohl být ovlivněn i vyšším poměrem C:N (tab. 5), který souvisí s vyšším zastoupením dřevní biomasy, viz obr. 8.



Obr. 8: Kontingenční graf hmotnostního podílu nerozložené biomasy v průběhu dekompozice vzorků hrabanky na holých plochách s přípravou půdy frézováním, s vyklížením kletu a pod kontrolními porosty smrku v časech T 0, 3, 12, 18 a 24 měsíců od založení experimentu. Popisky sloupců udávají počty vzorků. Živé kořeny a oddenky bylinné vegetace byly ze vzorků odstraňovány od druhého odběru, podrobněji viz text.

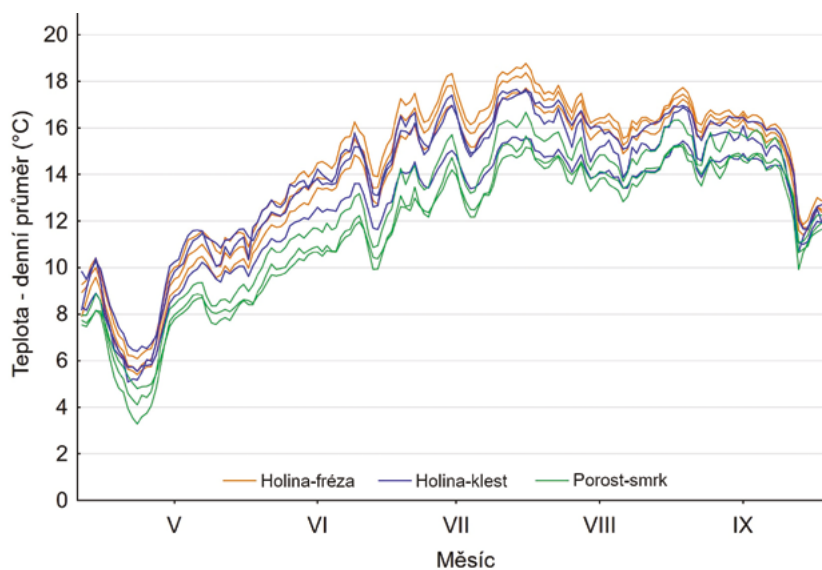
Tab. 5: Porovnání chemismu vzorků hrabanky na holých plochách s přípravou půdy frézováním, s vyklíčením klestu a pod kontrolními porosty smrku (odhad střední hodnoty $\pm$ směrodatná chyba). Různá písmena (a, b) značí statisticky významné rozdíly mezi variantami.

Plocha	Poměr C:N		
fréza	26,6	$\pm 0,6$	a
klest	24,4	$\pm 0,5$	b
porost	24,0	$\pm 0,5$	b

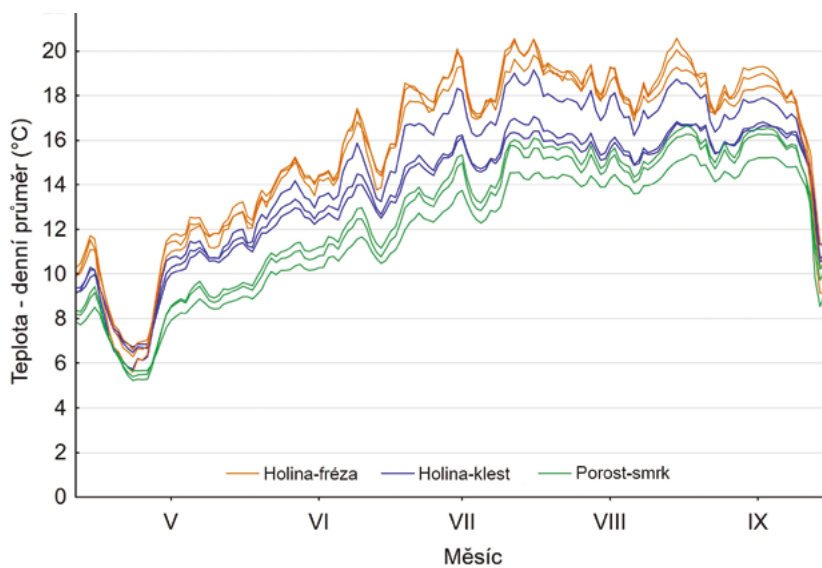
Vyhodnocení rozkladu vzorků čaje vykazuje nevýznamné rozdíly mezi oběma variantami managementu holin (68 % nerozloženého vzorku; tab. 6), což naznačuje, že potenciální rozdíly v rozkladu hmoty nadložní organické vrstvy byly spíše artefaktem rozdílu v kvalitě organické hmoty mezi oběma variantami. Oproti tomu, nižší stupeň rozkladu byl zjištěn u vzorků pod živými porosty smrku (74 % nerozloženého vzorku; tab. 6), což lze vysvětlit působením mykorrhizní inhibice rozkladu v kořenové zóně stromů (u vzorků nadložní organiky byly kořeny na ploše 25×25 cm uměle přerušeny). K rozdílu rychlosti dekompozice standardizované organické hmoty mezi holinami a kontrolními porosty může částečně přispívat i vliv mikroklimatu, zejména intenzivnější prohřívání půdy na holých plochách v jarním a v letním období (obr. 9 a 10).

Tab. 6: Vyhodnocení standardizovaného dekompozičního experimentu s čajem Lipton rooibos uloženým do hloubky 5 cm pod půdní povrch. Hodnoty udávají podíl nerozložené biomasy po 90 dnech (střední hodnota $\pm$ směrodatná chyba). Různá písmena (a, b) značí statisticky významné rozdíly mezi variantami.

Plocha	Zbylá biomasa (%)		
fréza	67,9	$\pm 1,0$	a
klest	68,1	$\pm 1,0$	a
porost	74,1	$\pm 0,7$	b



Obr. 9: Průběhy teploty půdy v hloubce 0–10 cm na plochách kalamitních holin s drcením vs. vyklížením klestu a pod kontrolním porostem smrku na lokalitě Nové Valteřice (Hrubý Jeseník) v období V–IX 2024.



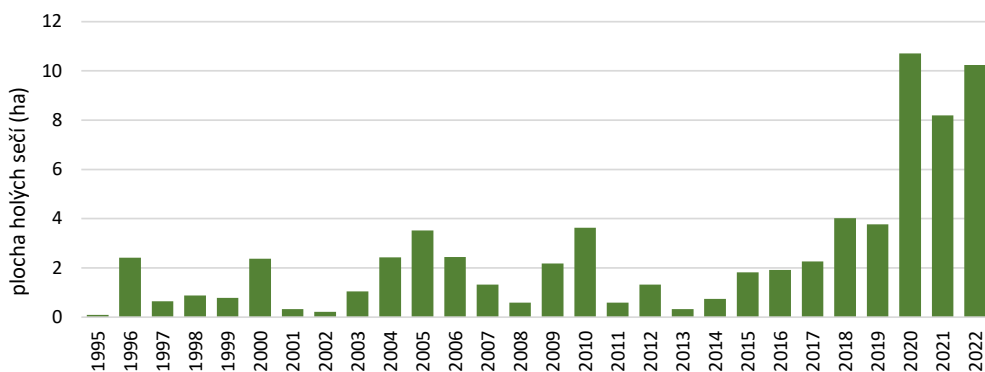
Obr. 10: Průběhy teploty půdy v hloubce 0–10 cm na plochách kalamitních holin s frézováním povrchu vs. bez přípravy půdy a pod kontrolním porostem smrku na lokalitě Zvůle (Česká Kanada) v roce 2024.

3.2 Kvalita a množství vody v povrchových tocích ovlivněných kalamitou podkorního hmyzu

Množství a chemismus vody povrchových toků v malých lesních povodích je dlouhodobě sledován např. ve středních Čechách (Pekelský potok) nebo na severní Moravě v Beskydech (Malá Ráztoka, Červík). V roce 2020 bylo sledování vlivu odlesnění na povrchovou vodu malých lesních toků založeno na dalších malých lesních povodích v Jeseníkách. Podrobné hodnocení průběhu kalamity ve vztahu k množství a chemismu vody v potoce bylo v rámci řešení projektu NAZV QK22020217 provedeno pro povodí Pekelského potoka. Ke skokovému nárůstu plochy holin došlo mezi lety 2019 a 2020 (obr. 11).

Povodí Pekelského potoka se nachází v oblasti Středočeské pahorkatiny (PLO 10) nedaleko obce Kožlí. Celková rozloha povodí je 124 ha s nadmořskou výškou 360–460 m n. m. Lesní půda tvoří ca 119 ha, jedná se tedy o povodí s velmi vysokou lesnatostí. Převládající podložní horninou je zde biotitická pararula. Půdním typem jsou zde především kambizemě. Typologicky je povodí tvořeno převážně soubory lesních typů 3S, 4S, 4K.

Pro určení vztahu mezi plochou holých sečí v daném roce a změnou hydrologických poměrů v povodí byl použit odtokový součinitel, který vyčísľuje, kolik vody z celkového množství spadlých srážek odečte z povodí. Vypočítá se podle rovnice $\phi = H_o / P$, kde ϕ je odtokový součinitel, H_o výška odtoku v [mm] a P srážkový úhrn v [mm]. Změny hodnot tohoto koeficientu v hydrologickém roce a v chladné a teplé části hydrologického roku jsou znázorněny v grafu na obrázku 12.



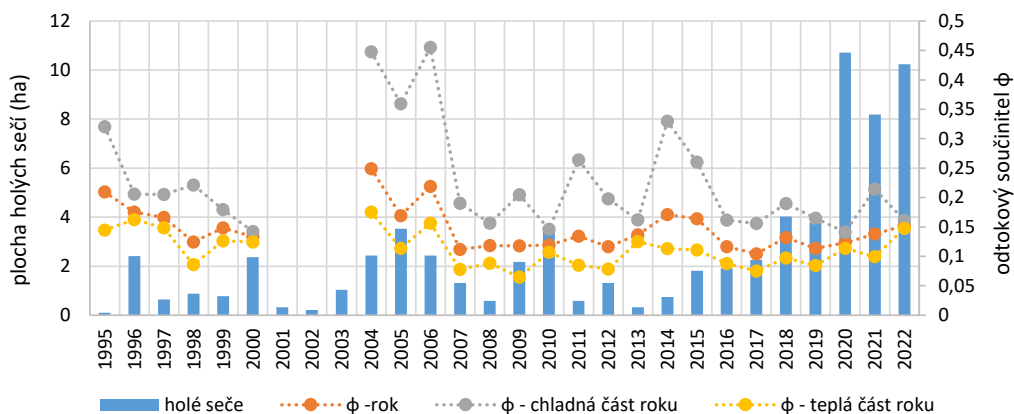
Obr. 11: Plochy holých sečí v povodí Pekelského potoka detekované z multispektrálních snímků družice Landsat.

Při této analýze **nebyl nalezen žádný statisticky významný vztah mezi plochou holých sečí v povodí a velikostí odtokového koeficientu v daném hydrologickém roce či půlroce**. Je však nutné konstatovat, že se zde pracuje se sumárními celoročními daty a není zohledněna například doba vzniku holých sečí. Jejich plocha také není jediným faktorem, který má vliv na velikost odtoku vody z povodí. Velkou roli zde hrají další faktory, jako je například rychlost zarůstání vytěžených ploch přízemní vegetací, hloubka půdy, meteorologické podmínky (které ovlivňují transpiraci lesních porostů) apod. Vliv odlesnění na hydrologický režim lesních povodí byl v minulosti sledován v řadě studií s různými výsledky (Evaristo, Mc Donnell 2019).

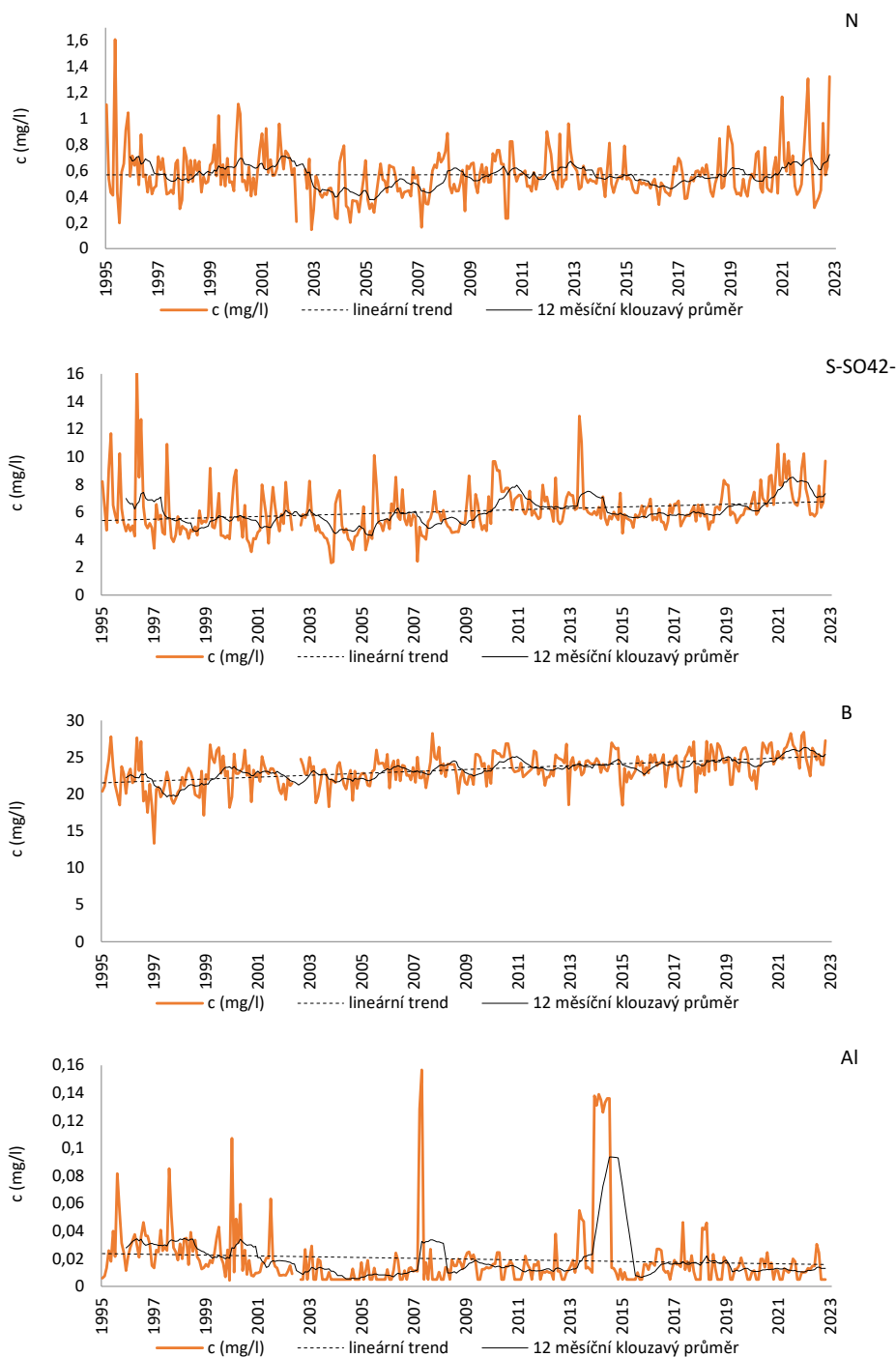
Voda Pekelského potoka je odebírána 1× měsíčně a následně analyzována v laboratoři VÚLHM. Vývoj koncentrací vybraných chemických látek ve vodě Pekelského potoka je patrný z obrázku 13.

Zatímco koncentrace dusíkatých látek v odtékající vodě nevykazují za období 1995–2022 žádný trend, koncentrace síranů a bazických kationtů vykazují signifikantní nárůst. Změny v čase byly testovány Mann-Kendall testem pro období 1995–2022.

Na základě tohoto hodnocení a statistické analýzy dostupných dat bylo zjištěno, že **změny koncentrací látek v povrchové vodě nevykazují v tomto případě žádný statisticky významný vztah s plochou holých sečí v povodí**.



Obr. 12: Součinitel odtoku v povodí Pekelského potoka pro období 1995–2022.



Obr. 13: Vývoj koncentrace rozpuštěných látek ve vodě Pekelského potoka.

N: koncentrace $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$, S-SO₄: koncentrace S-SO_4^{2-} , B: suma koncentrací bazických iontů $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$, Al: koncentrace hliníku

3.3 Využití dřevin při obnově kalamitních ploch

Východiskem doporučení předkládaných v této metodice je optimální (vyvážené) využití dřevin se **souběhem funkcí dřevina základní cílová + základní přípravná a dřevina základní přípravná + meliorační a zpevňující, tj. MZD (viz Přílohy – tabulka A)** podle upravené přílohy č. 2 vyhlášky č. 298/2018 Sb. vymezující rámcově druhy dřevin vhodné v lesních porostech jednotlivých cílových hospodářských (pod)souborů (PCHS). **Ostatní dřeviny v seznamu přílohy vyhlášky lze využívat také; a to zejména tam, kde už existují jejich mladé porosty vzniklé přirozenou, umělou nebo kombinovanou obnovou.** Právě kombinovaný postup je vhodný a relativně bezpečný na rozsáhlých holinách (Dušek et al. 2022). Za obnovený můžeme považovat ten porost, na kterém roste něm alespoň 60 % minimálního počtu životaschopných jedinců (Přílohy – tabulka B). Kombinovaný postup umožňuje velmi výhodně využít existující či očekávanou přirozenou obnovu, případně dosázet další dřeviny, aby ve fázi zajištění měl juvenilní porost alespoň 80 % minimálního počtu jedinců pro obnovu nebo zalesnění (dle přílohy č. 4 vyhlášky č. 456/2021 Sb.). Na jednotlivých částech kalamitní plochy mohou být použity různé spony s hektarovými počty v rozsahu od **60 %** až k 130 % stanoveného minima, což je maximální výše finančního „příspěvku na umělou obnovu sadbou první“ – viz MZe 2022), a tím dosáhnout druhové diferenciace přípravného porostu. Na kalamitní holině, která svými rozměry překračuje přípustnou velikost holé seče podle lesního zákona a je obnovována pomocí dřevin základních přípravných, nemusí být dodrženo rovnoměrné rozmístění jedinců na ploše (vyhláška č. 456/2021 Sb.).

Při různých obnovních postupech a pro téměř všechny následné pěstební i jiné operace je vhodné již v rané fázi vývoje tyto porosty rozčlenit linkami o šířce 3–5 m na pracovní pole o šířce 20 m (vyhovuje i harvesterové technologii). Při obnově výsadbou nebo sítí je vhodné zakládat porosty mimo projektovanou síť linek, zatímco u porostů vzniklých náletem z mateřských stromů se základem sítě linek mohou stát valy těžebních zbytků po zetlení (Leugner et al. 2023). Při mimořádně velkoplošných rozpadech je obnova porostů obtížné zvládnutelná a z důvodu často nedostatečných kapacit materiálových i personálních ji nelze zvládnout v krátkém čase. Přesto můžeme tuto kalamitu považovat za příležitost ke změně ve způsobu hospodaření a přístupu k lesu (Martiník 2019).

Možnosti využití jednotlivých dřevin dle jejich funkčního zařazení

Pro jednotlivé dřeviny využitelné při obnově kalamitních holin jsou zpracovány možnosti jejich využití a následně popsány základní parametry pěstební péče o tyto porosty ve vazbě na budoucí funkci dřevin v následném porostu. Aby přípravný les plnil dobře svou funkci, je třeba v něm realizovat pěstební zásahy. Základním parametrem prosperity je délka zelené koruny. Udržování její délky tak, aby neklesala pod 50 % výšky stromu, je nezbytným požadavkem u listnatých dřevin. U modřínu od stadia tyčovin nemá být živá koruna kratší než 1/3 výšky stromu. **Pokud je porost dominantně přípravný,** doba jeho funkce nebude delší než 20 let. V polovině obmýtí je proředěn za účelem vnášení cílových dřevin pod clonu. Po dalším deceniu jsou tyto prosadby uvolněny silným zásahem nebo odstraněním clony.

V případě souběžné produkční funkce se zásahy orientují na vypěstování cílových stromů intenzívnějšími negativními zásahy v 10–15 letech a následně ve 20. roce; poté v 10–15letých intervalech jsou uvolňovány nadějně stromy od konkurentů. Z nich se rekrutuje ca 100 cílových

stromů na hektar. Přípravné dřeviny mohou splnit svou funkci zároveň s produkcí také tehdy, budou-li pěstovány jako součást budoucí směsi s dřevinami základními cílovými. Obmýtlí např. břízy nebude delší než 50 (60) let (více viz v metodice Leugner et al. 2023). Borovice, smrk, modřín a javory se při splnění kvalitativních parametrů stanou déle udržovanou součástí směsi až do doby myšlné zralosti obvyklé pro tyto dřeviny.

BOROVICE

Borovici lesní (BO) lze využít při souběhu funkcí základní cílové a přípravné na exponovaných stanovištích středních a vyšších poloh a také na části stanovišť ochranných lesů (Přílohy – tabulka A). Biomeliorační funkci v borových porostech má opadavá listnatá příměs (Kacálek et al. 2017). V případě výsadby činí minimální hektarové počty borovice lesní 8 tisíc jedinců (vyhláška č. 456/2021 Sb.). Na typických borových stanovištích (písčité půdy) můžeme úspěšně realizovat na holé seči i přirozenou obnovu. K zajištění náletu je třeba připravit povrch půdy naoráním nebo narušením diskovými branami. Na kalamitních plochách může záměrné narušení povrchu být suplováno mírným narušením povrchu půdy těžebně dopravní mechanizací. Zpravidla husté juvenilní porosty nevyžadují zvláštní péči. Výjimečně jsou realizovány prostřihávky v nárostech 4 až 5 let starých (při výšce do 1 m), zaměřené na eliminaci předrostlíků a obrostlíků. Diferencované přístupy výchovy borovice uvádí metodika Slodičák et al. (2013).

BŘÍZY

Břízy jsou v našich podmínkách jedněmi z nejvýznamnějších dřevin schopných odrůstat v podmínkách dočasně bezlesí a vytvořit přípravný les. **Souběh funkce základní přípravné a MZD (Přílohy – tabulka A) se u břízy bělokore (BR) předpokládá na stanovištích přirozených borů, nižších, středních, vyšších a horských poloh (včetně oglejených stanovišť). Na podmačených stanovištích vyšších až horských poloh ji doprovází (střídá) bříza pyřitá (BRP) a v přirozených vysokohorských smrčínách také bříza karpatská (BRC).** Při využívání bříz jako melioračních dřevin je třeba respektovat stanoviště a částečně odlišné ekologické nároky těchto dřevin (Kacálek et al. 2017). Nálet pionýrského porostu závisí na počtu mateřských stromů v okolí kalamitní holiny (Martiník 2019). Lehká semena břízy se šíří až 100 m od mateřského stromu, pro předpoklad úspěšného náletu je třeba počítat s mnohem kratším doletem (Martiník 2019). Výchova břízy má smysl, pokud porosty plní, kromě přípravné, také produkční funkci. Například, vysoká hustota jedinců 6 tisíc a 4,2 tisíc na hektar ve věku 17, respektive 21 let může vést k nevyužití produkčního potenciálu břízy i nejlepších bonit (Martiník 2019). Minimální výsadbový počet je 3 tisíce sazenic na hektar (Tabulka B), který lze významně snížit (na 1800 ks/ha) při kombinované obnově. Různé pěstební postupy při využití břízy v obnově zejména kalamitních holin jsou popsány v metodice Leugner et al. (2023).

JASAN

Jasan ztepilý (JS) může být souběžně přípravnou i meliorační složkou porostů na živných stanovištích středních poloh (Přílohy – tabulka A). Do publikace vyhlášky č. 289/2018 Sb. byl v příloze č. 4 předchozí vyhlášky č. 83/1996 Sb. uváděn i jako základní dřevina. Jeho současný potenciál je významně omezen nekrózou jasanu způsobovanou houbou *Hymenoscyphus pseudoalbidus* zavlečenou z Asie (Zahradník et al. 2014).

JAVORY

Od javoru mléče (JV) i javoru kleny (KL) můžeme očekávat souběh přípravné a MZD funkce na bohatých stanovištích středních a vyšších poloh. V ochranných lesích se tento souběh funkcí týká podsouborů mimořádně nepříznivých stanovišť 01h, 01i pro mléč a 01m, 01n, 01o pro klen (Přílohy – tabulka A). **Javory mají biomeliorační funkci na široké škále stanovišť od nížin do hor. Nejsou vhodné na přirozených borových stanovištích CHS 13.** Kromě schopnosti po dlouhou dobu snášet zástin v mládí jsou to také dřeviny s pionýrskou strategií šíření. Na opuštěných zemědělských půdách při okrajích lesních porostů se mohou živelně zmlazovat (Kacálek et al. 2017). Minimální výsadbový počet je 4 tisíce stromků na hektar (Přílohy – tabulka B). Martiník et al. (2021) vyzkoušeli skupinovou výsadbu kleny do mezer v 3–5 m vysokých porostech břízy. Javor klen ukázal stejnou mortalitu a kvalitu kmenů jak ve skupinové, tak v plošné výsadbě. Stejní autoři zdůraznili význam ochrany kleny proti škodám zvěří (Martiník et al. 2021). Nicméně, na rozsáhlých holinách se tuto ochranu nemusí podařit realizovat z ekonomických důvodů. Použití javorů tedy dává smysl jen na jim nejprůzlivějších stanovištích.

JEŘÁB PTAČÍ

Jeřáb (JR) nemá zvláštní nároky na půdní vlastnosti a vláhu. Snadno obsazuje různá stanoviště podobně jako bříza. Je dřevinou s dominantně biomeliorační funkcí na škále stanovišť od středních do horských poloh (Přílohy – tabulka A). Často roste na holých sečích (Zerbe, Meiwes 2000; Chládek, Novotný 2007; Špulák, Kacálek 2020), nicméně je po určité době schopen snášet i zástinění (Chládek, Novotný 2007; Van Nevel 2014; Hamberg et al. 2015; De Groote et al. 2018). **Souběhu funkcí základní přípravná a zároveň meliorační dřevina je u jeřábu ptačího možné využít od středních do horských poloh (Přílohy – tabulka A).** Vzhledem k řídkému charakteru zápoje porostů jeřábu je tlumení klimatických extrémů holin méně účinné; nicméně v opadu se vrací do koloběhu významná množství živin (Leugner et al. 2023). Tyto vyšší obsahy bazických živin v listech jsou významné pro jeho biomeliorační funkci. Vliv opadu jeřábu na půdu může být limitován celkovým nízkým množstvím biomasy listů a nízkým zastoupením v porostech (Podrázský, Ulbrichová 2001). Množství opadu významně navyšují plody (Carnol, Bazgir 2013). Podle vyhlášky č. 456/2021 Sb. činí základní minimální hektarový počet pro výsadbu jeřábů 3 tisíce jedinců na hektar (Tabulka B). Pokud jde o jeho zajištění v druhové skladbě, patří žel k velmi vyhledávaným zvěří při okusu (van Beeck Calkoen et al. 2022; Caduff et al. 2022). Často spásané jeřáby mají vysokou mortalitu a nekvalitní jedince (Kupka, Dimitrovský 2006).

MODŘÍN

Modřín opadavý (MD) je podle rámcového vymezení cílových hospodářských souborů (vyhláška č. 456/2021 Sb.) **doporučován především jako základní přípravná dřevina se souběhem funkce zpevňující (Přílohy – tabulka A) na široké škále stanovišť přirozených borů, přes nižší, střední, vyšší a horské polohy s půdou neovlivněnou vodou.** Jeho biomeliorační funkce není prioritou. Minimální výsadbový počet je 2 500 jedinců na hektar (Přílohy – tabulka B).

OLŠE

Olše lepkavá (OL) je dřevinou se souběhem funkce základní cílové a přípravné na části stanovišť CHS 29 – Olšová a jasanová stanoviště na podmáčených a lužních půdách (Přílohy – tabulka A). Souběh přípravné a meliorační funkce má v lužích nižších poloh a na škále vodou ovlivněných stanovišť od nižších do horských poloh; na části stanovišť ji alternuje olše šedá (OLS). Nálet ze semen lze očekávat do 50 m od mateřských stromů (Souček 2021). Minimální výsadbový počet je 4 tisíce sazenic na hektar (Přílohy – tabulka B). Zásadní je včasný první zásah, protože ztrácí rychle schopnost reagovat na uvolnění (Savill 2019). K významnému zvýšení tloušťkového přírůstu jsou nezbytné silné zásahy odstraňující až 30 % výčetní kruhové základny (Lendvai et al. 2020).

Prosperitu olše lepkavé negativně ovlivňuje jak kolísání hladiny podzemní vody (Tulík et al. 2020), tak také přemokření půdy (Dittert et al. 2006). Na stanovištích s hladinou vody alespoň 10 cm pod povrchem lze však již očekávat také produkční funkci olší, zároveň s tvorbou rašeliny. Na holinách na většině vodou ovlivněných stanovišť, na kterých došlo k významnému zvýšení hladiny podzemní vody, mohou být olše využity jako přípravné dřeviny biologicky snižující tuto hladinu. Odrůstající porosty olše tak vytvářejí vhodné podmínky, včetně provzdušnění větší části půdního horizontu, pro následnou obnovu dalších dřevin cílové druhové skladby. Nicméně, je-li hladina podzemní vody v řádu centimetrů pod povrchem terénu, samotná biologická desukční funkce olší nemusí stačit ke zformování dostatečně mocného, částečně provzdušněného svršku půdy. Potom již není produkční funkce lesa prioritou.

SMRK

Na kalamitních holinách vzniklých v důsledku „novodobého hynutí smrku“ (viz např. Martíník 2019) by tato dřevina již neměla být v žádném případě využívána k zakládání rozsáhlých monokultur. **Smrk (SM) lze využít při souběhu funkcí základní cílové a přípravné na stanovištích středních až vyšších poloh (Přílohy – tabulka A).** Smrk byl již dříve považován za dřevinu se schopností degradace lesního stanoviště. Nicméně vlastnosti nadložního humusu a také svrchní části půdy nezávisí pouze na přítomnosti dřeviny, ale jsou výsledkem součinnosti bioty a prostředí. Jeho pěstování v podmínkách 3. a 4. vegetačního stupně je v současnosti rizikové a v 1. až 2. vegetačním stupni není vhodný. Jinak na všech vyšších a horských stanovištích od 5. vegetačního stupně včetně bude i nadále důležitou součástí druhové skladby.

Mezi nejdůležitější vlastnosti smrku významné z hlediska porostní výchovy patří dobrá růstová reakce jedinců na uvolnění v průběhu téměř celé doby obmýtní. V nezapojených porostech si udržuje přímý vzrůst a souměrnou korunu. V uměle založených smrkových porostech má sklon k velmi rychlému růstu v mládí s kulminací tloušťkového přírůstu již ve věku 10–15 let a výškového přírůstu ve věku 20–30 let. V tomto období vyžaduje smrk dostatek růstového prostoru k vytvoření souměrného stabilního kmene a mohutného kořenového systému. Ke splnění tohoto cíle je potřebná co největší hmota asimilačních orgánů – vyvinutá koruna (Slodičák, Novák 2007). Dušek et al. (2020) upozorňuje na výhodu aplikace výchovných zásahů ve smrku v období vegetačního klidu během posledního čtvrtletí roku, vhodnějšího pro udržení dostupnosti vody v půdě a omezující aktivitu kůrovcovitých na pokácených jedincích smrku. Opožděné 1. výchovné zásahy po překročení h_0 10 m již nemohou mít pozitivní vliv na statickou stabilitu stromů (Dušek et al. 2020).

TOPOL BÍLÝ, ŠEDÝ A ČERNÝ

Jejich užití je opodstatněné na stanovištích lužních lesů. S výjimkou PCHS 19c mají jak topol bílý (TP), tak topol černý (TPC) souběžné funkce jako dřevina základní cílová, přípravná a také meliorační a zpevňující (Přílohy – tabulka A). Topol šedý (TPS) souběh funkcí uveden nemá; je základní cílovou dřevinou PCHS 19a. Přesto se o něm zmiňujeme, protože má potenciál náhrady chradnoucího jasanu ztepilého (Čížková et al. 2018).

TOPOL OSIKA

Osika (OS) je produkčně zdatnou dřevinou. Souběhu základní přípravné funkce s funkcí meliorační lze využít v široké škále podmínek od stanovišť přirozených borů, v nižších, středních, vyšších i horských polohách i v mnoha podsouborech ochranných lesů (Přílohy – tabulka A). Mladé porosty osiky mohou vznikat z kořenových výmladků starších stromů (Worell 1995) nebo náletem ze semen. Přitom úspěšný vznik pionýrského porostu závisí na dostatečném počtu mateřských stromů v okolí kalamitní holiny (Martiník 2019). Dolet semen činí až několik set metrů, nicméně semena osiky si udržují klíčivost velmi krátce (Martiník 2019). Minimální výsadbový počet je 3 tisíce sazenic na hektar (tabulka B). Výchova osiky má smysl, pokud porosty plní kromě přípravné také produkční funkci. Například vysoká hustota jedinců přes 5 tisíc až téměř 8 tisíc na hektar ve věku 17, respektive 21 let může vést k nevyužití produkčního potenciálu osiky i nejlepších bonit (Martiník 2019). O zakládání a výchově porostů osiky píše více Čížková et al. (2020).

VRBY

Souběh základní cílové a přípravné funkce mají vrba šedá (VRE) a vrba nachová (VRN) v jediném podsouboru ochranných lesů 01t; oba druhy jsou zároveň akceptovány jako poskytující meliorační a zpevňující funkce. Vrba bílá (VR) je uplatnitelná se souběhem přípravné a meliorační funkce v měkkém luhu podsouboru 19b (Přílohy – tabulka A). Biomelioračně významnou je také vrba jíva (JIV), která nicméně v příloze č. 2 vyhlášky 298/2018 nemá souběh funkcí. Zmíněna je jako vhodná MZD pouze na PCHS mimořádně nepříznivých stanovišť PCHS 01u, v (SLT 6L, 7L). Martiník, Souček (2022) zmiňují kromě půdoochranné funkce také její potenciál pro biodiverzitu a estetiku lesa. Pro přípravný porost je vhodná vzhledem k svému rychlému růstu v mládí; po 10.–15. roce ji ostatní dřeviny předrůstají. Má bohatou výmladnost, se kterou je třeba počítat při uvolňování cílových dřevin. Výška výmladků může již v prvním roce dosahovat 2–4 m (Martiník, Souček 2022).

4 ZÁVĚR

Na kalamitních plochách se v porovnání s lesními porosty dramaticky, skokově mění světelné poměry. Přímé vystavení povrchu půdy slunečnímu záření má vliv na teplotu a vlhkost vzduchu v přízemní vrstvě, zároveň dochází ke kolísání teploty a vlhkosti půdy, především pak nadložní organické vrstvy, případně i svrchní minerální půdy. Změna teplotních a světelných poměrů na kalamitních plochách může za určitých podmínek zrychlit rozklad organické hmoty (mineralizaci), čímž může dojít ke ztrátě schopnosti půdy účinně zadržovat vodu, dále i ke změně v koncentraci prvků v půdním roztoku a může také docházet k jejich ztrátám vyplavováním do hlubších půdních vrstev.

Provedené šetření a experimenty na kalamitních plochách při řešení projektu QK22020217 ukázaly, že na těchto plochách se výrazněji mění teplota vzduchu i půdy a dochází k mírným změnám v kvalitě organické hmoty. Změny v chemismu lesní půdy však nejsou tak výrazné a neprobíhají skokově. Navíc se ukazuje dočasnost těchto pro půdu a lesní ekosystém negativních až rizikových procesů. Již při nárůstu bylinného patra následovaného přirozeným zmlazením pionýrských druhů dřevin je povrch půdy postupně zakrýván a teplotní a vlhkostní výkyvy se snižují. Při aktivním managementu kalamitních ploch – podle cílů a možností vlastníka lesa to znamená různý poměr využívání přirozené a umělé obnovy – tak dochází k postupnému omezení až vyloučení negativních procesů ve vztahu ke stavu lesní půdy.

V souvislosti s probíhající klimatickou změnou je více sledována také uhlíková bilance. Odlesněné plochy vystavené intenzivnímu oslunění a zahřívání se v důsledku zvýšené mikrobiální činnosti (respiraci půdní bioty) stávají zdrojem oxidu uhličitého (CO_2). Bilance se na těchto plochách mění z úložiště uhlíku na jeho zdroj (nejčastěji ve formě CO_2). Přestože je tato změna dočasná a trvá řádově pouze jednotky až nízké desítky let (Šrámek a kol. 2024), **je důležité pomoci aktivního managementu** tuto dobu pokud možno zkrátit a **umožnit lesu postupný návrat k plnění všech jeho funkcí, včetně jeho schopnosti odebírat z atmosféry oxid uhličitý.**

Podle informací dostupných v odborné literatuře je v nadložním humusu poutáno více uhlíku zpravidla v jehličnatých porostech, naopak v minerální půdě je zpravidla více uhlíku poutáno v porostech listnatých. Pokud jde o hodnocení celkové zásoby uhlíku poutaného v lesní půdě v celém půdním profilu v porostech jehličnatých, listnatých a smíšených, nejsou literární zdroje ve shodě. Vždy totiž záleží na podloží, typu a hloubce půdy, podílu skeletu i na dalších půdních a stanovištních poměrech. Roli hraje také konkrétní druh dřeviny, a to jak u jednodruhových porostů, tak i u směsí (Šrámek a kol. 2024). Problematiku poutání uhlíku v lesní půdě a v biomase dřevin proto nelze úplně zjednodušovat. V každém případě lze říci, že **s měnícím se klimatem se jeví jako důležitější zaměřit se na pěstování stabilních, vitálních a odolných smíšených porostů, optimálně více etážových s důrazem na plnění širokého spektra funkcí a užitků, které les poskytuje.** Odolnost porostů k výkyvům počasí, bořivým větrům, častějším přísuškům nebo déletrvajícimu suchu může být důležitějším faktorem při rozhodování o volbě dřevin, formě smíšení a hospodářských postupech než to, kolik uhlíku bude les poutat. Jak již bylo v textu uvedeno, vědecké poznatky ukazují, že aktivní management cílený na podporu

kvality lesní půdy i kvalitu pěstovaných porostů přispívá k sekvestraci uhlíku více než ponechání (hospodářských) lesů samovolnému vývoji.

Metodika proto přináší také výčet lesních dřevin vhodných k tvorbě smíšených porostů, které mají podle přílohy č. 2 vyhlášky č. 298/2018 Sb. identifikovatelný souběh funkcí **dřevina základní cílová + základní přípravná a dřevina základní přípravná + meliorační a zpevňující, tj. MZD (Přílohy – tabulka A)**. Užití ostatních dřevin ve výčtu přílohy č. 2 zůstává beze změny.

Pro ochranu lesní půdy a pro postupnou obnovu porostů a obnovu plnění všech funkcí lesa (produkčních i mimoprodukčních) lze proto jednoznačně doporučit aktivní management kalamitních ploch. Aktivní přístup má totiž celou řadu kladných efektů a měl by být preferován před celoplošnou přípravou půdy a před přímým zalesněním cílovými dřevinami s následnou nákladnou péčí na ochranu zalesněných ploch před buřením a dalšími negativními vlivy. Zároveň by aktivní management měl být preferován také před úplným ponecháním kalamitních ploch samovolnému vývoji, pokud to umožňují vlastnosti stanoviště a možnosti vlastníka lesa.

Úspěšná obnova kalamitních ploch velmi úzce souvisí také s přístupem ke spárkaté zvěři. Porosty na velkoplošných holinách jsou totiž ve vysoké míře vyhledávány spárkatou zvěří, a to jako úkryt i jako potravní příležitost. Mezi zásadní opatření pro úspěšnou obnovu a zachování vzniklých pestrých porostních směsí proto patří snížení početních stavů spárkaté zvěře a jejich udržení na přijatelné úrovni. **Spárkatá zvěř do lesa zcela přirozeně patří, je však nezbytné její stavy regulovat způsobem, který umožní obnovu a výchovu lesa bez vysokých nákladů na ochranu nárostů a kultur.**

5 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Šetření a výzkumy realizované na kalamitních plochách patří stále k těm méně frekventovaným. Zejména to platí o výzkumech zaměřených komplexněji na praktické otázky ve vztahu k nakládání s kalamitními plochami – těžební zbytky, ochrana organické hmoty, fixace uhlíku v biomase a zejména v lesní půdě, osud rizikových prvků, výběr vhodných postupů kombinujících efektivně různé přístupy k obnově porostů atd.

Tato metodika se kromě hodnocení půdních vlastností – chemismu půdy, kvality organické hmoty, rychlosti rozkladu organické hmoty nebo koloběhu rizikových prvků – zaměřuje také na poskytnutí souhrnných informací o souběhu funkcí dřevina základní cílová + základní přípravná a dřevina základní přípravná + dřevina meliorační a zpevňující (viz Přílohy – tabulka A vzadu) podle upravené přílohy č. 2 vyhlášky č. 298/2018 Sb. vymezující rámcově druhové složení lesních porostů pro jednotlivé cílové hospodářské (pod)soubory (PCHS).

6 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika shrnuje získané poznatky z kalamitních holin. Zabývá se vlivem změny světelných a teplotních poměrů na půdní chemismus a na organickou hmotu. Hodnocen je také vliv odlesnění na chemismus povrchové vody v malých lesních povodích a na rizika spojená s možným uvolňováním rizikových prvků z organické hmoty do povrchové a půdní vody a do koloběhu v ekosystému lesa. Tyto výsledky jsou doplněny o souhrnné informace o plánování a realizaci pěstební péče o porosty, které jsou na kalamitních plochách schopné fungovat jako přípravné, a to diferencovaně podle vhodných dřevin se souběhem funkcí.

Metodika je určena pro lesní hospodáře, projekční kanceláře, vlastníky a správce lesů, organizace státní správy lesů a ochrany přírody, lesnické školy a univerzity a lesnický výzkum. Pro všechny zájemce je dostupná i v elektronické podobě na webových stránkách vydavatele (www.vulhm.cz).

7 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Podle údajů FAO (2020) je v lesních ekosystémech poutáno ca 660 Gt uhlíku, z toho přibližně 45 % je uloženo v půdní organické hmotě. Pro Evropu je tento podíl odhadován dokonce na 58 %. V České republice je odhad množství uhlíku podle NIL2 v lesních porostech ca 312 Mt. Odhaduje se, že v půdě se nachází 1/2 až 2/3 celkového množství uhlíku poutaného v lesním ekosystému. Na území ČR bychom pak mohli odhadnout, že v lesích (biomasa + půda) je poutáno 620–930 Mt uhlíku. Péče o lesní půdu a lesní porosty ve smyslu udržení, popř. i zlepšení schopnosti poutat uhlík je proto velice aktuálním tématem.

Aktivní management kalamitních ploch – ve smyslu stanovištně vhodného využívání synergických efektů kombinace přirozené a umělé obnovy vytěžených ploch – lze proto označit za velmi efektivní a účinný postup při obnovení plnění všech funkcí lesa. Vlastníci a správci lesa mohou vhodnou kombinací popsanych postupů významně snížit náklady na obnovu i ochranu lesa při současném zvýšení příjmů z produkce kvalitní dřevní hmoty. A to i u porostů přípravných dřevin.

Péče o přípravné porosty pomáhá udržet a meliorovat lesní prostředí a vytvořit žádoucí druhový mix usnadňující budoucí věkovou diverzifikaci lesních porostů. Prořezávky a probírky jsou také prevencí předčasněho rozpadu porostů a umožňují získat hodnotnější sortimenty jak z porostů cílově hospodářských, tak i přípravných.

Pro dosažení skutečně výrazné úspory finančních a technických prostředků při obnově kalamitních ploch je zcela nezbytný také aktivní management spárkaté zvěře. Náklady na ochranu kultur i nárůstů před škodami zvěří totiž představují hlavní část nákladů a často přímo limitují úspěšnost obnovy a její ekonomický smysl.

8 DEDIKACE VÝZKUMNÝM PROJEKTŮM

Metodika vznikla díky podpoře projektu NAZV QK22020217 “Změny v lesních půdách po kalamitní těžbě – vliv odlesnění na sekvestraci uhlíku, bilanci živin a mobilitu rizikových prvků,, a institucionální podpory MZE-RO0123. Osvědčení číslo MZE-89608/2024-16222/M294 ze dne 20. 12. 2024

9 LITERATURA

- Borůvka, L., V. Šrámek, J. Čechmánková, M. Sážka, P. Čupr, O. Drábek, V. Fadrhonsová, J. Hofman, V. Horváthová, J. Houška, V. Penízek, P. Rotter, M. Sážka, J. Skála, A. Slavíková Amemori, R. Novotný, L. Šindelářová, M. Šudoma, V. Tejnecký, R. Vácha, L. Jurkovská 2015. Mapy odhadu obsahu potenciálně rizikových prvků v lesních půdách České republiky. Specializovaná mapa s odborným obsahem. Osvědčení MZe č. 29462/2015-MZE-16222/MAPA623.
- Caduff M.E., Brožová N., Kupferschmid A.D., Krumm F., Bebi P. 2022. How large-scale bark beetle infestations influence the protective effects of forest stands against avalanches: A case study in the Swiss Alps. *Forest Ecology and Management*, 514: 120201. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120201>
- Carnol M., Bazgir M. 2013. Nutrient return to the forest floor through litter and throughfall under 7 forest species after conversion from Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 309: 66–75.
- Čížková L., Barnet P., Máchová P. 2018. Využití topolu šedého jako náhrady jasanu a olše při obnově zejména lužních lesů. *Strnady, VÚLHM*: 27 s. Lesnický průvodce 3/2018.
- Čížková L., Cvrčková H., Máchová P. 2020. Možnosti využití domácích druhů rodu *Populus* v lesnické praxi. *Strnady, VÚLHM*: 33 s. Lesnický průvodce 2/2020.
- De Groote S.R.E., Vanhellemont M., Baeten L., De Schrijver A., Martel A., Bonte D., Lens L., Verheyen K. 2018. Tree species diversity indirectly affects nutrient cycling through the shrub layer and its high-quality litter. *Plant and Soil*, 427: 335–350.
- Dittert K., Wötzel J., Sattelmacher B. 2006. Responses of *alnus glutinosa* to anaerobic conditions – mechanisms and rate of oxygen flux into the roots. *Plant Biol.*, 8: 1–12.
- Dušek D., Leugner J., Novák J., Slodičák M., Černošous V., Kacálek D. 2020. Pěstební postupy v lesích ohrožených suchem na stanovištích s převahou nepůvodních smrkových porostů. 29 s. *Lesnický průvodce* 5/2020: 29 s.
- Dušek D., Leugner J., Souček J., Novák J., Kacálek D. 2022. Využití přípravných dřevin ve směsích a zásady pro první výchovné zásahy v těchto porostech. *Strnady, VÚLHM*: 34 s. *Lesnický průvodce* 11/2022.
- Evaristo, J., McDonnell, J.J. 2019. Global analysis of streamflow response to forest management. *Nature*, 570: 455–461. (Retracted article)FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020. Main report. Roma, FAO: 164 s. DOI: [org/10.4060/ca9825en](https://doi.org/10.4060/ca9825en)
- Hamberg L., Lehvävirta S., Kotze D.J., Heikkinen J. 2015. Tree species composition affects the abundance of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) in urban forests in Finland. *Journal of Environmental Management*, 151: 369–377.
- Chládek J., Novotný P. 2007. Srovnání potenciálu různých druhů přípravných dřevin pro využití v podmínkách imisní oblasti Orlických hor. *Zprávy lesnického výzkumu*, 52: 226–233.

- Kacálek D., Mauer O., Podrázský V., Slodičák M. a kol. 2017. Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti v nakladatelství Lesnická práce: 300 s.
- Kupka I., Dimitrovský K. 2006. Silvicultural assessment of reforestation under specific spoil bank conditions. *Journal of Forest Science*, 52: 410–416.
- Lendvai S., Diaci J., Roženberger D. 2020. Response of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) to selective thinning of various intensities: a half-century study in northeastern Slovenia. *Šumarski list*, 7–8: 367–378.
- Leugner J., Souček J., Špulák O., Martiník A. 2023. Obnova kalamitních holin přes přípravný les. Strnady, VÚLHM: 35 s. Lesnický průvodce 13/2023.
- Martiník A. 2019. Uplatnění břízy (*Betula pendula* Roth) a osiky (*Populus tremula* L.) při obnově a tvorbě lesa po disturbancích. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 136 s.
- Martiník A., Sendecký M., Březina D. 2021. První poznatky ze skupinové obnovy javoru klenu (*Acer pseudoplatanus* L.) v oblasti rozpadu nepůvodních jehličnatých porostů. *Zprávy lesnického výzkumu*, 66, 1: 28–35.
- Martiník A., Souček J. 2022. Vliv stanoviště na růst a produkci vybraných druhů pionýrských dřevin – review. *Zprávy lesnického výzkumu*, 67, 3: 155–163.
- MZe 2022. Finanční příspěvky na hospodaření v lesích (podmínky platné od 1. 1. 2022).
- Novák J., Dušek D., Kacálek D., Slodičák M., Souček J. 2017. Pěstební postupy pro březové porosty 1. a 2. lesního vegetačního stupně. Strnady, VÚLHM: 28 s. Lesnický průvodce 13/2017.
- Novák J., Dušek D., Slodičák M. 2013. Výchova porostů borovice lesní a poškození sněhem. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58: 147–157.
- Podrázský V., Ulbrichová I. 2001. Význam jeřábu ptačího jako meliorační dřeviny [Importance of rowan tree as an ameliorative tree species]. In: Slodičák M., Novák J. (eds): Actual problems of silviculture in mountain forests. 3rd Czech-Slovak scientific symposium, Opocno, September 13–14, 2001: 25–30.
- Savill P.S. 2019. The silviculture of trees used in British forestry. Boston, CABI: 400 s.
- Slodičák M., Novák J. 2007. Výchova lesních porostů hlavních hospodářských dřevin. Strnady, VÚLHM: 46 s. Lesnický průvodce 4/2007.
- Slodičák M., Novák J. 2008. Výchova porostů náhradních dřevin. Strnady, VÚLHM: 28 s. Lesnický průvodce 3/2008.
- Slodičák M., Novák J., Dušek D. 2013. Výchova porostů borovice lesní. Strnady, VÚLHM: 23 s. Lesnický průvodce 5/2013.
- Souček J. 2021. Potenciál přirozené obnovy pionýrských druhů dřevin – review. *Zprávy lesnického výzkumu*, 66, 3: 188–196.
- Souček J., Špulák O., Leugner J., Pulkrab K., Sloup R., Jurásek A., Martiník A. 2016. Dvoufázová obnova lesa na kalamitních holinách s využitím přípravných dřevin. Strnady, VÚLHM: 35 s. Lesnický průvodce 10/2016.

- Špulák O., Kacálek D. 2020. Spontaneous development of early successional vegetation improves Norway spruce forest soil after clear-cutting and renewal failure: a case study at a sandy-soil site. *Journal of Forest Science*, 66: 36–47.
- van Beeck Calkoen S.T.S., Deis M.H., Oeser J., Kuijper D.P.J., Heurich M. 2022. Humans rather than Eurasian lynx (*Lynx lynx*) shape ungulate browsing patterns in a temperate forest. *Ecosphere*, 13: e3931. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3931>
- van Nevel L., Mertens J., De Schrijver A., De Neve S., Verheyen K. 2014. Can shrub species with higher litter quality mitigate soil acidification in pine and oak forests on poor sandy soils? *Forest Ecology and Management*, 330: 38–45.
- Vyhláška č. 298/2018 Sb., o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-298> (in Czech)
- Vyhláška č. 456/2021 Sb., o podrobnostech přenosu reprodukčního materiálu lesních dřevin, o evidenci o původu reprodukčního materiálu a podrobnostech o obnově lesních porostů a o zalesňování pozemků prohlášených za pozemky určené k plnění funkcí lesa. at: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-456>
- Vyhláška č. 153/2016 Sb. Ministerstva životního prostředí České republiky ze dne 9. května 2016 o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu.
- Worell R. 1995. European aspen (*Populus tremula* L): a review with particular reference to Scotland II. Values, silviculture and utilization. *Forestry*, 68, 3: 231–243.
- Zahradník P. et al. 2014. Metodická příručka integrované ochrany rostlin pro lesní porosty. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce : 376 s.
- Zerbe St., Meiwes K.J. 2000. Zum Einfluss von Weichlaubhölzern auf Vegetation und Auflagehumus von Fichtenforsten – Untersuchungen in einem zwei Jahrzehnte alten Birken-Ebereschen-Vorwald im Hoch-Solling. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 119: 1–19.

10 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- Burešová A., Tejnecký V., Kopecký J., Drábek O., Madrova P., Řeřichová N., Omelka M., Křížová P., Němeček K., Parr T.B., Ohno T., Sagova-Marečková M. (2021): Litter chemical quality and bacterial community structure influenced decomposition in acidic forest soil. *European Journal of Soil Biology* 103: 103271.
- Nozari S., Pahlavan-Rad MR., Brungard C., Heung B., Borůvka L. (2024): Digital soil mapping using machine learning-based methods to predict soil organic carbon in two different districts in the Czech Republic. *Soil and Water Research* 19(1): 32–49. doi: 10.17221/119/2023-SWR.
- Nozari, S., Borůvka, L. (2023): The effects of slope and altitude on soil organic carbon and clay content in different land-uses: A case study in the Czech Republic. *Soil and Water Research* 18(3): 204–218.
- Oppong Sarkodie V.Y., Vašát R., Němeček K., Šrámek V., Fadrhonsová V., Neudertová Hellebrandová K., Borůvka L., Pavlů L. (2024): Spatial distribution of forest soil base elements (Ca, Mg and K): a regression kriging prediction for Czechia. *Forests* 15: 1123. <https://doi.org/10.3390/f15071123>
- Oppong Sarkodie V.Y., Vašát R., Pouladi N., Šrámek V., Sánka M., Fadrhonsová V., Neudertová-Hellebrandová K., Borůvka L. (2023): Predicting soil organic carbon stocks in different layers of forest soils in the Czech Republic. *Geoderma Regional* 34: e00658.
- Šrámek V., Fadrhonsová V., Neudertová-Hellebrandová K., Cienciala E., Borůvka L. (2024): Zásoby uhlíku v lesních půdách a lesní hospodářství – review. *Zprávy lesnického výzkumu* 69 (1): 22–36.
- Thai S., Pavlů L., Tejnecký V., Chovancová S., Hin L., Thet B., Němeček K., Drábek O. (2023): Temporal changes in soil chemical compositions in acidified mountain forest soils of Czech Republic. *European Journal of Forest Research* 142(4): 883–897.

RECOMMENDED MANAGEMENT PRACTICES FOR SUPPORTING CARBON SEQUESTRATION, ENSURING SURFACE WATER QUALITY, AND IMMOBILIZING RISK ELEMENTS

Summary

The presented methodology aims to summarize findings from extensively studied post-calamity clearcuts, particularly in relation to soil chemistry, the state of soil organic matter, the release of risk elements, the forest's ability to sequester carbon, and the potential use of preparatory tree species for restoring disturbed sites. The main objectives include:

- Recommending measures to minimize the risk of organic matter loss in calamity-affected areas.
- Describing appropriate procedures for stand restoration and the reinstatement of all forest functions.
- Simplifying the planning of functionally effective species composition for new forest stands on large-scale calamity clearings to preserve the forest soil environment.

In post-calamity clear-cuts, light conditions change dramatically and abruptly compared to forest stands. Direct exposure of the soil surface to sunlight affects the temperature and humidity of the near-ground air layer while also causing fluctuations in soil temperature and moisture, particularly in the organic surface layer and, in some cases, the upper mineral soil. Under certain conditions, changes in temperature and light conditions in these areas can accelerate the decomposition of organic matter (mineralization), which may lead to a loss of the soil's ability to effectively retain water, changes in the concentration of elements in the soil solution, and their leaching into deeper soil layers.

Investigations and experiments conducted on clear-cuts have shown that these sites experience significant changes in air and soil temperature, along with slight alterations in the quality of organic matter. However, changes in forest soil chemistry are not as pronounced and do not occur abruptly. Moreover, these processes, which may be considered negative or even risky for the soil and forest ecosystem, appear to be temporary.

As the herbaceous layer develops, followed by the natural regeneration of pioneer tree species, the soil surface gradually becomes covered, reducing temperature and moisture fluctuations. Through active management of calamity-affected areas—balancing natural and artificial regeneration according to the forest owner's goals and capabilities—negative processes affecting forest soil conditions can be gradually mitigated or even eliminated.

In the context of ongoing climate change, carbon balance is being increasingly monitored. Deforested areas exposed to intense sunlight and warming become sources of carbon dioxide (CO₂) due to increased microbial activity (soil biota respiration). The balance in these areas shifts from a carbon sink to a carbon source, most commonly in the form of CO₂.

Although this change is temporary, lasting only a few to several decades (Šrámek et al. 2024), it is crucial to shorten this period as much as possible through active management. This will

enable the forest to gradually resume all its functions, including its ability to absorb carbon dioxide from the atmosphere.

According to information available in the scientific literature, more carbon is generally sequestered in the organic humus layer in coniferous stands, whereas in mineral soil, more carbon is typically stored in deciduous stands. However, when assessing the total carbon stock sequestered in forest soil across the entire soil profile in coniferous, deciduous, and mixed stands, literature sources do not provide a consistent conclusion. This is because carbon storage depends on factors such as the underlying bedrock, soil type and depth, skeletal content, and other soil and site conditions. The specific tree species also play a role, both in monocultures and mixed stands (Šrámek et al. 2024).

Nonetheless, scientific findings indicate that active management aimed at improving forest soil quality and the quality of cultivated stands contributes more to carbon sequestration than allowing managed (commercial) forests to develop naturally without intervention.

A preparatory forest means a stage of forest regeneration when pioneering tree species are used. Its importance has been adopted by forestry practitioners facing to an increasing area of the salvage clear-cutting in the Czech Republic. The new stands are supposed to alleviate the impact of climatic extremes as they provide a shelter for underplanted seedlings, a weed control (thus reducing a mice habitat) and a litter-fall nutrient return to the topsoil. Following a bark-beetle outbreak, both researchers and foresters recommend a combined renewal; either planted or naturally seeded new stands. When regenerated, the juvenile forest should be divided into working blocks with skidding tracks 3–5 m wide, located 20 m apart (suitable also for harvesters).

The objective of this silvicultural part of the guide is to simplify the planning of a tree species composition within large calamity clearings to restore forest soil cover. The basis of such approach is a use of tree species capable of providing both (1) crop and/or preparatory functions and (2) preparatory and/or soil-improving, stand-stabilizing functions. These are presented in Table A; the others listed in the decree (no. 298/2018 Coll.) can also be used, particularly if these are already present in juvenile stands. What is the principal function of the preparatory stand?

Its rotation is shorter than 20 years. Silvicultural interventions consist in thinning, which maintains long live crowns. In the half of the rotation, the heavy thinning allows underplanting of desirable crop species. In the 20th year, the underplantings are released. If the stands are supposed to be also productive ones, silvicultural prescriptions aim to growing crop trees via heavy negative interventions in 10th to 15th years and in 20th year. Later, promising trees are released from competitors in 10–15-year periods.

The multifunctional trees suitable for the renewal of the calamity-clearing are:

Scots pine – it can be both a crop and a preparatory tree on less-favorable sites of the middle-to-higher altitudes; soil-improving trees should accompany pines there.

Birches – The most important trees capable of thriving within large clearcuts; these are *Betula pendula* and *Betula pubescens*. The former is expected to be both a crop (then should be thinned) and a pioneer species on sites where Scots pine is native and can also grow on a range of sites from lowlands to higher and mountain altitudes including gleyic soils. The latter alternates it on waterlogged mountain sites.

European ash – it is capable of functioning as both a pioneer and soil improver. The ash was also a crop tree formerly; this function has been limited due to the ash dieback in the recent years.

Maples – there are two species such as *Acer platanoides* and *Acer pseudoplatanus*, which can thrive on a range of nutrient-rich sites from middle to higher altitudes. Both are the soil improvers excepting sandy sites where Scots pine is native. They are desirable species only in the best growing conditions; then the trees of good quality can be also the crop grown over long rotations.

European rowan – it can be both a soil improver and a pioneer on middle-to-mountain sites. Its maintenance in the young stands is limited by a hoofed-game browsing.

European larch – it is a preparatory species dominantly. Besides that, it can also be a stand stabilizer on a range of sites of lower-to-mountain altitudes with no waterlogging.

Alders – there are two species such as *Alnus glutinosa* and *Alnus incana*. The former is both a crop tree and a pioneer on floodplain sites; it is also combining preparatory and soil-improving functions at water-logged sites from lower altitudes to mountains. The latter can alternate *A. glutinosa* at higher elevations. To get a desirable density of crop trees, alders need to be thinned early and heavily (Lendvai et al. 2020 recommend 30% of basal area removed).

Norway spruce – large temporarily deforested areas originated in the clearcutting of large monospecific stands of this tree. Therefore, such forest is no longer a desirable goal. However, the spruce is allowed as both crop and preparatory tree at middle-to-higher altitudes. Thinning should be heavy and early to keep long live crowns; if mean height of dominant spruces exceeds 10 m, the positive response to such delayed thinning cannot be expected (Dušek et al. 2020).

Poplars – floodplain-site poplars are *Populus alba* and *Populus nigra*. Both can provide crop, preparatory and soil-improving functions. *Populus canescens* can be only a crop tree; it has, however, a potential to substitute the declining European ash (see Čížková et al. 2018). To grow the preparatory stands with soil-improving impacts, another poplar (*Populus tremula*) is important. This tree is suitable for growing in a wide range of conditions from lower altitudes to mountains. To get desirable crop trees of aspen, the thinning is needed.

Willows – there are two willows such as *Salix cinerea* and *Salix purpurea* that can provide crop, cover, and improve soils at one site of protective forests. *Salix alba* can be a soil-improving pioneer at the floodplains. Another willow, *Salix caprea* is a very good preparatory soil improver though it is not listed among the multifunctional ones.

11 PŘÍLOHY

Tab. A: Rozdělení některých stanovištně vhodných dřevin určených přílohou č. 2 vyhlášky č. 298/2018 Sb. s možností využití souběhu funkce základní cílové a základní přípravné dřeviny a také základní přípravné a meliorační a zpevňující (MZD) dřeviny pro zakládání přípravných porostů; v závorkách za zkratkou dřeviny je uvedeno rozmezí finančně podporovaných hektarových počtů (60–130 %)* v tis. kusech na 1 hektar. Údaje jsou platné pro rok vydání metodiky, a proto je nutné sledovat případné pozdější aktualizace podmínek pro finanční podpory v lesním hospodářství.

PCHS	Souběh základní cílové s přípravnou	Souběh základní přípravné s MZD
13a, d	-----	BR, OS (1,8-3,9), MD (1,5-3,3)
13b, c	-----	BR, OS (1,8-3,9)
19a	TP (3,3-5,0), TPC (2,5-3,3)**	OL (2,4-5,2), TP (3,3-5,0), TPC (2,5-3,3)**
19b	TP (3,3-5,0), TPC (2,5-3,3)**	OL (2,4-5,2), TP (3,3-5,0), TPC (2,5-3,3)** , VR (0,5-1 pouze řízky)
19c	-----	OL (2,4-5,2)
21a, b	-----	BR, OS (1,8-3,9), MD (1,5-3,3)
21c, d	-----	MD (1,5-3,3), OS (1,8-3,9)
23a, b	-----	BR, OS (1,8-3,9), MD (1,5-3,3)
25a	-----	OS (1,8-3,9)
25b, c, d	-----	MD (1,5-3,3), OS (1,8-3,9)
27a, b, c	-----	BR (1,8-3,9), OL, OLS (2,4-5,2)
29a	OL (2,4-5,2)	OL (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
29b, c	OL (2,4-5,2)	BR (1,8-3,9), OL (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
29d, f, h	OL (2,4-5,2)	OL (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
29e	-----	OLS (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
29g	-----	OL (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
39a, b, c	-----	OL, OLS (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
41a, b	BO (4,8-10,4), SM (1,8-3,9)	BR, JR, OS (1,8-3,9), MD (1,5-3,3)
41c, d	SM (1,8-3,9)	BR, JR, OS (1,8-3,9), MD (1,5-3,3)
41e, f	BO (4,8-10,4)	MD (1,5-3,3), JR, OS (1,8-3,9)
41g	SM (1,8-3,9)	MD (1,5-3,3), JR, OS (1,8-3,9)
41h	-----	MD (1,5-3,3), JR, OS (1,8-3,9)
41i	-----	OS (1,8-3,9)
43a, b, c	BO (4,8-10,4), SM (1,8-3,9)	BR, JR, OS (1,8-3,9), MD (1,5-3,3)

Tab. A: Pokračování

43d	BO (4,8-10,4), SM (1,8-3,9)	BR (1,8-3,9), JR, OS (1,8-3,9)
45a, b	SM (1,8-3,9)	BR, JR, OS (1,8-3,9), JV, KL (2,4-5,2), JS (3,6-7,8), MD (1,5-3,3), OS (1,8-3,9)
45c	-----	MD (1,5-3,3), OS (1,8-3,9)
47a, b	SM (1,8-3,9)	BR, JR, OS (1,8-3,9), OL, OLS (2,4-5,2)
51a, b, c	BO (4,8-10,4), SM (1,8-3,9)	JR, OS (1,8-3,9)
51d, e, f	SM (1,8-3,9)	JR, OS (1,8-3,9), MD (1,5-3,3),
51g	-----	JR, OS (1,8-3,9), OLS (2,4-5,2)
53a, b, c	SM (1,8-3,9)	BR, JR, OS (1,8-3,9), MD (1,5-3,3)
55a, b, c	SM (1,8-3,9)	JV, KL (2,4-5,2), JS (3,6-7,8), MD (1,5-3,3), JR, OS (1,8-3,9)
57a, b, c, d, e	SM (1,8-3,9)	BR, JR, OS (1,8-3,9), OL, OLS (2,4-5,2)
59a	SM (1,8-3,9)	OL (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
59b	SM (1,8-3,9)	OL, OLS (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
59c, d, e	SM (1,8-3,9)	BR, BRP, JR, OS (1,8-3,9), OL, OLS (2,4-5,2)
71, 73, 75	-----	BR, JR, OS (1,8-3,9), MD (1,5-3,3)
77	-----	BR, BRP, JR, OS (1,8-3,9), OLS (2,4-5,2)
79a, b, c	-----	BR, BRP (1,8-3,9)
01a	BO (4,8-10,4)	OS (1,8-3,9)
01b, c, d, e, f	BO (4,8-10,4)	BR, OS (1,8-3,9)
01g	-----	OS (1,8-3,9)
01h, i	-----	JV, OS (1,8-3,9)
01j	-----	BR (1,8-3,9), OS (1,8-3,9)
01k	-----	OS (1,8-3,9)
01l	BO (4,8-10,4)	BR (1,8-3,9), OS (1,8-3,9)
01m, n, o	-----	BR, JR (1,8-3,9), KL (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
01p, q, r, s	-----	OS (1,8-3,9)
01t	VRE, VRN (0,5-1 pouze řízky)	OLS (2,4-5,2), VRE, VRN (0,5-1 pouze řízky)
01u	-----	OS (1,8-3,9)
01v	-----	OLS (2,4-5,2), OS (1,8-3,9)
01w	BO (4,8-10,4)	BRP, OS (1,8-3,9)
01x	-----	BRP, OS (1,8-3,9)

Tab. A: Pokračování

01y, z	-----	BRP, JR (1,8-3,9)
02a, b	-----	BRC, JR (1,8-3,9)
02c, d, e	-----	JR (1,8-3,9)
03a, b, c	-----	JR (1,8-3,9)

Vysvětlivky k tabulce A: Cílové hospodářské soubory (CHS) sdružující podsoubory (PCHS): 13 – Přírozená borová stanoviště; 19 – Lužní stanoviště (nižších poloh); 21 – Exponovaná stanoviště nižších poloh; 23 – Kyselá stanoviště nižších poloh; 25 – Živná stanoviště nižších poloh; 27 – Oglejená chudá stanoviště nižších a středních poloh; 29 – Olšová a jasanová stanoviště na podmáčených a lužních půdách; 39 – Chudá podmáčená stanoviště nižších a středních poloh; 41 – Exponovaná stanoviště středních poloh; 43 – Kyselá stanoviště středních poloh; 45 – Živná stanoviště středních poloh; 47 – Oglejená stanoviště středních poloh; 51 – Exponovaná stanoviště vyšších poloh; 53 – Kyselá stanoviště vyšších poloh; 55 – Živná stanoviště vyšších poloh; 57 – Oglejená stanoviště vyšších poloh; 59 – Podmáčená stanoviště středních a vyšších poloh; 71 – Exponovaná stanoviště horských poloh; 73 – Kyselá stanoviště horských poloh; 75 – Živná stanoviště horských poloh; 77 – Oglejená stanoviště horských poloh; 79 – Podmáčená stanoviště horských poloh; 01 – Mimořádně nepříznivá stanoviště; 02 – Stanoviště přirozených vysokohorských smrčín pod hranici stromové vegetace; 03 – Stanoviště v klečovém a alpském vegetačním stupni. **Zkratky dřevin abecedně:** BO – borovice lesní; BR – bříza bělokorá; BRC – bříza karpatská; BRP – bříza pýřitá; JR – jeřáb ptačí; JS – jasan ztepilý; JV – javor mléč; KL – javor klen; MD – modřín opadavý; OL – olše lepkavá; OLS – olše šedá; OS – topol osika; SM – smrk ztepilý; TP – topol bílý; TPC – topol černý; VR – vrba bílá; VRE – vrba šedá; VRN – vrba nachová. ***Finanční podpora** na základě MZe (2022), viz kap. 9 – Literatura; **Hektarové počty podle Čížková et al. (2020), viz kap. 9 – Literatura.

Tab. B: Upravená příloha č. 4 k vyhlášce č. 456/2021 Sb. Minimální počty jedinců jednotlivých druhů dřevin v tis. kusech na jeden hektar pozemku při obnově lesních porostů a zalesňování pozemků prohlášených za PUPFL

Přípravná dřevina	Minimální počty obnovovaných nebo zalesňovaných jedinců v tis. kusech na 1 hektar
Smrk ztepilý	3
Modřín opadavý	2,5
Borovice lesní	8
Topol osika, břízy, jeřáby, vrba jíva	3
Javory, olše lepkavá	4

Poznámky k tabulce B: (1) Počet jedinců na 1 ha při obnově nebo zalesnění se odvodí součinem minimálních hektarových počtů procentem plánovaného zastoupení obnovované nebo zalesňované dřeviny. (2) Při použití krytokořených semenáčků a sazenic lze uvedené minimální hektarové počty obnovovaných nebo zalesňovaných jedinců snížit až o 10 %. (3) Při použití prostokořených nebo obalovaných poloodrostků a odrostků lze uvedené minimální hektarové počty obnovovaných nebo zalesňovaných jedinců snížit až o 20 %. Poloodrostkem nebo odrostkem se rozumí rostlina vypěstovaná minimálně dvojnásobným školkováním, nebo kombinací školkování a podřezání kořenů nebo přesazení do obalů. (4) U lesa nízkého a středního jsou jednotlivé, životaschopné pařezy nebo kořenové výhony považovány za samostatné jedince.

OBRAZOVÁ PŘÍLOHA



Ukázka umístění sáčku s organickou hmotou (dekompoziční experiment) na kalamitní ploše Bítovánky, květen 2022



Kalamitní plocha Rytířsko – rozdíl stavu 2023 a 2024.



Kalamitní plocha Nová Brtnice s výsadbou buku – nahoře 2022, dole 2024.



Kalamitní plocha Nové Valteřice – nahoře 2022, dole 2024. Na této lokalitě probíhá masivní přirozená obnova, která je vhodně doplňována umělou výsadbou



Stav kalamitní plochy Velká Bíteš v roce 2022 (vlevo) a 2024 (vpravo).

Ukázka vzorkovaných půdních profilů s různým podílem skeletu. Podíl skeletu ovlivňuje např. množství poutaného uhlíku, ale i další vlastnosti lesních půd.



Vracov a Tatenice



Větrný Jeníkov a Lomnička



Bochovice a Černvín



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

www.vulhm.cz

LESNICKÝ PRŮVODCE 10/2024