VYHODNOCENÍ RŮZNÝCH POSTUPŮ OBNOVY LESA NA KALAMITNÍCH HOLINÁCH

ASSESSMENT OF FOREST REGENERATION APPROACHES FOLLOWING LARGE-SCALE DISTURBANCE CLEARINGS

Jan Leugner[1)] ✉ – Petr Bureš[1)] – Jakub Černý[1,2)]

[1)]Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic

[2)]Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Zemědělská 3, 613 00, Brno, Czech Republic

✉ *e-mail: leugner@vulhmop.cz*

ORCID: J. Leugner 0000-0003-4906-1034
J. Černý 0000-0002-9954-1506

ABSTRACT

Large-scale forest disturbances caused by wind and bark beetle outbreaks have created extensive clearings that require efficient, site-specific, and climate-adaptive regeneration strategies. This study evaluates the effectiveness of artificial, combined, and alternative regeneration approaches on a 40-hectare experimental site in Heraltice, Czech Republic, established in 2019 after severe disturbances. Artificial regeneration consisted of pure and mixed plantings of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*, with *Carpinus betulus* used as an auxiliary species. The combined regeneration approach involved low-density planting of *Picea abies* and *Alnus glutinosa* (1,800 plants/ha), complemented by subsequent natural regeneration. The alternative variant applied a mixture of *Prunus avium* and *Betula pendula* at a density of 2,400 plants/ha. After five growing seasons, all regeneration variants met the legal criteria for an established plantation. While some pure plantations showed higher initial mortality, natural regeneration effectively compensated for planting losses. Pioneer species, particularly birch and alder, showed rapid height growth, exceeding 100 cm on average after five years, whereas oak and beech exhibited slower early development. Economic evaluation revealed significant cost differences between the regeneration methods: the combined regeneration method had total costs approximately one-third those of traditional artificial regeneration of broadleaves. The alternative *Prunus–Betula* mixture also substantially lowered establishment costs, though timely thinning remains essential to promote the target species. Overall, the results demonstrate that combining artificial and natural regeneration methods can accelerate reforestation, enhance structural and species diversity, reduce costs, and improve resilience to future disturbances. Such integrated strategies provide practical, cost-effective, and sustainable pathways for restoring large areas of disturbed forest under changing climatic conditions.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: mateřský porost; kombinovaná obnova; pionýrská dřevina; obnovní náklady

Key words: mature stand; combined regeneration; pioneer tree species; reforestation costs

ÚVOD

Rozsáhlé kalamitní holiny vzniklé po větrných a kůrovcových disturbancích představují zásadní výzvu pro obnovu lesa v podmínkách České republiky (Šimůnek et al. 2025). S ohledem na velmi různorodé ekologické podmínky není vhodné využívat pro obnovu lesa pouze dominantní způsob obnovy (Leugner, Bartoš 2021). V podmínkách rozsáhlých disturbancí se proto stále více prosazuje využívání širší škály postupů, které kombinují umělou a přirozenou obnovu a umožňují flexibilně reagovat na místní stanovištní podmínky (Leugner 2024). Na bohatších stanovištích se osvědčuje kombinovaná obnova s využitím pionýrských druhů (Souček et al. 2016), které mohou prostřednictvím sukcese zlepšovat podmínky pro následný vývoj porostu (Gawęda et al. 2021). Případně lze využít jejich umělou obnovu, kde jsou ovšem takovéto porosty, zejména s vysokou porostní hustotou, výrazně náchylnější ke škodám větrem než porosty z přirozené obnovy (Krišāns et al. 2022).

Doposud dominantně používaná klasická jednorázová umělá obnova rozsáhlých holin klade vysoké požadavky na množství sadebního materiálu, techniku i organizaci práce. Navíc opakované vylepšování a následná péče o kultury zvyšují celkové náklady na dosažení zajištěného porostu a nepříznivě ovlivňují ekonomiku zakládání lesních porostů (Löf et al. 2021). Ještě větším problémem je to, že tyto postupy obnovy by mohly vést k tvorbě plošně rozsáhlých, stejnověkých porostů, které nemohou do budoucna zajistit odpovídající stabilitu a vitalitu

nově vytvářených porostů s ohledem na průběh globální klimatické změny a s tím spojená rizika opakování kalamit (Brunner 2002; Leder et al. 2007).

Základním cílem obnovy by měla být tvorba smíšených/funkčních porostů s relativně jemnou strukturou smíšení se zastoupením širokého spektra dřevin plnících očekávané funkce lesa (Mlčoušek et al. 2020). Z ekonomického i biologického hlediska může být kombinovaná obnova velice efektivní (Löf et al. 2021). Důležité ovšem je respektování diferencovaných přírodních podmínek, aby byl postup modifikován podle konkrétních ekologických parametrů obnovované holiny (Leugner et al. 2024). Podobné efekty přípravných porostů na mikroklima a půdní podmínky byly popsány i na jiných antropogenně ovlivněných stanovištích (např. Vindušková et al. 2026), což podporuje využívání pionýrských dřevin jako nástroje adaptace les na měnící se prostředí.

Rozbor problematiky

Pro obnovu kalamitních ploch lze využít dva základní způsoby obnovy lesa (Löf et al. 2021). Za prvé umělou obnovu, kterou zpravidla provádíme výsadbou vhodných druhů dřevin (u některých dřevin lze využít i síje; Dey et al. 2008). Za druhé přirozenou obnovou náletem semen z okolních mateřských stromů, případně obnovou vegetativní, která zahrnuje kořenové nebo pařezové výmladky (Kozlowski 2002; Souček 2024). Využití různých druhů dřevin a kombinací těchto dvou základních postupů v prostoru a čase nám dává velké množství možností, jak při obnově kalamitních holin postupovat. Základními parametry, které ovlivňují výběr konkrétního způsobu obnovy, jsou stanovištní podmínky, potenciál přirozené obnovy a pěstební záměr majitele nebo správce lesa (Souček et al. 2016).

Umělou obnovu lesa pomocí různých cílových, melioračních a pomocných dřevin je vhodné preferovat na bohatších stanovištích, které jsou v příznivých terénních podmínkách. Při souvislé velikosti holin nad 10 ha je rozhodně vhodné pro rozčlenění vložit pruhy rychlerostoucích přípravných dřevin, jako je bříza bělokorá (*Betula pendula* Roth – BR), topol osika (*Populus tremula* L. – OS), olše lepkavá (*Alnus glutinosa* L. – OL), které mohou být pěstovány ve zkráceném obmýtí (20–40 let) za účelem diverzifikace věkové struktury budoucích porostů (Leugner et al. 2023). Vzhledem k predikovaným klimatickým změnám v Evropě (Jacob et al. 2014) lze uvažovat také o použití některých dřevin (například dubu) s mírným posunem do vyšších nadmořských výšek oproti dosavadnímu vymezení (Rigling et al. 2012; Hanewinkel et al. 2013).

Pro eliminaci rizikových faktorů u přirozené obnovy (zabuřenění stanoviště, eroze lesní půdy na svazích apod.) je často vhodné využít kombinovanou obnovu (Löf et al. 2021). Kombinovaná obnova je definována využíváním umělé a přirozené obnovy lesa na stejném místě. V minulosti byl využíván tento postup především tak, že do nedostatečné (prostorově diferencované) obnovy byly umělou obnovou doplňovány další dřeviny cílové druhové skladby, případně meliorační a zpevňující dřeviny (Leugner et al. 2023).

Při současném rozsahu holin, které se vyskytují v mnoha oblastech, je jednou z možností využití kombinované obnovy v „novém" pojetí, kdy je nejdříve provedena umělá obnova dřevinami, které relativně dobře odrůstají v prostředí velkých otevřených ploch, a následně je využit potenciál přirozené obnovy do takto založených porostů (Leugner et al. 2022). Plánovanou umělou obnovu lze realizovat i ve sníženém hektarovém počtu, a tím zahájit obnovu na výrazně větší ploše holin v relativně krátkém čase (Dušek et al. 2022). Pro výsadbu je vhodné využít pionýrské dřeviny, které relativně dobře snášejí prostředí kalamitních holin, například břízu, olši, osiku, ale na řadě stanovišť také modřín (*Larix decidua* Mill. – MD). Následný krok obnovy tak můžeme bez výraznějších rizik posunout o 5 až 10 let. Nutným předpokladem pro použití tohoto postupu je existence potenciálu pro následnou přirozenou obnovu přípravné dřeviny na holině (Leugner et al. 2023). Hlavními předpoklady pro přirozenou obnovu jsou výskyt blízkých mateřských stromů schopných šíření semen, výskyt semenného roku a vhodné stanovištní i růstové podmínky (Tegelmark 1998; Moreno-Fernández et al. 2020; Pesendorfer et al. 2020). Tento postup je možné uplatnit na široké škále stanovištních podmínek. Pokud není přirozená obnova postačující, je nutné ji podle konkrétních podmínek obnovovaného porostu následně doplňovat dosadbou dřevinami s dostatečným růstovým potenciálem (Leugner et al. 2023).

Kombinovanou obnovu kalamitních holin lze výhodně realizovat i na středně bohatých a vodou ovlivněných stanovištích, které jsou v příznivých terénních podmínkách a kde lze očekávat výskyt přirozeného zmlazení takových druhů, které bude vhodné zakomponovat do druhové skladby nově vznikajících porostů. Využívání tohoto způsobu obnovy při obnově rozsáhlých kalamitních holin je v souladu se strategií adaptačních opatření, která jsou pro oblast střední Evropy doporučována (Hlásny et al. 2011; Brang et al. 2014; Čermák et al. 2016). Součástí kombinované obnovy v podmínkách západní i střední Evropy je vyšší využití dřevin s pionýrskou strategií růstu, především břízy, topolu osiky, případně na vodou ovlivněných stanovištích olše. Tyto dřeviny se nejčastěji vyskytují v přirozené obnově na kalamitních holinách (Hammerová et al. 2025). Především při využití břízy v porostních směsích lze využít výhody této dřeviny v současných podmínkách, jako jsou dobrá přizpůsobivost k současné změně klimatu, rychlou produkci relativně kvalitní dřevní suroviny a zlepšování ekologických parametrů stanoviště (Dubois et al. 2020). Ve specifických případech, například u těžko zalesnitelných lokalit, lze využít břízu i pro umělou obnovu (Karlsson 2002). Postup obnovy tak může mít vícefázový charakter (Souček et al. 2016). Zkušenosti s pěstováním břízy jako hlavní dřeviny ukazují její vysoký produkční potenciál, a tím alespoň částečné využití jako cílové dřeviny (Hynynen 2010).

Cílem této studie je vyhodnotit účinnost různých postupů obnovy lesa (tradiční umělé, kombinované a alternativní umělé obnovy) při zalesňování velkoplošné kalamitní holiny. Konkrétně se studie zaměřuje na (i) porovnání počáteční úspěšnosti jednotlivých variant z hlediska mortality a hustoty porostu, (ii) analýzu druhové skladby a struktury vznikajících porostů včetně podílu následné přirozené obnovy a (iii) posouzení nákladů potřebných k dosažení zajištěné kultury u jednotlivých modelových postupů obnovy.

MATERIÁL A METODIKA

Studovaná lokalita a design experimentu

Pro hodnocení počátečního vývoje na kalamitní holině při využití kombinované obnovy byla využita trvalá výzkumná plocha (TVP) Heraltice, která byla založena na podzim roku 2019. TVP se nachází na majetku spravovaném Lesy ČR, LS Telč, na SLT 5B, 6G, 5S, v nadmořské výšce 600–620 m n. m. Oblast se vyznačuje mírně chladným, vlhkým klimatem s průměrnou roční teplotou 9 °C, průměrným ročním úhrnem srážek 596 mm a podle Köppen-Geigerovy klasifikace spadá lokalita do Cfb (Peel et al. 2007; Beck et al. 2018). Na TVP Heraltice jsou testovány různé postupy obnovy lesa. Při obnově byla využita umělá obnova u některých dřevin ve snížených hektarových počtech, výsadba různých směsí zaměřená na ekonomickou i biologickou efektivnost a dále je testována možnost využití následné přirozené obnovy na rozsáhlé kalamitní holině. Celková plocha holiny činila v roce 2020 přibližně 40 ha, postupným rozšiřováním a vzájemným

propojením jednotlivých holin však vznikla souvislá holina o rozloze zhruba 200 ha.

Vyhodnocení různých postupů obnovy kalamitní holiny bylo provedeno na třech variantách obnovy. Prvním způsobem byla umělá obnova zaměřená na dvě hlavní cílové listnaté dřeviny – buk lesní (*Fagus sylvatica* L. – BK) a dub letní (*Quercus robur* L. – DB). Byly vyhodnoceny dvě subvarianty: (i) výsadba v řadové směsi s pomocnou a výchovnou dřevinou habrem obecným (*Carpinus betulus* L. – HB) a (ii) dále výsadba jednodruhových skupin. Výsadby byly chráněny před škodami zvěří oplocením. Výsadba byla realizována v minimálních hektarových počtech stanovených platnou legislativou: DB 9 000 ks/ha, BK 8 000 ks/ha a HB 6 000 ks/ha. Množství sadebního materiálu při zakládání směsí bylo vypočítáno podle redukované plochy jednotlivých dřevin.

Druhým způsobem byla kombinovaná obnova, při níž byla v první fázi provedena výsadba „kostry porostu" tvořené olší lepkavou a smrkem ztepilým v redukovaném počtu 1 800 ks/ha pro každou dřevinu. Výsadby byly chráněny proti škodám zvěří chemickými nátěry. Zároveň byla monitorována následná přirozená obnova na holině, která výsadby postupně doplňovala. Pro tento účel bylo v každé variantě vyznačeno a v terénu trvale stabilizováno pět kruhových ploch o výměře 10 m^2, jejichž střed tvořil inventarizační kolík s číslem plochy. Na těchto plochách byl sledován a zaznamenáván výskyt všech lesnicky významných dřevin.

Třetím způsobem byla tzv. alternativní umělá obnova, která byla realizována jako směs cílové dřeviny třešně ptačí (*Prunus avium* L. – TR) a pomocné, výchovné dřeviny břízy bělokoré. Výsadba byla realizována v celkovém počtu 2 400 ks/ha, z toho 1 200 ks TR a 1 200 ks BR. Tento postup může být vhodný i pro kombinovanou obnovu, kde by byla využita přirozená obnova břízy. Na sledované holině však chyběl dostatečný potenciál přirozené obnovy, protože v blízkém okolí nebyly přítomny mateřské stromy břízy, a proto byla zvolena umělá obnova i této dřeviny. Výhodou umělé obnovy je pravidelné rozmístění výchovné dřeviny (břízy) ve vztahu k cílové dřevině (třešni). Výsadby třešně byly chráněny před škodami zvěří pomocí plastových chráničů.

Pro výsadbu bylo ve všech případech využito prostokořenného sadebního materiálu. U sadebního materiálu byly použity dvouleté podřezávané sazenice (pěstební vzorec 1-1), u smrku byly použity školkované sazenice (pěstební vzorec 2+2). U třešně ptačí byly použity odrostky (pěstební vzorec 1-1-2) s výškou nad 120 cm. Výsadba všech dřevin byla provedena do jamek s použitím motomanuálních půdních vrtáků.

Výsledky hodnocení mortality a výškového růstu jsou prezentovány podle druhů dřevin a způsobů obnovy. Označení a popis jednotlivých variant je uvedeno v Tab. 1. Toto označení je dále využito v dalších tabulkách a grafech s výsledky experimentu.

Vyhodnocení vývoje porostů a ekonomická analýza

V roce 2024, tedy po pěti vegetačních obdobích od založení ploch, byl vyhodnocen výskyt jedinců všech lesnicky významných dřevin, které se na jednotlivých plochách nacházely. Vyhodnocení bylo provedeno i pro jedince z umělé obnovy. U všech dřevin jak z přirozené, tak i z umělé obnovy byla změřena celková výška. Pro vyhodnocení dynamiky vývoje nově vznikajících porostů byly v této fázi vývoje zvoleny následující parametry: celková početnost dřevin a celková výška dřevin pět let po založení (vzniku) ploch. Pro popis dynamiky obnovy lesa byly dále hodnoceny parametry celková výška (cm) a ztráty (%). Do kumulovaných ztrát za celé období od výsadby byly započítány ztráty způsobené úhynem, poškozením zvěří i mechanickým poškozením při péči o kultury, především při vyžínání buřeně.

Součástí hodnocení byl také výpočet nákladů na zajištěnou kulturu podle jednotlivých způsobů obnovy a také zvolených dřevin. Pro výpočet nákladů byly použity „standardizované ceny" jednotlivých přímých pěstebních nákladů. V kalkulaci nebyly zohledněny rozdíly v jednotkové ceně různých druhů lesních dřevin, ale byly stanoveny ceny dle druhu použitého sadebního materiálu, a to u sazenice 10 Kč/ks a využitých odrostků 35 Kč/ks. Cena za výsadbu byla jednotná 10 Kč/ks. Náklady na ochranu proti škodám zvěří byly u oplocení kalkulovány ve výši 50 tis. Kč/ha a u chemické ochrany nátěrem repe-

Tab. 1.
Označení a popis jednotlivých variant experimentu.
Description of experimental treatments.

Zkratka/Code	Popis dřeviny a varianty obnovy/Description of tree species and regeneration treatment
BKsHB	Buk vysazen v řadové směsi s habrem/Beech in a row mixture with hornbeam
HBsBKs	Habr vysazen v řadové směsi s bukem/Hornbeam in a row mixture with beech
BK	Jednodruhová výsadba buku/Monospecific beech planting
DBsHB	Dub vysazen v řadové směsi s habrem/Oak in a row mixture with hornbeam
HBsDB	Habr vysazen v řadové směsi s dubem/Hornbeam in a row mixture with oak
DB	Jednodruhová výsadba dubu/Monospecific oak planting
SM	Výsadba smrku ve snížených počtech/Spruce planted in reduced numbers
OL	Výsadba olše ve sníženém počtu/Alder planted in reduced numbers
BRsTR	Výsadba břízy ve směsi s třešní/Birch mixture with cherry
TRsBR	Výsadba třešně ve směsi s břízou/Cherry mixture with birch

lentů byly 15 tis. Kč/ha během 5 let po výsadbě, při použití plastových chráničů (u odrostků třešně) byla kalkulována cena 70 Kč/ks. Náklady na redukci buřeně vyžínáním byly stanoveny u všech variant stejně ve výši 45 tis. Kč/ha za pět let od výsadby. Tyto ceny jsou dle zjištění autorů v místě a čase obvyklé a jsou srovnatelné s přímými náklady na pěstební činnost, která byla zjištěna při hodnocení nákladů u konkrétního lesnického subjektu v oblasti Vysočiny v případové studii Novotný et al. (2024).

Statistické zpracování dat

Statistické hodnocení bylo provedeno analýzou variance (jednofaktorová ANOVA) a následným post hoc Tukey HSD testem pro hodnocení rozdílů mezi jednotlivými proměnnými. Pro analýzu byl použit software Excel se statistickými doplňky. Před aplikací ANOVA byly u všech souborů dat ověřeny předpoklady normality rozdělení (Shapiro-Wilk test) a shody rozptylů (Leveneho test). Do analýzy byla zahrnuta pouze data, u nichž tyto předpoklady nebyly porušeny. Rozdíly mezi jednotlivými proměnnými (výšky dřevin v jednotlivých variantách výsadby) byly hodnoceny na hladině významnosti 0,05 ($p < 0,05$).

VÝSLEDKY

Úspěšnost obnovy a mortalita dřevin

Výsledky hodnocení kumulovaných ztrát po pěti letech od výsadby ukazují výrazné rozdíly mezi jednotlivými variantami obnovy jak z hlediska mortality vysazených dřevin, tak i z pohledu hustoty porostu (Tab. 2). Nejnižší ztráty byly pozorovány u kombinovaných variant s vyšším podílem pionýrských druhů dřevin, zatímco vyšší mortalita byla zaznamenána především u nesmíšených výsadeb buku (BK 30 %). Tyto rozdíly odrážejí jak specifické nároky jednotlivých dřevin, tak i odlišnou stabilitu jednotlivých ploch z pohledu mikroklimatu.

Na základě uvedených ztrát byla pro jednotlivé varianty obnovy hodnocena početnost jednotlivých dřevin na dílčích plochách. Tyto počty byly využity pro vyhodnocení parametrů zajištěné kultury z pohledu přítomnosti dostatečného počtu lesních dřevin. Přestože ztráty na některých plochách (např. BK nesmíšený, kombinovaná obnova SM a OL) způsobily pokles početnosti vysazované dřeviny pod 80 % minimálního počtu stromů dle vyhlášky č. 456/2021 Sb., jsou tyto ztráty kompenzovány následnou přirozenou obnovou (Tab. 3), která doplnila výsadby, čímž byly pět let po výsadbě na plochách s kombinovanou obnovou splněny parametry zajištěné kultury.

Dynamika odrůstání byla hodnocena na základě průběžného měření celkové výšky dřevin (Obr. 1 a 2).

Výsledky měření při výsadbě (Obr. 1) ukazují, že výška použitého prostokořenného sadebního materiálu se mírně lišila mezi jednotlivými dřevinami s výjimkou skupiny, která zahrnuje dub, smrk a břízu. Nejmenší výšku měl sadební materiál habru (26 cm) a buku (31 cm). Druhou skupinu bez signifikantních rozdílů ($p < 0,05$) tvoří dub, smrk a bříza (průměrné výšky DB 39 cm, SM 38 cm a BR 38 cm). Významně vyšší byl sadební materiál olše (průměrná výška 105 cm) a třešně (průměrná výška 145 cm).

Při hodnocení výškového růstu 5 let po výsadbě (Obr. 2) byly zjištěny signifikantní rozdíly ($p < 0,05$) v dynamice růstu mezi všemi hodnocenými dřevinami a variantami výsadby. Dřeviny s pionýrskou strategií růstu, především bříza, ale i olše, již v prvních letech relativně intenzivně přirůstaly, a to i v případě, že byla provedena výsadba formou vyspělého sadebního materiálu s výškou nad 80 cm. Dub a habr zatím odrůstají rychleji než buk, přestože se výzkumná plocha nachází v 5. LVS. U dřevin rostoucích mimo oplocenky (OL, SM) bylo i přes chemickou ochranu zaznamenáno poškození stromků zvěří, a tím byl přírůst těchto dřevin negativně ovlivněn. Přesto již všechny dřeviny odrostly negativnímu vlivu buřeně. Z hlediska početnosti stromů pro zajištění kultury jsou počty ve variantě umělé obnovy dostatečné, neboť ztráty, především v jednodruhových výsadbách buku a dubu, jsou částečně kompenzovány výskytem dalších vhodných druhů z přirozené obnovy, jako jsou modřín, bříza a jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia* L.).

Tab. 2.
Kumulované ztráty jednotlivých variant experimentu a průměrný počet dřevin 5 let po výsadbě na hektar v roce 2024.
Cumulative mortality across experimental variants and mean tree density (trees per hectare) five years after planting (2024).

Dřeviny/Varianty obnovy/ Tree species/Variants of regeneration	Kumulované ztráty/ Cumulative mortality (%)	Počet jedinců (ks/ha)/ Plantation density (tree/ha)
BKsHB	18	3512
HBsBKs	7	2664
BK	30	5833
DBsHB	5	3613
HBsDB	8	2400
DB	19	6650
SM	19	1564
OL	30	1296
BRsTR	2	2450
TRsBR	1	1180

https://doi.org/10.59269/ZLV/2025/4/773

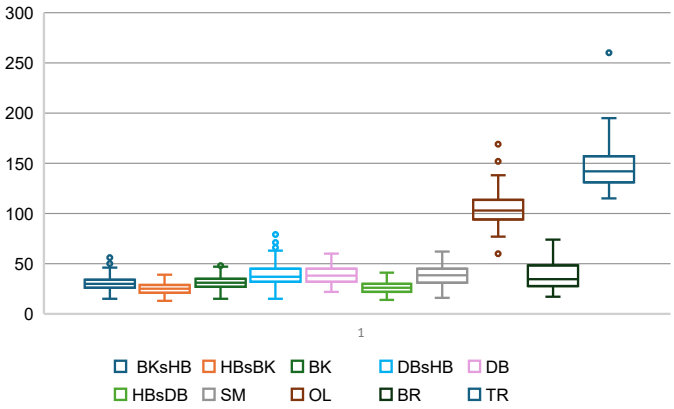
Tab. 3.
Zastoupení dřevin (ks/ha) v následné přirozené obnově ve variantě kombinované obnovy. JR: jeřáb ptačí, SM: smrk ztepilý, BO: borovice lesní, BR: bříza bělokorá, VR: vrba jíva, OL: olše.
Representation of tree species (tree/ha) in subsequent natural regeneration under the combined regeneration variant. JR: rowan, SM: Norway spruce, BO: Scots pine, BR: silver birch, VR: goat willow, OL: alder.

	JR	SM	BO	BR	VR
OL	200	200	-	600	6600
SM	-	-	200	1000	4400

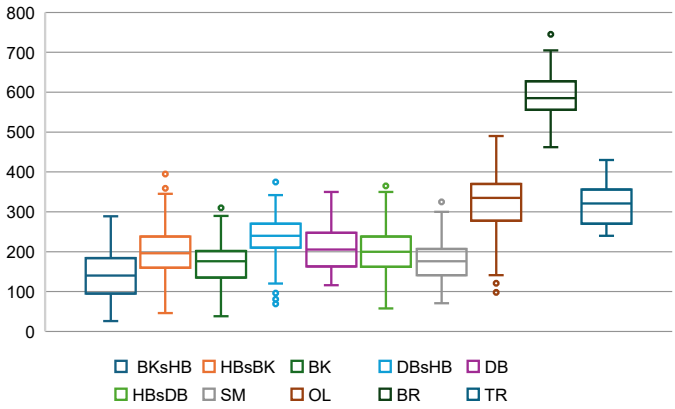
Výsledky inventarizace přirozené obnovy v kombinované obnově s výsadbou smrku a olše jsou uvedeny v Tab. 3. Přestože dominantní dřevinou přirozené obnovy je vrba jíva (*Salix caprea* L.), jsou zastoupeny také další cílové dřeviny. Zastoupené přípravné dřeviny včetně vrby jívy mohou být využity jako pomocné, případně výchovné dřeviny a během prvních výchovných zásahů budou redukovány.

Hodnocení nákladů na zajištěnou kulturu

Při vyhodnocení nákladů do fáze zajištěné kultury byly zjištěny velmi výrazné rozdíly mezi jednotlivými variantami obnovy (Tab. 4). Jak již bylo uvedeno, všechny varianty splňují pět let po založení parametry zajištěné kultury. Kombinovaná obnova se ukázala jako ekonomicky nejefektivnější, neboť její náklady dosahují pouze zhruba třetiny nákladů oproti umělé obnově nesmíšených cílových listnatých dřevin (dubu a buku). Významně nižší náklady (40–80 tis. na hektar) byly zaznamenány také u alternativní směsi dřevin. V této variantě je však již nutné provést první výchovný zásah – redukce břízy ve prospěch cílové dřeviny třešně, přičemž část takto získané dřevní hmoty lze alespoň využít jako palivo. Rozdíly mezi jednotlivými variantami jsou primárně způsobeny odlišným množstvím použitého sadebního materiálu, které je dáno požadavky platné legislativy, konkrétně vyhlášky č. 456/2021 Sb.



Obr. 1.
Celková výška jednotlivých dřevin při výsadbě v roce 2019.
Fig. 1.
Height of individual tree species during out-planting in 2019.



Obr. 2.
Celková výška jednotlivých dřevin 5 let po výsadbě v roce 2024.
Fig. 2.
Height of individual tree species 5 years after out-planting in 2024.

Tab. 4.
Modelové náklady (v tis. Kč) na zajištěnou kulturu při různých postupech obnovy kalamitních holin.
Model costs (in thousand CZK) of established plantation under different calamity-clearcut regeneration methods.

Varianta obnovy/Variants of regeneration	Sadební materiál a výsadba/Planting stock and planting	Ochrana proti zvěři/ Game damage protection	Ochrana proti buřeni/ Weed control	Celkem/ In total
Umělá obnova **DBsHB/** Artificial regeneration **DBsHB**	150	50	44	**244**
Umělá obnova **DB/** Artificial regeneration **DB**	180	50	44	**274**
Umělá obnova **BKsHB/** Artificial regeneration **BKsHB**	140	50	44	**234**
Umělá obnova **BK/** Artificial regeneration **BK**	160	50	44	**254**
Kombinovaná obnova **SM/** Combined regeneration **SM**	40	15	44	**99**
Kombinovaná obnova **OL/** Combined regeneration **OL**	40	15	44	**99**
Umělá obnova **TRsBR/** Artificial regeneration **TRsBR**	89	84	22	**195**

DISKUSE

Výsledky experimentu na TVP Heraltice potvrzují, že různé obnovní postupy mohou na rozsáhlých kalamitních holinách vést k dosažení parametrů zajištěné kultury v relativně krátkém časovém horizontu, avšak při rozdílných nákladech. Tyto rozdíly je vhodné interpretovat v širším ekologickém kontextu a porovnat s poznatky studií zaměřených na přirozenou obnovu a sukcesní procesy. Podobné ekologické procesy popsali Vindušková et al. (2026) při studiu přirozené sukcese na výsypkách po těžbě uhlí, kde pionýrské dřeviny výrazně zlepšovaly půdní a mikroklimatické podmínky, čímž podporovaly růst následně se obnovujících cílových dřevin. Přestože jde o odlišné prostředí, procesy, jako je tvorba příznivějšího mikroklimatu, rozvoj mykorhizní sítě a akumulace organické hmoty, lze považovat za analogické těm, které zvyšují úspěšnost kombinované obnovy na kalamitních holinách. Obdobné ekologické principy potvrzuje i studie Černý et al. (2025), která byla realizována na stejné lokalitě jako Vindušková et al. (2026). Autoři sledovali přirozené zmlazení BK, DB a SM a rovněž popsali pozitivní vliv pionýrských dřevin na mikroklimatické a půdní podmínky stanoviště.

Z těchto důvodů je významné definování pěstebních cílů nově zakládaných porostů především z hlediska cílové druhové skladby, délky obmýtí a podobně. Zatímco tradiční umělá obnova dubu a buku při dodržení legislativně stanovených minimálních počtů sazenic představuje ekonomicky nejnáročnější variantu, kombinovaná obnova založená na snížených hektarových počtech výsadeb tolerantních dřevin a využití přirozené obnovy vykázala téměř třetinové náklady. Podobné závěry uvádí i Löf et al. (2021), kteří zdůrazňují, že integrované přístupy kombinující přirozenou a umělou obnovu mohou být ekonomicky i ekologicky efektivnější než plošná výsadba, zejména na stanovištích ohrožených buření, erozí či nedostatkem sadebního materiálu. Podobně i alternativní směs třešně a břízy umožnila v rámci naší studie snížit vstupní investice, a to i přes nutnost následného včasného výchovného zásahu pro podporu cílové dřeviny (třešně). Z ekonomického pohledu lze výsledky prezentované studie porovnat i s poznatky Kaliszewského (2017), který zjistil, že celkové náklady na přirozenou obnovu dubu byly (v roce 2017) více než pětkrát nižší než při umělé obnově (1216 vs. 6543 PLN na hektar). Tento rozdíl vychází především z absence nákladů na sadební materiál a přípravu půdy včetně nižší potřeby vylepšování kultur, což potvrzuje i naše zjištění o nižší nákladovosti kombinované obnovy.

Při interpretaci výsledků je zároveň nutné zohlednit i několik limitací této studie. Jedná se o případovou studii založenou na jediné lokalitě v rámci České republiky a na omezeném souboru dřevin a obnovních postupů, což omezuje možnosti přímé generalizace závěrů do odlišných stanovištních i klimatických podmínek. Hodnocení bylo navíc provedeno pouze v horizontu pěti let od založení porostů, takže nezachycuje dlouhodobý vývoj sledovaných porostů. Ekonomická analýza vychází ze standardizovaných položkových nákladů a nezahrnuje regionální rozdíly cen práce či materiálu, a proto je třeba ji chápat pouze jako orientační rámec pro srovnání obnovních variant.

Důležitou roli v obnově rozsáhlých holin mohou sehrávat pionýrské dřeviny, zejména bříza, ale také olše v odpovídajících stanovištních podmínkách. Tyto druhy rychle osídlují otevřené plochy, stabilizují mikroklima a zlepšují ekologické parametry stanoviště (Vacek et al. 2018; Dubois et al. 2020). Bříza navíc umožňuje relativně rychlou produkci dřevní suroviny a svou schopností přizpůsobit se měnícímu klimatu představuje efektivní přípravnou dřevinu pro následný rozvoj cílových dřevin. Přesto však samotná přítomnost přípravných dřevin není zárukou dosažení cílové druhové skladby. Naopak bez aktivního pěstebního managementu hrozí, že rychle rostoucí pionýrské dřeviny potlačí hospodářsky významné druhy, zejména dub a třešeň, které jsou na nedostatek světla a konkurenci v korunovém prostoru citlivější. Dey et al. (2012) ve své práci o udržení zásoby dubu v temperátních listnatých lesích zdůrazňují význam kombinace přirozené a umělé obnovy, včetně cílené regulace světelných podmínek a konkurenčních druhů.

Varianty kombinované obnovy s nižším počtem výsadeb, doplněné přirozenou obnovou, ukazují, že vhodné propojení umělých a přírodních procesů umožňuje ekonomicky i ekologicky optimální řešení. Pro zlepšení druhové skladby těchto porostů (zvýšení zastoupení hospodářsky hodnotných dřevin) by bylo vhodné doplnit tyto porosty ve druhé fázi o další cílové dřeviny. Kontrola buřeně, včasná ochrana proti zvěři a následné výchovné zásahy jsou nezbytnými podmínkami úspěchu bez ohledu na použitý model obnovy (Dey et al. 2012).

Dosavadní výsledky rovněž potvrzují, že v současných klimatických podmínkách je vhodné uvažovat o mírném posunu dřevin, zejména dubu, do vyšších nadmořských výšek, než bylo tradičně doporučováno, a to jako součást adaptačních opatření (Hlásny et al. 2011; Brang et al. 2014; Čermák et al. 2016).

Celkově lze konstatovat, že kombinované postupy obnovy lesa představují perspektivní řešení, které propojuje výhody obou extrémů – rychlost a plošný efekt umělé obnovy a ekologickou adaptabilitu přirozených sukcesních procesů. Vzhledem k predikovaným klimatickým změnám a možné variabilitě budoucích disturbancí bude využívání různých obnovních postupů ve spojení s druhovou diverzifikací klíčovým nástrojem pro udržitelné hospodaření v lesích. Pěstování smíšených porostů totiž představuje zásadní adaptační opatření, které zvyšuje stabilitu a rezistenci lesních ekosystémů vůči klimaticky podmíněným disturbancím, jako jsou sucho, větrné polomy, ale i kůrovcové kalamity (Vacek et al. 2023). Vyšší druhová rozmanitost zároveň zvyšuje produkční potenciál a podporuje efektivnější sekvestraci uhlíku (Vacek et al. 2021; Brabec et al. 2023). Perspektivní je rovněž cílené zalesňování vhodnými introdukovanými dřevinami, které mohou vhodně doplňovat spektrum domácích druhů a přispívat k dlouhodobé stabilitě a udržitelnosti lesních porostů ve střední Evropě (Podrázský et al. 2020; Šimková et al. 2023; Tomczak et al. 2025).

ZÁVĚR

Výsledky experimentu potvrzují, že využívání různých obnovních postupů na rozsáhlých kalamitních holinách představuje cestu ke stabilnějším, funkčně hodnotnějším a ekonomicky efektivnějším porostům. Tradiční umělá obnova cílových listnáčů (buk, dub) zůstává z hlediska dosažení požadované druhové skladby spolehlivá, avšak její vysoká finanční náročnost a požadavky na sadební materiál omezují její plošné uplatnění. Kombinovaná obnova, založená na snížených počtech výsadeb tolerantních druhů a využití přirozené obnovy, se ukázala jako efektivní kompromis – výrazně snižuje náklady, urychluje obnovu a podporuje vznik prostorově i druhově diferencovaných porostů, které lépe odpovídají požadavkům adaptace na klimatické změny. Výzvou pro další výzkum je optimalizace parametrů kombinované obnovy v různých stanovištních podmínkách, zejména volba vhodných dřevin, jejich počty při výsadbě a vyhodnocení potenciálu přirozené obnovy. Alternativní směsi dřevin, například třešeň s břízou, představují flexibilní řešení pro stanoviště s omezeným potenciálem přirozené obnovy, avšak vyžadují včasné výchovné zásahy. Zjištění odpovídají trendům doporučovaným i v mezinárodní literatuře (např. Dey et al. 2012; Dubois et al. 2020), která zdůrazňuje význam propojení přirozených a umělých procesů, kvalitního sadebního materiálu, regulace světelných a konkurenčních podmínek a účinné ochrany mladých stromků před zvěří. Tyto principy by měly být integrovány do lesnické praxe jako základní pilíře obnovy lesa po kalamitách. Využití ekologického potenciálu stanoviště tak představuje perspektivní cestu, jak zrychlit obnovu lesů a zároveň posílit jejich dlouhodobou stabilitu, ekologickou funkčnost i ekonomickou udržitelnost.

Poděkování:

Příspěvek vznikl díky podpoře výzkumného projektu NAZV QL25020059 „Probíhající kůrovcová kalamita v ČR jako východisko k adaptaci lesů a lesnického sektoru na změnu klimatu a rozvoji odolnosti vůči budoucím kalamitním situacím".

LITERATURA

Beck H.E., Zimmermann N.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Wood E.F. 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific Data, 5: 180214. DOI: 10.1038/sdata.2018.214

Brabec P., Brichta J., Vacek Z., Vacek S., Šimůnek V., Hájek V. 2023. Potential of mixed *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus sylvestris* L. forests in lowland areas of Central Bohemia. Journal of Forest Science, 69 (11): 470–484. DOI: 10.17221/76/2023-JFS

Brang P., Spathelf P., Larsen J.B., Bauhus J., Boncina A., Chauvin C., Drössler L., García-Güemes C., Heiri C., Kerr G., Lexer M.J., Mason M., Mohren F., Mühlethaler U., Nocentini S., Svoboda M. 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change, Forestry, 87 (4): 492–503. DOI: 10.1093/forestry/cpu018

Brunner A. (ed.) 2002. Restocking of storm-felled forests: new approaches. Proceedings of an international workshop in Denmark, March 2001. Hørsholm, Danish Forest and Landscape Research Institute: 114 s. ISBN 87-7903-1374

Čermák P., Zatloukal V., Cienciala E., Pokorný R., Kadavý J., Kneifl M., Kadlec J., Dobrovolný L., Martiník A., Mikita T., Adamec Z., Kupec P., Sloup R., Šišák L., Pulkrab K., Trnka M., Jurečka F. 2016. Katalog lesnických adaptačních opatření. Brno, Mendelova univerzita v Brně: 152 s.

Černý J., Daňková T., Mudrák O., Spurná V., Frouz J. 2025. Establishment, survival, and growth of beech, oak, and spruce seedlings during unassisted forest recovery in post-mining sites. Forests, 16: 1651. DOI: 10.3390/f16111651

Dey D.C., Jacobs D., McNabb K., Miller G., Baldwin V., Foster G. 2008. Artificial regeneration of major oak (*Quercus*) species in the Eastern United States – A review of the literature. Forest Science, 54: 77–106. DOI: 10.1093/forestscience/54.1.77

Dey D.C., Gardiner E.S., Schweitzer C.J., Kabrick J.M., Jacobs D. 2012. Underplanting to sustain future stocking of oak (*Quercus*) in temperate deciduous forests. New Forests, 43: 955–978. DOI: 10.1007/s11056-012-9330-z

Dubois H., Verkasalo E., Claessens H. 2020. Potential of birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) for forestry and forest-based industry sector within the changing climatic and socio-economic context of Western Europe. Forests, 11: 336. DOI: 10.3390/f11030336

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. Certifikovaná metodika. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 34 s. Lesnický průvodce 11/2022

Gawęda T., Małek S., Błońska E., Jagodziński A.M., Bijak S., Zásada M. 2021. Macro- and micronutrient contents in soils of a chronosequence of naturally regenerated birch stands on abandoned agricultural lands in Central Poland. Forests, 12: 956. DOI: 10.3390/f12070956

Hammerová V., Vacek S., Vacek Z., Černý J., Cukor J., Gallo J., Kuběnka M. 2025. Forest ecosystem restoration in the Ore Mountains: A review of silvicultural measures addressing environmental degradation. Journal of Forest Science, 71 (7): 323–335. DOI: 10.17221/34/2025-JFS

Hanewinkel M., Cullmann D.A., Schelhaas M-J., Nabuurs G-J., Zimmermann N.E. 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. Nature Climate Change, 3: 203–207. DOI: 10.1038/nclimate1687

Hlásny T., Holuša J., Štěpánek P., Turčáni M., Polčák N. 2011. Expected impacts of climate change on forests: Czech Republic as a case study. Journal of Forest Science, 10: 422–431. DOI: 10.17221/103/2010-JFS

Hynynen J., Niemistö P., Viherä-Aarnio A., Brunner A., Hein S., Velling P. 2010. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. Forestry (Oxford), 83: 103–119. DOI: 10.1093/forestry/cpp035

Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M., Braun A., Colettr A., Déqué M., Georgievski G., Georgopoulou E., Gobiet A., Menut L., Nikulin G., Haensler A., Hempelman N., Jones C., Keuler K., Kovarts S., Kröner N., Kotlarski S., Kriegsmann A., Martin E., van Meijgaard E., Moseley Ch., Pfeifer S., Preuschmann S., Rademacher Ch., Radtke K., Rechid D., Rounsevell M., Samuelsson P., Somot S., Soussana J-F., Teichmann C., Valentini R., Vautard R., Weber B., Yiou P. 2014. EURO-CODEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Regional Environmental Change, 14: 563–578. DOI: 10.1007/s10113-013-0499-2

Kaliszewski A. 2017. Cost analysis of artificial and natural oak regeneration in selected forest districts. Leśne Prace Badawcze, 78: 315–321. DOI: 10.1515/frp-2017-0035

Karlsson A. 2002. Site preparation of abandoned fields and early establishment of planted small-sized seedlings of silver birch. New Forests, 23: 159–175. DOI: 10.1023/A:1015605216150

Kozlowski T.T. 2002. Physiological ecology of natural regeneration of harvested and disturbed forest stands: implications for management. Forest Ecology and Management, 158: 195–221. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00712-X

Krišāns O., Matisons R., Vuguls J., Bāders E., Rust S., Elferts D., Saleniece R., Jansons Ā. 2022. Regularly planted rather than natural understory of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) contributes to the individual stability of canopy Silver birch (*Betula pendula* Roth.). Forests, 13: 942. DOI: 10.3390/f13060942

Leder B. et al. 2007. Empfehlungen für die Wiederbewaldung der Orkanflächen in Nordrhein-Westfalen. Münster, Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen: 78 s.

Leugner J., Bartoš J. 2021. Obnova kalamitních ploch u drobných vlastníků. In: Dušek D., Novák J. (eds.): Postupy hospodaření v maloleších I. Sborník semináře s praktickými ukázkami. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 14–17.

Leugner J., Dušek D., Novák J. 2022. Doporučení pěstební postupy pro obnovu kalamitních holin a pro nově vzniklé porosty přípravných dřevin. In: Křístek Š. (ed.): Generel obnovy lesních porostů po kalamitě. Etapa 2021. Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů: 53–59.

Leugner J., Souček J., Špulák O., Martiník A. 2023. Obnova kalamitních holin přes přípravný les. Certifikovaná metodika. Strnady,

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 35 s. Lesnický průvodce 13/2023.

Leugner J. 2024. Různé způsoby využití přípravných dřevin při obnově kalamitních holin. In: Bílek L. (ed.): Pěstební a ekologický potenciál, využití a zhodnocení pionýrských dřevin. Sborník příspěvků. Litoměřice 3. 11. 2024. Praha, Česká lesnická společnost:17–20.

Leugner J., Špulák O., Souček J., Dušek D. 2024. Následná pěstební péče o porosty vzniklé kombinovanou obnovou na post-kalamitních plochách. In: Křístek Š. (ed.): Generel obnovy lesních porostů po kalamitě. Etapa VII. Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů: 64–72.

Löf M., Barrere J., Engman M., Petersson L.K., Villalobos A. 2021. The influence of fencing on seedling establishment during reforestation of oak stands: a comparison of artificial and natural regeneration techniques including costs. European Journal of Forest Research, 140: 807–817. DOI: 10.1007/s10342-021-01369-w

Mlčoušek M., Křístek Š., Turek K., Apltauer J., Novák J., Leugner J., Zouhar V., Válek M., Pařízková A., Žárník M., Soušek Z., Hájek F., Kantorová M., Smejkal J., Bartoň R., Taubr K. 2020. Generel obnovy lesních porostů po kalamitě. Etapa III. Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů: 75 s.

Moreno-Fernández D., Ledo A., Canellas I., Montes F. 2020. Strategies for modeling regeneration density in relation to distance from adult trees. Forests, 11: 120. DOI: 10.3390/f11010120

Novotný S., Gallo J., Podrázský V. 2024. Economic parameters of the natural forest regeneration in changing conditions – A case study. Journal of Forest Science, 70 (10): 529–538. DOI: 10.17221/56/2024-JFS

Peel M.C., Finlayson B.I., McMahon T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences, 11: 1633–1644. DOI: 10.5194/hess-11-1633-2007

Pesendorfer M.B., Bogdziewicz M., Szymkowiak J., Borowski Z., Kantorowicz W., Espelta J.M., Fernández-Martínez M. 2020. Investigating the relationship between climate, stand age, and temporal trends in masting behavior of European forest trees. Global Change Biology, 26: 1654–1667. DOI: DOI: 10.1111/gcb.14945

Podrázský V., Vacek Z., Vacek S., Vítámvás J., Gallo J., Prokůpková A., D'Andrea G. 2020. Production potential and structural variability of pine stands in the Czech Republic: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) vs. introduced pines–case study and problem review. Journal of Forest Science, 66: 197–207. DOI: 10.17221/42/2020-JFS

Rigling A., Bigler Ch., Eilmann B., Feldmeyer-Christe E., Gimmi U., Ginzler Ch., Graf U., Mayer P., Vacchiano G., Weber P., Wohlgemuth T., Zweifel R., Dobbertin M. 2012. Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests. Global Change Biology, 19: 229–240. DOI: 10.1111/gcb.12038

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. Certifikovaná metodika. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 40 s. Lesnický průvodce 10/2016.

Souček J. 2024. Vegetativní obnova břízy – potenciál a možnosti jeho omezení. Certifikovaná metodika. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 34 s. Lesnický průvodce 14/2024.

Šimková M., Vacek S., Šimůnek V., Vacek Z., Cukor J., Hájek V., Bílek L., Prokůpková A., Štefančík I., Sitková Z., Lukáčik I. 2023. Turkey oak (*Quercus cerris* L.) resilience to climate change: Insights from coppice forests in Southern and Central Europe. Forests, 14 (12): 2403. DOI: 10.3390/f14122403

Šimůnek V., Vacek Z., Vacek S., Švanda M., Podrázský V., Cukor J., Gallo J., Zahradník P. 2025. Bark beetle-induced salvage logging cycle is caused by weather patterns linked to the NAO and solar cycle in Central Europe. Forest Ecosystems, 13: 100328. DOI: 10.1016/j.fecs.2025.100328

Tegelmark D.O. 1998. Site factors as multivariate predictors of the success of natural regeneration in Scots pine forests. Forest Ecology and Management, 109: 231–239. DOI: 10.1016/S0378-1127(98)00255-2

Tomczak K., Vacek Z., Cukor J., Vacek S., Bažant V., Zeidler A., Trojan V., Gallo J., Černý J. 2025. Unlocking *Pinus ponderosa* (Douglas ex C. Lawson) potential: a comprehensive review of results from native and introduced areas. Frontiers in Forests and Global Change, 8: 1585253. DOI: 10.3389/ffgc.2025.1585253

Vacek Z., Cukor J., Vacek S., Podrázský V., Linda R., Kovařík J. 2018. Forest biodiversity and production potential of post-mining landscape: opting for afforestation or leaving it to spontaneous development? Central European Forestry Journal, 64 (2): 116–126. DOI: 10.1515/forj-2017-0036

Vacek Z., Prokůpková A., Vacek S., Bulušek D., Šimůnek V., Hájek V., Králíček I. 2021. Mixed vs. monospecific mountain forests in response to climate change: structural and growth perspectives of Norway spruce and European beech. Forest Ecology and Management, 488: 119019. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119019

Vacek Z., Vacek S., Cukor J. 2023. European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. Journal of Environmental Management, 332: 117353. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117353

Vindušková O., Šimáňová D., Reitshmiedová E., Černý J., Frouz J. 2026. Natural regeneration of Norway spruce under pioneer trees outperforms conventional reclamation on post-mining sites. Ecological Engineering, 222: 107812. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2025.107812

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.

ASSESSMENT OF FOREST REGENERATION APPROACHES FOLLOWING LARGE-SCALE DISTURBANCE CLEARINGS

SUMMARY

The study provides a detailed analysis of forest restoration strategies implemented in areas of the Czech Republic that have been extensively cleared due to bark beetle infestation and wind damage. Conducted on a 40-hectare experimental site near Heraltice, the research compares the efficiency, ecological functionality, and economic performance of three regeneration approaches: artificial, combined and alternative. Established in 2019, the site exemplifies adaptive forest management in the era of climate change.

Background and rationale:

The massive bark beetle outbreak and wind disturbances of the past decade have created large open areas in Central Europe that pose a significant challenge to reforestation. Although traditional artificial regeneration is effective, it requires large quantities of planting material and intensive post-planting care, making it financially and logistically challenging. Furthermore, uniform, single-aged plantations tend to be ecologically unstable and vulnerable to future disturbances.

To address these issues, this study explores combined and alternative regeneration approaches that integrate artificial planting with spontaneous natural regeneration processes. Pioneer species such as *Betula pendula* and *Alnus glutinosa* can play a pivotal role in such systems by stabilising microclimatic and soil conditions. This creates a favourable environment for the subsequent development of target tree species such as *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*.

Experimental design:

The Heraltice experimental site (TVP Heraltice) is located in the Bohemian-Moravian Highlands at an altitude of between 600 and 620 metres and comprises the following site types: 5B, 6G, and 5S. The experimental setup consists of three main regeneration variants (Table 1).

1. **Artificial regeneration** – focused on two target broadleaved species: *Fagus sylvatica* (beech) and *Quercus robur* (oak), with *Carpinus betulus* (hornbeam), acting as a supporting species. Two subvariants were established: (i) mixed row planting of beech and hornbeam, and oak and hornbeam; and (ii) pure single-species blocks. Planting densities followed legal standards (8,000–9,000 trees per hectare for the target species).
2. **Combined regeneration** – involved reduced-density planting of *Picea abies* (spruce) and *Alnus glutinosa* (alder) at a density of 1,800 trees per hectare. This was protected by chemical repellents and complemented by subsequent natural regeneration. Within each subvariety, five circular sample plots (10 m^2 each) were permanently marked to monitor the development of natural regeneration.
3. **Alternative regeneration** – a mixture of *Prunus avium* (wild cherry) and *Betula pendula* (birch) was planted at a density of 2,400 trees per hectare (1,200 trees per hectare each). Due to the absence of local seed sources, birch was also artificially planted to ensure uniform distribution relative to the target cherry trees. Cherry seedlings were protected by plastic guards.

Evaluation methods:

After five growing seasons (in 2024), the study assessed the following:

- Tree density and cumulative mortality of planted species.
- Composition and abundance of natural regeneration.
- Mean height and growth dynamics (Fig. 1 and 2).
- Total establishment costs per hectare were also evaluated.

The economic analysis used standardised regional costs: 10 CZK per seedling, 35 CZK per sapling, 10 CZK for planting, 45,000 CZK/ha for weeding, and species-specific protection costs (e.g., fencing: 50,000 CZK/ha; repellents: 15,000 CZK/ha; plastic protections: 70 CZK each).

Results:

Five years after planting, all variants have reached the parameters of an established plantation, despite notable differences in both interspecific and inter-method parameters (Table 2).

- **The highest losses (30%)** occurred in pure beech and alder plantings.
- **The lowest mortality (1–2%)** was recorded for the *Prunus–Betula* mixture.
- **Combined regeneration** variants showed moderate losses, which were fully compensated for by vigorous natural regeneration (see Table 2). This was primarily composed of *Salix caprea*, *Betula pendula*, *Sorbus aucuparia*, and, occasionally, *Picea abies* or *Alnus glutinosa*. Therefore, all combined regeneration plots fulfilled the established plantation criteria after five years.

Initial seedling heights varied considerably among species (Fig. 1). Beech (*Fagus sylvatica*) and hornbeam (*Carpinus betulus*) were the shortest, with means of 31 cm and 26 cm, respectively, while cherry (*Prunus avium*) and alder (*Alnus glutinosa*) were the tallest, reaching 145 cm and 105 cm on average. After five years, pioneer species exhibited the fastest growth in height (Fig. 2): birch and alder exceeded 100 cm on average, while beech and oak showed the slower development typical for shade-tolerant species. Spruce and alder outside the fenced plots experienced browsing damage, which reduced their growth performance; however, all the planted trees had outgrown the competing vegetation.

Natural regeneration greatly complemented the combined variants, with up to 6,600 naturally established *Salix caprea* individuals per hectare in alder plots and 4,400 in spruce plots. This spontaneous layer increased density and contributed to stand closure (Table 3).

An economic evaluation (Table 4) revealed significant differences in total establishment costs.

- Artificial regeneration: 234,000–274,000 CZK/ha;
- Combined regeneration: ≈ 99,000 CZK/ha;
- Alternative *Prunus–Betula* mixture: ≈ 195,000 CZK/ha.

Thus, combined regeneration required only one-third of the cost of the traditional artificial planting of beech and oak. The alternative cherry–birch variant also showed substantial savings, but early thinning is required to favour cherry.

Conclusions:

After five years, all regeneration methods have produced well-established young stands, but their efficiency differed markedly.

- **Artificial regeneration** guarantees species composition but is the most expensive approach.
- **Combined regeneration** substantially reduces costs, accelerates reforestation, and enhances stand heterogeneity, providing a practical and sustainable solution for large, disturbed areas.
- **Alternative pioneer mixtures** can serve as flexible tools for difficult sites lacking natural regeneration potential but requiring early management interventions.

This study concludes that integrated regeneration strategies, combining artificial and natural processes are essential for restoring large-scale disturbed forests under climate change. Future research should optimise planting densities, species selection and the timing of interventions in order to adapt combined regeneration approaches to different ecological conditions.

Zasláno/Received: 04. 11. 2025

Přijato do tisku/Accepted: 02. 12. 2025