

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Zhodnocení dosavadních opatření na podporu
mrtvého dřeva v lesích**

Bakalářská práce

Autor: Matěj Glos
Vedoucí práce: Ing. Radek Bače, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matěj Gros

Lesnictví
Lesnictví

Název práce

Zhodnocení dosavadních opatření na podporu mrtvého dřeva v lesích

Název anglicky

Evaluation of existing measures to support dead wood in forests

Cíle práce

Práce si klade za cíl systematicky zhodnotit ekologické a ekonomické dopady různých metod navyšování množství mrtvého dřeva pro podporu biodiverzity.

Práce se zabývá hlavními výhodami a nevýhodami jednotlivých přístupů k mrtvému dřevu a jak nakládání s mrtvým dřevem může ovlivnit lesní hospodaření, přirozenou obnovu a produktivitu, jak z ekologického, tak ekonomického hlediska. Pozornost bude soustředěna na management přístupů k navyšování mrtvého dřeva. Budou hledány odpovědi na otázky, zda např. metoda výmladkového hospodářství s ponecháváním výstavků je efektivním přístupem v ochraně ohrožených druhů, zejména hmyzu. Mají v současnosti prováděná opatření očekávaný účinek?

Metodika

1. Rešerše důvodů, proč dochází k navyšování mrtvého dřeva v lesích.
2. Systematické získávání informací o účinnosti opatření z vědeckých článků zabývajících se hodnocením uskutečněných opatření k navýšení množství mrtvého dřeva v lesních porostech i v krajině.
3. Identifikovat klíčové vlastnosti (kvalitativní a kvantitativní) mrtvého dřeva a mikrohabitátů s ním spojených.
4. Formulovat postupy, které by bylo vhodné aplikovat v našich lesích, např. s rozdělením podle výškové stupňovitosti a kategorizace lesů.
5. Finální příprava bakalářské práce.

Harmonogram zpracování:

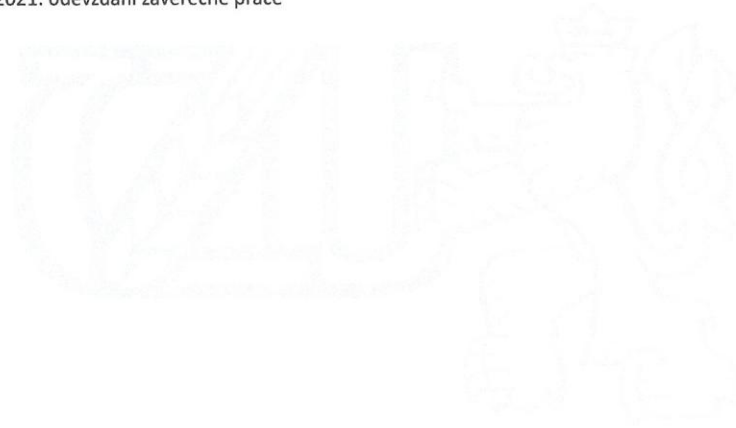
březen–listopad 2020: studium literatury a příprava literární rešerše

prosinec 2020: odeslání rešerše ke konzultaci školiteli

leden-únor 2021: systematické vyhodnocení získaných informací v práci

březen 2021: odeslání práce ke kontrole školiteli

duben 2021: odevzdání závěrečné práce



Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Mrtvé dřevo, biodiverzita, lesní hospodaření

Doporučené zdroje informací

- Doerfler, I., Gossner, M. M., Müller, J., Seibold, S., & Weisser, W. W. (2018). Deadwood enrichment combining integrative and segregative conservation elements enhances biodiversity of multiple taxa in managed forests. *Biological conservation*, 228, 70-78.
- Doerfler, I., Müller, J., Gossner, M. M., Hofner, B., & Weisser, W. W. (2017). Success of a deadwood enrichment strategy in production forests depends on stand type and management intensity. *Forest ecology and management*, 400, 607-620.
- Jonsson, B. G., Ekström, M., Esseen, P. A., Grafström, A., Ståhl, G., & Westerlund, B. (2016). Dead wood availability in managed Swedish forests—Policy outcomes and implications for biodiversity. *Forest Ecology and Management*, 376, 174-182.
- Koivula, M., & Vanha-Majamaa, I. (2020). Experimental evidence on biodiversity impacts of variable retention forestry, prescribed burning, and deadwood manipulation in Fennoscandia. *Ecological Processes*, 9(1), 11.
- Mitchell, F. J. (2005). How open were European primeval forests? Hypothesis testing using palaeoecological data. *Journal of Ecology*, 93(1), 168-177.
- Puletti, N., Giannetti, F., Chirici, G., & Canullo, R. (2017). Deadwood distribution in European forests. *Journal of Maps*, 13(2), 733-736.
- Seibold, S., Hagge, J., Müller, J., Gruppe, A., Brandl, R., Bässler, C., & Thorn, S. (2018). Experiments with dead wood reveal the importance of dead branches in the canopy for saproxylic beetle conservation. *Forest Ecology and Management*, 409, 564-570.
- Szabo, P. (2010). Driving forces of stability and change in woodland structure: A case-study from the Czech lowlands. *Forest ecology and management*, 259(3), 650-656.
- Vítková, L., Bače, R., Kjučukov, P., & Svoboda, M. (2018). Deadwood management in Central European forests: Key considerations for practical implementation. *Forest Ecology and Management*, 429, 394-405.
- Vogel, S., Gossner, M. M., Mergner, U., Müller, J., & Thorn, S. (2020). Optimizing enrichment of deadwood for biodiversity by varying sun exposure and tree species: an experimental approach. *Journal of Applied Ecology*.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Radek Bače, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2021

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2021

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Zhodnocení dosavadních opatření na podporu mrtvého dřeva v lesích" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19.4. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Radkovi Bačemu, Ph.D. za jeho cenné rady, kritická hodnocení a vstřícnost během konzultací a zpracování bakalářské práce.

Zhodnocení dosavadních opatření na podporu mrtvého dřeva v lesích

Abstrakt

Práce se zabývá hlavními metodami a strategiemi managementu mrtvého dřeva a jeho navyšování v lesních ekosystémech. Formou rešerše vědeckých studií vyhodnocuje a zpřehledňuje ekologické a ekonomické dopady různých strategií navyšování množství mrtvého dřeva pro podporu biodiverzity. Obohacování mrtvým dřevem je velice důležité pro zachování biodiverzity saproxylických organismů. V celosvětovém měřítku dochází k úbytku biodiverzity v lesních ekosystémech na úkor provozních cílů lesního managementu. K jejímu navýšení je potřeba zavedení opatření související s trvale udržitelným lesním hospodařením, které je cílené na upřednostnění biodiverzity. Zároveň by ale implementace těchto opatření měla být nastavena tak, aby výrazně neovlivňovala provozní a ekonomické aspekty lesního managementu. Jedním z takových opatření, které jsou v této práci uvedeny, může být zavedení integrační strategie navyšování mrtvého dřeva, která se zaměřuje na aktivní obohacování mrtvým dřevem v hospodářských lesích při těžebních operacích. K navyšování mrtvého dřeva mimo přirozenou obnovu lze dosáhnout také jeho umělou tvorbou. U těchto metod byl experimentálně prokázán jejich pozitivní účinek pro biodiverzitu. Součástí práce je také posuzování různých kvalitativních charakteristik mrtvého dřeva (např. druhová skladba, mikroklima, fáze rozkladu) a jak jejich zohlednění může ovlivnit podporu biodiverzity. Jednou z těchto charakteristik, které tato práce uvádí je dřevinná skladba. Autoři studií přikládají velký význam ponechávání původních dřevin. Dále by měla být zohledněna také míra slunečního záření na ponechané mrtvé dřevo při zavedení ochranných strategií zaměřených na zvýšení saproxylické biodiverzity v evropských lesích.

Klíčová slova: Mrtvé dřevo, biodiverzita, lesní hospodaření

Evaluation of existing measures to support dead wood in forests

Abstract

The bachelor's thesis deals with the major methods and strategies of dead wood management and increase of dead wood in forest ecosystem. Through a recherche of scientific studies, it evaluates and clarifies the ecological and economic impacts of various strategies for increasing the amount of dead wood to support biodiversity. Dead wood enrichment is very important for preservation of the biodiversity of saproxylic organisms. Globally, biodiversity in forest ecosystems is declining at the expense of forest management operational goals. To increase dead wood in forests, it is necessary to introduce measures related to sustainable forest management, which is aimed at prioritizing the support of biodiversity. At the same time, the implementation of these measures should be set up to not affect the operational and economic aspects of forest management. One of the measures presented in this bachelor thesis may be the implementation of an integration strategy for raising dead wood in forests. This strategy is focused on the active enrichment of dead wood in commercial forests during harvesting operations. In addition to natural evolution, an increase of dead wood can also be achieved by artificial creation of dead wood. These kind of methods have been experimentally demonstrated to have a positive effect on biodiversity. Part of this bachelor's thesis is also the assessment of various qualitative characteristics of dead wood (for instance tree species, microclimate, decomposition phase) and how the consideration of qualitative characteristics can affect the promotion of biodiversity. One of the characteristics that the bachelor's thesis presents is the wood composition. The authors of the studies put the great importance to keeping the deadwood of original tree species. Another factor that should be taken into consideration during the implementation strategies pointed at increasing saproxylic biodiversity in European forests is the level of solar radiation on retained dead wood.

Key words: Dead wood, biodiversity, forest management

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Klíčové vlastnosti mrtvého dřeva	12
2.1 Charakteristika mrtvého dřeva	12
2.2 Systém rozkladu tlejícího dřeva	13
3 Cíl práce a Metodika	14
3.1 Cíl práce	14
3.2 Metodika	14
4 Význam mrtvého dřeva	15
4.1 Význam pro biodiverzitu.....	15
4.2 Význam pro semenáčky dřevin.....	16
4.3 Význam pro koloběh živin	17
5 Metody managementu s mrtvým dřevem	18
5.1 Základy managementu s mrtvým dřevem	18
5.2 Integrační strategie hospodaření	20
5.3 Umělá tvorba mrtvého dřeva.....	23
5.4 Kvalitativní znaky ponechaného mrtvého dřeva.....	27
5.4.1 Druhy dřevin	27
5.4.2 Mikroklima	28
6 Ekonomické hledisko popisovaných metod a opatření.....	31
7 Závěr.....	31
8 Seznam použitých zdrojů	35

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Množství mrtvého dřeva na lesních pozemcích před a po implementaci strategie obohacování mrtvého dřeva. (Doerfler et. al., 2018).

Obrázek č. 2 Využití strategie obohacování mrtvým dřevem v lesním hospodářském celku Ebrach v Německu. Obrázek ukazuje ponechanou korunu stromu po těžební činnosti. (Doerfler et. al., 2018).

Obrázek č.3 Mapy studijních lokalit v lese Steigerwald na šesti různých místech (A – F) a obrázky všech typů podjednotek. Jedná se o čerstvě pokácené kmeny a větvové svazky šesti druhů stromů (*Abies alba*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* a *Quercus petraea*). (Vogel et. al.,2020)

Obrázek č. 4 Grafické vyjádření vlivu míry oslunění na alfadiverzitu (a) saproxylických brouků na ponechaných kládách, (b) dřevokazných hub, (c) pavouků na ponechaných kládách a (d) saproxylických brouků v ponechaných tenkých větvích. (Vogel et. al.,2020)

Seznam tabulek

Tabulka č.1 Obsah tabulky uvádí vyhodnocení a posouzení výhod a nevýhod jednotlivých postupů. Slouží pro účely rozhodování o přijetí opatření lesními hospodářskými celky. Tabulka upravena podle (Vítková et. al., 2018).

Tabulka č. 2 V tabulce jsou uvedeny počty jedinců a počty druhů brouků nalezených ve 169 odebraných vzorcích z vysokých pařezů na lokalitách Bryngelsdalen a Bräcke ängar. Tabulka upravena podle (Jonsell M et. al., 2004)

Tabulka č. 3 Poskytuje shrnutí nejdůležitějších opatření, jejích cíle a výsledky, uvedených v této práci.

Seznam použitých zkratk

tzv. takzvaně

např. například

1. ÚVOD

Dlouhodobé zásahy do přírodních ekosystémů ohrožují biodiverzitu v celosvětovém měřítku, zejména jsou ohroženy lesní ekosystémy, ve kterých se vyskytuje velký podíl rostlinných a živočišných druhů (Gossner et. al., 2016). Metody zaměřující se na minimalizaci těchto ztrát budou formou rešerše vědeckých článků uvedeny a podrobně popisovány v této práci, převážně se zaměřením na metodu podpory mrtvého dřeva v lesních ekosystémech. Jedním z hlavních důvodů zavedení vhodného managementu mrtvého dřeva je zachování a zvýšení biodiverzity, která je základním předpokladem pro udržení multifunkčních lesů. Mrtvé dřevo je významná složka ekosystému a jeho potencionální úbytek může znamenat silné narušení přirozeného vývoje lesa a může následovat jeho poškození. Výsledky z velkého množství studií a výzkumů potvrzují několik důležitých funkcí v lesích. Jednou z nejvýznamnějších funkcí mrtvého dřeva je jeho vliv na biodiverzitu různých organismů vázaných na lesní ekosystém. Další významné role má mrtvé dřevo pro vodní ekosystém lesa, také pro udržení koloběhu uhlíku v lesích a může sloužit jako úkryt, zdroj potravy, nebo jako potenciální místo pro rozmnožování různých druhů živočichů.

Biodiverzita byla Světovým fondem ochrany přírody v roce 1989 definována jako „bohatství života na Zemi, miliony rostlin a mikroorganismů včetně genů, které obsahují, a složité ekosystémy, které vytvářejí životní prostředí. (Primack et. al., 2001). Je jedním z důležitých ukazatelů při hodnocení stavu životního prostředí a poskytuje ekosystémové bohatství využívané naší společností. Studie, které se v této práci objevují, řeší převážně hodnoty alfa diverzity saproxylických společenstev, kterou lze definovat jako rozmanitost druhů jednoho stanoviště. Méně často se ve studiích uvedených v této práci zkoumá rozmanitost saproxylických společenstev na úrovni beta-diverzity, která popisuje rozmanitost druhového složení podél určitého gradientu prostředí, nebo podél zaměpisného gradientu (Whittaker et.al., 1972).

Vývoj lesních ekosystémů a s ním i produkce mrtvého dřeva a jeho návrat do koloběhu živin trval po dobu několika desítek milionů let. Během vývoje se v komplexním ekosystému lesa vyvinulo mnoho důležitých vazeb na mrtvé dřevo. (Bače & Svoboda, 2016). Jeho přirozené množství v lesích se značně liší v závislosti na biomase a rychlosti rozkladu. Množství mrtvého dřeva v mnoha lesních ekosystémech po celém světě je

v dnešní době do značné míry ovlivněno lidskou činností ve formě těžby a výroby palivového dřeva (Seibold & Thorn, 2018).

Na mrtvé dřevo převážně větších rozměrů a v jakémkoliv stádiu rozkladu je vázáno velké množství druhů organismů, např. saproxylický hmyz (brouci - tesaříci, zlatohlávci, krasci), dřevorozkladné houby, dutinové ptactvo, netopýři atd. Pro ochranu těchto taxonů je důležité, aby struktury vzniklé vlivem přirozených disturbancí (především pak již zminované mrtvé dřevo) se v krajině vyskytovaly provázaně ve formě velkoplošných a maloplošných chráněných území. Tato území jsou potřebná pro přežívání chráněných a extinkčních druhů. (Kjučukov & Svoboda, 2018).

2. Klíčové vlastnosti mrtvého dřeva

2.1 Charakteristika mrtvého dřeva

Mrtvé dřevo vzniklé v lesním ekosystému odumřením živých stromů, nebo jejich částí se vyskytuje ve formě stojícího nebo ležícího (Bače, 2016). Obecně známými formami tlejícího dřeva jsou polomy, pařezy, stojící pahýly neboli tzv. vysoké pařezy, vývraty, stromová torza. Dále zde může být zahrnuta dřevní hmota, která je stále živá. V takovém případě se jedná o stromy, které jsou vyvrácené do vody a jsou stále zakořeněné. Tyto stromy mohou být zdrojem úkrytu rybám, mohou sloužit k hnízdění vodních ptáků, nebo poskytovat materiál ke stavbě bobřích hrází. Jako tlející dřevo lze označit i odumírající strom, protože se na takovém stromě vyskytuje kromě živého dřeva také dřevo mrtvé. (Kalous & Číp, 2008).

Mezi jeho důležité funkce patří schopnost zadržovat vodu, zásobovat půdu živinami, poskytovat úkryt a zdroj potravy pro plazy, obojživelníky a také hmyz. V neposlední řadě je důležité také pro další organizmy, jakými jsou lišejníky a houby. (Kalous & Číp, 2008). Je také považován za důležitou složku v cyklu skleníkových plynů, ve kterém slouží jako zásoba velkého množství uhlíku. (Zell et. al., 2009).

Vznik mrtvého dřeva může ovlivňovat také organismy, které nejsou primárně závislé na mrtvém dřevě. (Doerfler, Inken, 2018).

Nesaproxylické taxony reagují pozitivně i negativně na navyšování biomasy mrtvého dřeva v lesních ekosystémech. (Seibold et al., 2015). Dále bylo opakovaně prokázáno, že různé druhy ptáků využívají stojící souše jako místo pro rozmnožování, nebo jako zdroj potravy. (Brandeis et al., 2002; Kroll et al., 2012).

2.2 Systém rozkladu tlejícího dřeva

Tématem procesu rozkladu dřeva se zabývají mnohé odborné studie. Ve střední Evropě však komplexní studie zabývající se rozkladem dřeva střeoevropských dřevin, až na výjimky, téměř chybí (Svoboda et al., 2011). Do ekosystému se mrtvé dřevo dostává mortalitou živých stromů. S mírou mortality úzce souvisí stav, struktura a úroveň disturbancí probíhajících v lesních porostech. Existují různé formy mrtvého dřeva. Tyto jednotlivé formy vznikají v závislosti na režimu disturbancí na konkrétní lokalitě. Například v ekosystémech, kde bude hlavní formou disturbance vítr, se mrtvé dřevo v závislosti na dominantní dřevině, vývojové fázi porostu a síle větru bude objevovat ve formě vývratu. V případě, že k mortalitě stromů na lokalitě bude docházet v důsledku gradace výskytu dřevokazného hmyzu, výsledkem bude velké množství stojících souší, které jsou následně napadány dřevo-rozkladnými houbami. Díky těm pak dojde k lámání souší a dále ke vzniku ležících tlejících klád. Takto vzniklé ležící klády se od klasických polomů liší svými kvantitativními vlastnostmi, protože u nich k opadu koruny a kůry dojde v době, kdy se strom nachází v podobě stojící souše (Svoboda et al., 2011).

Proces rozkladu mrtvého dřeva může trvat desítky let až několik století (Petrillo et al., 2016), v závislosti na vlastnostech tlejícího dřeva (druhy dřeviny, rozměry), Dále může rozklad ovlivnovat také podnebí (teplota a vlhkost). V regionech s nízkou vlhkostí lze očekávat spíše pomalý postup rozpadu, zatímco v relativně vlhkých lesích a prostředích by klimatické podmínky měly podporovat vyšší míru rozkladu. (Fravolini et.al., 2018).

3. Cíl práce a metodika

3.1 Cíl práce

Práce si klade za cíl systematicky zhodnotit ekologické a ekonomické dopady různých metod navyšování množství mrtvého dřeva pro podporu biodiverzity.

3.2 Metodika

Práce je vedena formou rešerše, která se zakládá na vyhledávání informací o určité problematice na základě zadaného dotazu a neposkytuje tedy o tématu žádné nové poznatky a soustředí se na vyhledávání a zřehlední opatření, kterými se zabývají vědecké studie. K nalezení vhodných studií týkajících se managementu mrtvého dřeva a opatření k jeho navyšování jsem používal online akademickou službu Web of Science, která poskytuje k nahlédnutí relevantní vědecké studie. Zprostředkovatelem přístupu k této odborné databázi byly webové stránky ČZU - infozdroje. Pro vyhledání relevantních studií jsem nejčastěji používal následující klíčová slova: dead wood (mrtvé dřevo), forest management (lesní hospodářství), saproxylic organisms (saproxylické organismy), biodiversity (biodiverzita). Mým cílem bylo vyhledávat spíše novější studie, aby se tato práce stala přínosem v podobě shrnutí nejnovějších opatření týkajících se managementu mrtvého dřeva. Upřednostňoval jsem studie publikované v období od 2014 - 2021. V případě, že mě zaujal název studie a připadal mi jako relevantní, přečetl jsem si její abstrakt, abych získal širší přehled o obsahu studie a jejích cílech. Pokud mi krátké shrnutí připadlo jako přínosné pro mou práci studii jsem přečetl celou a snažil se z ní získat relevantní poznatky ve vztahu k mé práci a konkrétním kapitolám. Ke každé informaci získané z určité studie jsem v bakalářské práci uvedl její citaci.

4. Význam mrtvého dřeva

4.1 Význam pro biodiverzitu

Během minulého století došlo ke snížení biodiverzity na celém světě. Jedním z hlavních důvodů snižování počtu druhů je ztráta stanovišť a jejich degradace způsobené převážně intenzifikací zemědělství a lesního hospodářství (Young et. al., 2005). Postupy uplatňované v minulosti zaměřené na intenzivní obhospodařování lesů vedly k masivnímu úbytku klíčových ekologických prvků jako je například tlející dřevo.

Mrtvé dřevo a jeho navyšování je důležité pro biologickou rozmanitost lesů, zejména pro zvýšení rozmanitosti saproxylických druhů.

Jedna čtvrtina všech lesních druhů je saproxylická, což znamená, že jsou vázány na mrtvé dřevo. (Speight, 1989, Stockland et. al., 2012). Také (Vogel et. al., 2020) uvádí, že v Evropě je nejméně 20-30% všech druhů žijících v lesích považováno za saproxylické. Téměř nejrozmanitější skupinou saproxylických organismů je hmyz. Patří mezi ně převážně různé taxony brouků, jako jsou například tesaříci (*Cerambyx*), krasci (*Anthaxia*), nebo zlatohlávci (*Cetonia*).

Důležitost saproxylického hmyzu pro lesní ekosystém spočívá převážně v tom, že jsou důležitými činiteli rozkladu dřeva a koloběhu živin (Ulyshen, 2016). Kromě hmyzu do saproxylické skupiny organismů patří také mechorosty, dřevokazné houby (Heilmann-Clausen & Christensen 2004), lišejníky (Hämäläinen et al., 2015), obojživelníci (DeMaynadier & Hunter, 1995), drobní ptáci (Martin & Eadie, 1999) nebo měkkýši (Kappes et al., 2009). Dále se mezi ně mohou řadit menší savci. Některé nové studie se zabývají vlivem mrtvého dřeva na rozmanitost druhů netopýrů v listnatých lesů. (Alder, D. C. et. al., 2021). V této studii byl pozorován výskyt netopýrů v listnatých lesích v podrostu, v lesích s nepravidelnou výškovou strukturou a v téměř bezzásahových oblastech. U šesti z devíti pozorovaných druhů netopýrů byl zaznamenán největší výskyt v lesích s nepravidelnou výškovou strukturou a bohatých na stojící mrtvé souše (tzv. vysoké pařezy).

Organismy závislé na mrtvém dřevě jsou jedny z nejvíce ohrožených změnami v lesním prostředí. Kromě narušení vlivem člověka vedoucí k fragmentaci lesů se velkou hrozbou pro mnoho saproxylických organismů stává nárůst výskytu homogenních lesů s hustým korunovým zápojem neposkytujícím dostatek světla, na které jsou mnohé taxony vázány (Jaworski T. et. al., 2019). Tyto problémy mohou vést až k úplnému vyhynutí určitých druhů. Například v Německu se mezi extinkční druhy řadí 27 saproxylických druhů brouků (Seibold et al., 2015). Druhy pojící se převážně s listnatými stromy se oproti těm, které jsou vázány na jehličnaté dřeviny, obecně považují za mnohem více ohrožené.

To je následkem pěstování převážně jehličnatých monokultur, které se v minulosti v rámci původního lesního hospodaření upřednostňovaly na úkor listnatých dřevin (Berg et. al., 1994).

Na výskyt saproxylických druhů mají vliv také mikroklimatické podmínky. Například podle (Vogel et. al., 2020) jisté taxony saproxylických brouků a pavouků dosahují nejintenzivnějších výskytů obvykle na mrtvém dřevě vystaveném slunci. Mikroklimatické okolnosti mají značný důsledek pro potenciální navrhovaná opatření a jejich zohlednění by se při implementaci jednotlivých opatření měla brát v potaz. Další významné faktory výskytu jsou fáze rozkladu a druhy dřevin. Úspěšná ochrana saproxylického hmyzu vyžaduje znalosti týkající se jeho ekologických požadavků (Jaworski T. et. al., 2019).

4.2 Význam pro semenáčky dřevin

V poslední fázi rozkladu se dřevo stává součástí půdy a tím vytváří vhodný substrát pro vývoj semenáčků. (Svoboda et al., 2011) Proto jsou lokality s výskytem velkého množství tlejícího dřeva vhodným stanovištěm pro klíčení semenáčků a přirozenou obnovu lesa. Podle (Harmon et al. 1986) mrtvé dřevo představuje až 45 % nadzemní zásoby organického materiálu. Díky tomu, že jednotlivé prvky uvolňuje pomalu, může působit jako dlouhodobé přírodní hnojivo. (Holub et al. 2001; Hruška & Cienciala 2002)

Vliv mrtvého dřeva na přirozené zmlazení je popsán v mnoha studiích (Christie & Armesto 2003, Svoboda et al., 2011). Například ve studii (Christie & Armesto 2003) se uvádí, že ve starších porostech s větším množstvím mrtvého dřeva se vyskytuje větší podíl sazenic různých druhů dřevin, než v porostech mladšího věku. Ze semenáčků

třinácti různých dřevin nalezených na studované ploše byla u 8 z nich prokázána významná návaznost na ležící klády převážně v pokročilém stádiu rozkladu (Christie & Armesto 2003).

Pro přirozenou obnovu má rozklad dřevní hmoty význam i v dalších oblastech. Například tím, že v důsledku rozkladu dřeva dochází k dřívějšímu oteplování půdy, rychlejšímu tání sněhu a tím také dojde k urychlení nástupu vegetační doby (Mayer & Ott, 1999).

O pozitivním vlivu u mrtvého dřeva na přirozený vývoj semenáčků nelze pochybovat. I přes to však nejsou úplně všechny ležící kmeny pro jejich klíčení vhodné. Například v případě semen klíčících na čerstvě padlých kládách bude pravděpodobně docházet k omezenému odrůstání semenáčků. (Svoboda et al., 2011). Vývoj semen je tedy výrazně ovlivněn kvalitativními parametry mrtvého dřeva (Harmon & Franklin 1989).

4.3 Význam pro koloběh živin

Kromě zásadního významu pro biodiverzitu a vývoj semenáčků mrtvé dřevo rovněž působí jako zdroj energie a rezervoár živin (Lasota et. al.,2018). Zásadní význam má mrtvého dřeva pro dynamiku živin v lesním ekosystému převážně jako zdroj uhlíku. Během rozkladu mrtvého dřeva může uhlík postupovat do atmosféry ve formě CO₂, nebo se může dostat do půdy. Mrtvé dřevo je dále zdrojem makroživin, jako jsou dusík (N), fosfor (P), draslík (K), vápník (Ca) a hořčík (Mg). Rozkladem dřeva se tyto prvky uvolňují do ovzduší (Lasota et. al.,2018). Podstatný význam například pro fixaci dusíku (diazotofii) mají bakterie vyskytující se ve dřevních zbytcích v půdě, které podle (Harvey et al. 1987) fixují 30 až 60 % dusíku (Bače & Svoboda, 2016). Navíc dlouhodobé působení zvýšené koncentrace CO₂ může vést k vyšší produkci biomasy a ke změně její distribuce. (Pokorný et. al., 2013) Podrobnější studií zabývající se vlivem mrtvého dřeva různých druhů dřevin a různých stádiích rozkladu na dynamiku živin v lesním ekosystému je například (Lasota et. al.,2018).

5. Metody managementu s mrtvým dřevem

5.1 Základy managementu s mrtvým dřevem

Na základě dostupné literatury zabývající se mrtvým dřevem a jeho důležitostí pro biologickou rozmanitost, přirozenou obnovu, saproxylický hmyz a jiné, lze vyvodit několik přístupů a opatření, které jsou použitelné k navýšení množství mrtvého dřeva v hospodářských lesích. Mezi taková opatření patří například ponechání skupiny stromů bez těžebního zásahu na okrajích obnovených ploch, ponechání dřevního odpadu po těžební činnosti, ponechávání vyvrácených stromů, ponechání pařezů, nebo odstranění části kůry živých stromů (Bače & Svoboda, 2016). Těmito metodami se práce bude podrobně zabývat v následujících kapitolách.

Ideálním přístupem při hospodaření s tlejícím dřevem je kombinace jednotlivých přístupů za účelem dosažení vhodného objemu a rozmanitosti mrtvého dřeva.

Podstatou navyšování je dokázat pracovat s přírodními procesy, díky kterým vzniká mrtvé dřevo a rovněž je důležitá ochrana již existujícího mrtvého dřeva (Humphrey & Bailey, 2012). Dalším důležitým aspektem managementu mrtvého dřeva je nalezení kompromisu mezi navyšováním biodiverzity a provozními, nebo obchodními hledisky. Obecně se malé množství ponechávaného mrtvého dřeva stává problémem většiny lesnický rozvinutých zemí Evropy a tato problematika se stává zájmem různých vědeckých prací (Bače & Svoboda, 2016). Koncept hospodaření s mrtvým dřevem byl v omezené míře součástí některých lesních podniků například v Německu, Švýcarsku, Francii, Itálii, Rakousku. Podrobné informace o množství mrtvého dřeva v hospodářských lesích nejsou v mnoha zemích Evropské unie k dispozici, protože se postupy zaměřené na hospodaření s mrtvým dřevem a jeho navyšováním uplatňují pouze posledních 20 let (Vítková et al., 2018). Z těchto důvodů není k dispozici o výsledcích jednotlivých opatření a postupů hospodaření s mrtvým dřevem se zaměřením na zvyšování kvality a kvantity mrtvého dřeva příliš mnoho publikací v mezinárodní literatuře až na několik výjimek. Například tyto: (Vítková et al., 2018; Bače & Svoboda, 2016; Rimle et al., 2017). Některé z nejdůležitějších postupů jsou uvedeny tabulce č. 1.

Tabulka č. 1 Obsah tabulky uvádí vyhodnocení a posouzení výhod a nevýhod jednotlivých postupů. Slouží pro účely rozhodování o přijetí opatření lesními hospodářskými celky. Tabulka upravena podle (Vítková et. al., 2018).

Opatření	Výhody	Nevýhody
Ponechání jednotlivých živých stromů	Vytváří důležité mikrohabitaty pro saproxylický hmyz; zajišťuje nepřetržitý přísun semen; podporuje rozvoj prvků typických pro původní lesy.	Při ponechání příliš malých stromů nemusí dojít k vytvoření dostatečně vhodného stanoviště pro saproxylické druhy, které vyžadují větší segmenty mrtvého dřeva.
Ponechání skupiny stromů k dožití	Vytváří vhodné mikrohabitaty pro saproxylické houby nebo epixylické mechorosty; vytváří mikroklima; zajišťuje nepřetržitý přísun semen; podporuje rozvoj prvků typických pro původní lesy.	Při ponechání příliš malých stromů nemusí dojít k vytvoření dostatečně vhodného stanoviště pro saproxylické druhy, které vyžadují větší segmenty mrtvého dřeva
Zachování již existujícího mrtvého dřeva	Mrtvé dřevo v pokročilých stadiích rozpadu poskytuje stanoviště pro saproxylické organismy; podporuje rozvoj prvků typických pro původní lesy	U některých druhů dřevin může být zdrojem škůdců (např. Smrk a kůrovec); stojící souše se mohou rozkládat delší dobu.
Ponechávání vyvrácených stromů	Poskytuje mikrohabitaty pro saproxylické druhy; podporuje rozvoj prvků typických pro původní lesy	U některých druhů dřevin může být zdrojem škůdců (např. Smrk a kůrovec); stojící souše se mohou rozkládat delší dobu.
Ponechání pařezů	Poskytuje mikrohabitaty pro saproxylické druhy	V závislosti na výšce pařezu může dojít k příliš rychlému rozkladu
Odstranění části kůry živého stromu	Vytvoření mrtvého dřeva a tvorba mikrohabitátů pro saproxylické druhy; podporuje rozvoj prvků typických pro původní lesy	Odkorněná část se může stát místem pro snadný přístup nežádoucích škůdců a rozvoj chorob.
Ponechání mrtvého dřeva požadovaných druhů stromů	Podporuje saproxylické druhy vázané na mrtvé dřevo konkrétních druhů dřevin	U některých druhů dřevin může být potenciálním zdrojem škůdců (např. Smrk a kůrovec)
Ponechání stromů specifických rozměrů	Vytváří důležité mikrohabitaty pro saproxylické druhy vázané na mrtvé dřevo konkrétních druhů dřevin; podporuje rozvoj prvků typických pro původní lesy	Při ponechání příliš malých stromů nemusí dojít k vytvoření dostatečně vhodného stanoviště pro saproxylické druhy, které vyžadují větší segmenty mrtvého dřeva

Opatření	Výhody	Nevýhody
Ponechání mrtvých a živých stromů vystavených slunci	Vytváří důležité mikrohabitaty pro saproxylické druhy vyžadující slunci vystavená stanoviště; podporuje rozvoj prvků typických pro původní lesy	Při ponechání příliš malých stromů nemusí dojít k vytvoření dostatečně vhodného stanoviště pro saproxylické druhy, které vyžadují větší segmenty mrtvého dřeva

5.2 Integrovaná strategie hospodaření

Celosvětově se ochranářský přístup k lesům aplikuje ve formě oddělení hospodářsko-produkčních oblastí od bezzásahových oblastí sloužících k ochraně biodiverzity. Naproti tomu lze využít integrovaný přístup, který ve své práci uvádí (Doerfler et. al., 2018). Ten je založen na sloučení těchto oblastí a tím spojení produkčního využití lesů s ochranou biologické rozmanitosti lesů navyšováním množství stanovišť, zejména ve formě mrtvého dřeva. Zavedení integrovaní strategie může změnit vzájemný vztah mezi typem porostu, lesním hospodářstvím a množstvím mrtvého dřeva (Doerfler et. al., 2018). Variabilita lesních porostů a snaha o její docílení se může stát méně důležitá díky pravidelnému obohacování mrtvým dřevem během výchovných předmyšlných těžeb a myšlných těžeb a výrobních operací s těžbou spojených, které by měly mít na navyšování vcelku pozitivní vliv. Podle (Doerfler et. al., 2018) by se množství mrtvého dřeva v lesích obhospodařovaných touto strategií mělo rovnat množství mrtvého dřeva v bezzásahových a chráněných oblastech. Na integrovaní hospodaření odkazuje také studie (Gustafsson et. al., 2013).

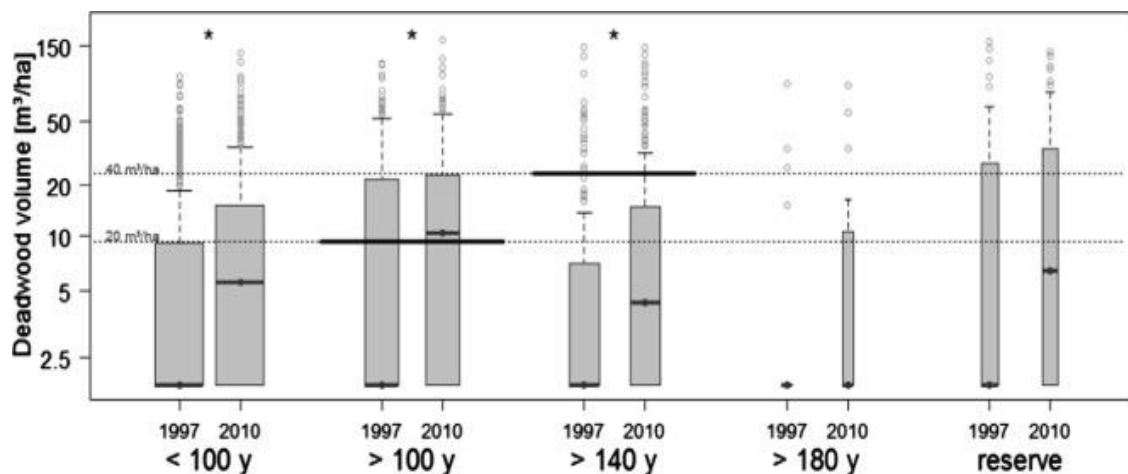
Metoda byla aplikována v mnoha zemích Evropy, konkrétně lze zmínit například použití v lesním hospodářském celku Ebrach v Německu (Bavorsko), který zahrnuje 17 000 ha lesa a jedná se o státní lesní podnik. Aplikace metody a podrobnosti použití jsou uvedeny ve studii (Doerfler et. al., 2018). Studie si klade za cíl odpovězení na otázky, zda zavedení strategie vede k měřitelnému nárůstu mrtvého dřeva ve výše zmiňovaném lesním hospodářském celku během období kratšího deseti let a jaké jsou hlavní faktory ovlivňující množství mrtvého dřeva v těchto lesích.

Jedním z nejdůležitějších prvků strategie je obohacování strukturální rozmanitosti obhospodařovaného lesa, a to ve formě zvyšování množství mrtvého dřeva. Toho se má

docílit ponecháním špiček koruny, dřevního odpadu po odvětvování a ponecháním dřevních částí nízké jakostní kvality během těžby v lese. Na navyšování mrtvého dřeva se má také podílet přirozená úmrtnost stromů, čehož lze podle strategie docílit ponecháváním jednotlivých starých stromů k dožití na porostní ploše po mýtní těžbě, což se označuje jako tzv. ponechání výstavků. Strategie je dále zaměřena na vytváření stromových stanovišť poskytujících mikrohabitaty různých taxonů saproxylických organismů.. Očekávané výsledné hodnoty byly stanoveny na $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ mrtvého dřeva v listnatých porostech starších 100 let a $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ mrtvého dřeva v listnatých porostech starších než 140 let. Pro vyhodnocení strategie byla využita data z inventarizace lesů, které by umožnila porovnání výsledků před a po aplikaci. Pravidelnou inventarizaci lesů provádí každých 13 let Bavorská lesní státní správa. K souhrnu dat z inventarizace byly použity 2 inventáře. První inventář byl vytvořen v roce 1997 a následně byla stejná inventarizace provedena v roce 2010. Druhý inventář byl vytvořen v roce 2004 a metodicky stejná inventarizace provedena v roce 2015. Jednotlivé parcely (pozemky), sloužící k inventarizaci měly rozměry 200 x 200 metrů. První inventarizace zahrnovala 2579 pozemků a inventář v roce 2010 zahrnoval 4532 pozemků. Ve studii byly vyhodnoceny pouze pozemky využívané v obou dvou inventarizacích v celkovém počtu 1348. Z toho 1282 se nacházelo v hospodářských lesích a 63 v přírodních rezervacích.

Množství mrtvého dřeva před aplikací strategie v roce 1997 bylo v inventáři č. 1 zaznamenáno s hodnotou $8,7 \pm 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. V roce 2010 po aplikaci strategie množství mrtvého dřeva významně vzrostlo na $13,5 \pm 0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Obohacování mrtvým dřevem bylo realizováno ve všech věkových kategoriích. Množství mrtvého dřeva v lesních přírodních rezervacích před implementací strategie bylo v roce 1997 $22,3 \pm 5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ z celkového počtu 63 ploch.

V roce 2010 bylo v inventarizaci ploch v chráněných bezzásahových oblastech zaznamenáno $26,5 \pm 5,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, což znamená, že oproti výraznému nárůstu mrtvého dřeva v hospodářských lesích nebyl v přírodních rezervacích nárůst tak významný.



Obrázek č. 1 Množství mrtvého dřeva na lesních pozemcích před a po implementaci strategie obohacování mrtvého dřeva. Levý diagram ukazuje objem mrtvého dřeva z inventáře 1 před implementací strategie v roce 1997. Pravý diagram ukazuje objem mrtvého dřeva z inventáře 1 v roce 2010 po implementaci. Přerušovanou čarou jsou označeny plány pro mrtvé dřevo a plná čára znázorňuje plány pro konkrétní věkovou třídu.

Podle (Doerfler et. al., 2018) v porostech starších 100 let bylo dosaženo stanoveného cíle $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ mrtvého dřeva. Naproti tomu cíl $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ u porostů starších 140 let nebyl naplněn. U porostů mladších 100 let se také podařilo dosáhnout určitého navýšení, i když u nich nebyl stanoven žádný konkrétní cíl. U mladších porostů z důvodů nižšího objemu dřeva je vhodné stanovit nižší cíle. Ve výsledku nevznikl příliš velký rozdíl mezi množství mrtvého dřeva v různých věkových třídách.

Navýšení množství mrtvého dřeva v mladších porostech mohou lesní hospodáři dosáhnout tím, že během provádění mytních těžeb ponechají jednotlivé staré stromy k dožití.

Na podobné řešení také odkazuje studie (Bujoczek et. al., 2021) Ve studii bylo dále zjištěno, že největších hodnot množství mrtvého dřeva lze nejlépe dosáhnout při střední intenzitně těžby. Co se týče druhů dřevin, studie ukázala, že k navyšování mrtvého dřeva dochází hlavně v porostech, kde dominuje buk.

Po implementaci nebyl zaznamenán žádný významný výskyt druhů škůdců vázaných na jehličnaté dřeviny jako je například kůrovec smrkový (*Ips typographus*), což vede k předpokladu, že strategie lze uplatnit i ve smíšených či jehličnatých porostech.



Obrázek č. 2 – Využití strategie obohacování mrtvým dřevem v lesním hospodářském celku Ebrach v Německu. Obrázek ukazuje ponechanou korunu stromu po těžební činnosti. Podle (Doerfler et. al., 2018).

Studie (Doerfler et. al., 2018) jako jedna z prvních vědecky vyhodnotila úspěšnost strategie obohacování mrtvého dřeva aplikovanou na konkrétním lesním hospodářském celku. Strategie ponechávání dřevního odpadu a ponechávání jednotlivých starých stromů k dožití vedla k výraznému měřitelnému nárůstu mrtvého dřeva na šetřeném lesním pozemku. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že aplikace integrační strategie se může stát hodnotným prostředkem pro lesní hospodářské celky a ochranu přírody se zaměřením na podporu biodiverzity.

5.3 Umělá tvorba mrtvého dřeva

Většina metod souvisejících s navyšováním mrtvého dřeva se převážně soustřeďují na vznik mrtvého dřeva prostřednictvím přirozeného vývoje. Strategie sloužící k navyšování množství mrtvého dřeva a mikrohabitátů s ním spojených mohou zahrnovat také aktivní poškození živých stromů za účelem napodobení určitých druhů disturbancí.

Pro tento účel lze podle (Brandies. et. al., 2002) použít například harvesterovou technologii kácení. K tvorbě většího množství mikrohabitátů lze uplatňovat například navrtávání otvorů do živých stromů, což napomáhá následnému vzniku různých struktur mrtvého dřeva jako například dutiny (Zaponni et. al., 2015).

Podobné postupy uvádí také (Vítková et al., 2018). V této studii je navrženo například

odstraňování části kůry živého stromu. To má za následek odstranění nejhlubší vrstvy kůry, takzvaný floém a čímž dojde k odumření stromu, v důsledku přerušení transportu cukrů do kořenů. (Randall B. H., 2021).

Další rozšířenou metodou umělého vytváření mrtvého dřeva je zkracování živých stromů ve výšce 3-5 metrů nad zemí (Stockland et. al., 2012), čímž dojde k vytvoření vysokých pařezů. Tato strategie se nejčastěji využívá ve Skandinávii. Zkracování se nejčastěji provádí harvestorem. Na tuto metoda odkazuje například (Jonsell M et. al., 2004), kde cílem studie bylo zjistit, zda se takto uměle vytvořené stojící souše mohou stát vhodným stanovištěm pro extinkční saproxylické druhy brouků a zjistit rozdíl mezi faunou uměle vytvořených vysokých pařezů a faunou přirozeně vzniklých souší. Jako zkušební stromy byly ve studii použity topol osika (*Populus tremula*) a bříza (*Betula spp.*). V praxi se většinou pro krácení živých stromů používá harvestorová technologie. Zkoumané pařezy se vyskytovaly na dvou zkušebních plochách (Bräcke ängar a Bryngelsdalen) v jižní části boreální zóny v jihozápadní části Švédska.

Všechny vysoké pařezy byly vytvořeny v březnu 1995 pomocí harvestoru byly živé stromy zkráceny 5 metrů nad zemí. Ve stejných lokalitách byly provedeny také odběry z přirozeně vzniklých pahýlů. Odebírání vzorků proběhlo celkem dvakrát, a to v letech 1997 a 2000. Při odebírání byl pro každý pahýl zaznamenán jeho typ (umělý/ přirozeně vzniklý), expozice vůči slunci (zasluněný/polostín/stín), míra rozpadu a průměr.

Míra rozpadu byla rozdělena podle (Essen et. al., 1997) na čerstvě mrtvé dřevo (1), starší mrtvé dřevo, ale stále tvrdé (2), dřevo ve vysokém stádiu rozkladu (3). Vzorek byl proveden odebíráním 0,25 m² kůry souše většinou v prsní výšce. Celkem bylo odebráno 169 vzorků: 80 v roce 1997 a 89 v roce 2000. Nelezeno bylo celkem 3438 jedinců saproxylického hmyzu náležících k 116 druhům, z nichž 21 se vyskytuje na červeném seznamu ohrožených druhů (Jeremy, 2001). V případě uměle vytvořených pařezů bylo nalezeno celkem 95 saproxylických druhů brouků, z nichž 72 bylo na uměle vytvořených osikových pahýlech.

U mnoha druhů, včetně těch kriticky ohrožených, byl pozorován intenzivnější výskyt u stojících souší vytvořených uměle než u stojících souší vzniklých přirozeným úmrtím.

Na vytvoření vysokých pařezů je však potřeba speciální vybavení. Obvykle lze využít harvestorovou technologii. Autoři studie na závěr uvádějí, že takovýmto způsobem

vytvořené vysoké pařezy mohou podpořit pouze část druhového spektra fauny vázané na mrtvé dřevo. Obvykle se totiž během jedné operace vytvoří mnoho stojících souší a po několika desetiletí ve stejné lokalitě se další již nevytvoří, avšak druhy které tyto pahýly kolonizují, mohou vytvářet velké populace, které mohou emigrovat a kolonizovat další oblasti.

Studie dospěla k závěru, že uměle vytvořené stojící souše (vysoké pařezy) jsou velice cenným stanovištěm pro mnoho druhů saproxylických brouků.

Tabulka č. 2 V tabulce jsou uvedeny počty jedinců a počty druhů brouků nalezených ve 169 odebraných vzorcích z vysokých pařezů na lokalitách Bryngelsdalen a Bräcke ängar. Tabulka upravena podle (Jonsell M et. al., 2004)

Bryngelsdalen			Bräcke ängar			Celkem	Celkem
	1997	2000	celkem	1997	2000		
Počet jedinců							
Celkem	531	634	1165	1720	1063	2783	3948
Saproxylických	474	552	1026	1598	814	2412	3438
Na červeném seznamu	35	15	50	969	58	1027	1077
Počet druhů							
Celkem	48	62	84	60	90	115	139
Saproxylických	45	60	79	57	74	96	116
Na červeném seznamu	6	5	11	6	10	14	21

Vlivem uměle vytvořeného mrtvého dřeva na rozmanitost saproxylického hmyzu se zabývá také studie (Lindhe and Lindelöw, 2004). Studie si kladla za cíl po dobu 7 let pozorovat výskyt saproxylických druhů hmyzu na uměle vytvořených vysokých pahýlech smrku, břízy, osiky a dubu. Autoři se zaměřovali na to, kolik druhů využívá tyto stojící souše. Z odebíraných vzorků bylo zaznamenáno celkem 86 690 jedinců pařících k 527 druhům saproxylických brouků a 78 druhů patřilo k ohroženým druhům na červeném seznamu. Jako dřevinu hostící největší počet saproxylických druhů, včetně ohrožených, autoři uvádějí topol osiku.

Zavedení strategie vytváření umělých vysokých pařezů lze považovat za cenný nástroj pro zvýšení rozmanitosti saproxylických brouků (Jonsell et al., 2004). Většina studií se zaměřuje primárně na význam stojících souší v souvislosti s rozmanitostí saproxylického hmyzu (Jonsell et al., 2004, nebo Lindhe and Lindelöw, 2004). Ty, které se zabývají důležitostí mrtvého dřeva pro jiné taxony, například lišejníky a houby, jsou však méně časté. Význam vysokých pařezů pro lišejníky hodnotí studie (Hämäläinen et. al., 2021). Autoři se zde zaměřují převážně na uměle vytvořené vysoké pahýly. Podle (Hämäläinen et. al., 2021) vysoké pařezy mohou být kromě zásadního významu pro diverzitu saproxylického hmyzu také cenným substrátem pro lišejníky vázané na mrtvé dřevo. Záměrem této studie bylo zjistit, jak cenným substrátem jsou uměle vytvořené pařezy pro saproxylické druhy lišejníků ve srovnání s přirozeně vzniklým tlejícím dřevem. Studie probíhala v porostech vlastněných státní lesní společností ve středním boreálním regionu ve Švédsku. Lišejníky byly zkoumány v létě roku 2018 z vysokých pařezů uměle vytvořených, dále také přirozeně vzniklých a rovněž z ostatních forem mrtvého dřeva jako například ležící souše. Ze vzorku zde převažovala borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Pozorování se týkalo 74 borových porostů, které byly autory rozděleny do pěti věkových tříd (3–5, 6–8, 9–11, 12–14 a 15–17 let). Do průzkumu bylo vybráno 15 porostů z každé věkové třídy. Lišejníky byly odebírány z pěti vysokých pahýlů v každém porostu. Dohromady bylo na vysokých pahýlech nalezeno a rozlišeno 81 druhů lišejníků, z nichž 13 bylo saproxylických. Mrtvého dřeva ve formě ležících souší hostilo celkem 111 druhů lišejníků včetně 2 saproxylických druhů a 8 ohrožených druhů z červeném seznamu (Ahrne a Bjelke, 2020). Vysoké uměle vytvořené pařezy vykazovaly u všech typů porostů nižší druhovou bohatost než u mrtvého dřeva ve formě přirozeně vzniklých stojících souší, nebo ležících klád. Ve výsledku jsou tedy uměle

vytvořené pahýly, při porovnání s jinými druhy mrtvého dřeva, hostiteli nižší druhové bohatosti a méně variabilních společenstev lišejníků. Chybělo na nich několik druhů lišejníků, které byly pozorovány na přirozeně se vyskytujícím mrtvém dřevě ve stejné oblasti. Jedním z důvodů nižší druhové bohatosti může být to, že vysoké pařezy představují příliš jednotný substrát pro lišejníky, kdežto ostatní formy mrtvého dřeva jsou více variabilní. Podle (Hämäläinen et. al., 2021) se vysoké uměle vytvořené pahýly tedy nejeví jako dostatečný hodnotný substrát pro saproxylické lišejníky na rozdíl od jiných taxonů jako například hmyz vázaný na mrtvé dřevo (Lindhe and Lindelöw, 2004; Jonsell et al., 2004).

5.4 Kvalitativní znaky ponechávaného mrtvého dřeva

Biodiverzita saproxylických organismů je ovlivněna nejen kvantitativními ukazateli, ale také kvalitativními charakteristikami jako jsou například druhy dřevin, fáze rozkladu, mikroklima, nebo stáří tlejícího dřeva (Gossner et, al., 2016). Pochopení faktorů určujících množství a kvalitu mrtvého dřeva v hospodářských lesích, je předpokladem pro vznik metod cílených na jeho navýšení bez výrazného snížení produkce lesa. (Kapusta et. al., 2020)

5.4.1 Druhy dřevin

K nejdůležitějším kvalitativním charakteristikám mrtvého dřeva patří druhová skladba ponechaných dřevin. Při implementaci strategií navyšování mrtvého dřeva je důležité vědět, které druhy stromů nejvíce přispívají k zachování diverzity. Studie zaměřující se na boreální lesy (Lindhe and Lindelöw, 2004; Jonsell et al., 2004; Tikkanen et. al., 2007) často poukazují na velký význam dřevin rodů: *Populus*, *Picea*, *Pinus*, *Betula*. Práce zabývající se biodiverzitou saproxylických druhů a jejich hostitelských druhů stromů na úrovni temperátních lesů (Milberg et al., 2014; Gossner et. al., 2016) většinou odkazují na větší rozmanitost druhů dřeviny. Uvádí se například tyto rody: *Quercus*, *Carpinus*, *Fagus*, *Populus*, *Acer*. K ponechání by měly být upřednostňovány druhy stromů s pomalejším rozpadem a také původní dřeviny k podpoře místních společenstev druhů (Vítková et. al., 2018). Některé druhy například *Carpinus* a druhové kombinace

Carpinus/Picea podle studie (Gossner et. al., 2016) dosáhly výjimečně vysoké diverzity brouků. Nejvyšší hodnoty biodiverzity saproxylických brouků podle (Andringa J.I., 2019) vykazuje kombinace jehličnatých a listnatých dřevin po jednom až dvou letech rozkladu. Přičemž nejvýznamnějších hodnot dosahovaly kombinace dřevin *Picea abies*, *Alnus glutinosa*, *Acer pseudoplatanus* a *Larix kaempferi* (Andringa J.I., 2019). Většina druhů saproxylických brouků není ve velké míře monofágní, což znamená, že není orientována na specifického hostitele. Hostitelská specificita se týká převážně obligátních druhů saproxylických brouků, které souvisí z velké části s duby. (Milberg et. al., 2014). Jedním z důvodů může být rychlost rozkladu dřeva (např. Rock et. al., 2008) dubové dřevo se rozkládá pomaleji a tím vytvoří trvanlivější dřevní formu.

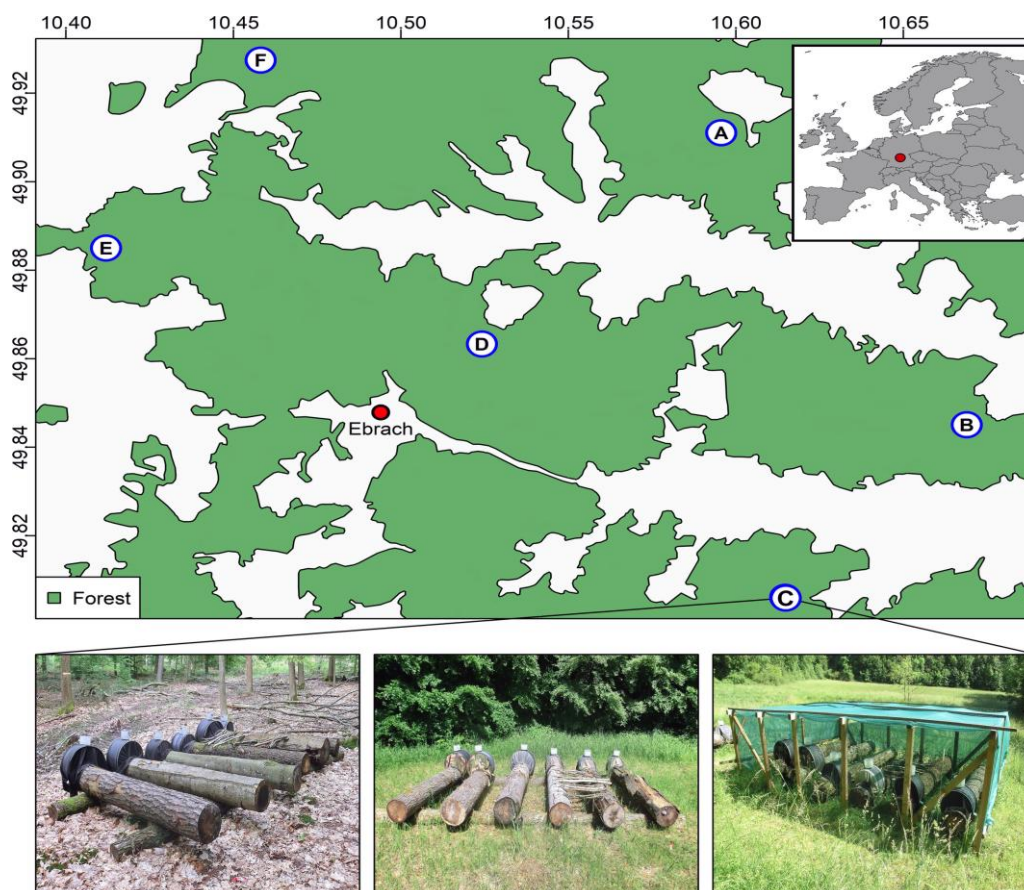
Z hlediska ochrany biodiverzity se tedy není potřeba příliš soustředit na specificitu hostitelských druhů dřevin (Milberg et. al., 2014).

Studie zaměřující se na lesy mírného pásma (Milberg et. al., 2014; Gossner et. al., 2016) obecně upozorňují na nízkou specificitu druhů brouků vázaných na mrtvé dřevo. Důvodem nízké specificity může podle (Gossner et. al., 2016) být to, že hospodářské lesy mírného pásma, kterými se tyto studie zabývají, jsou spíše monokulturami s nízkým počtem druhů dřevin. Rozmanitost mrtvého dřeva v těchto lesích je tedy velice omezená, čímž je omezen také výběr hostitele pro saproxylický hmyz.

5.4.2 Mikroklima

Mikroklimatické podmínky ponechaného tlejícího dřeva jsou určovány zejména otevřeností korunového zápoje (Seibold et. al., 2016). Aktivní navyšování mrtvého dřeva během těžebních operací (např. Doerfler et. al., 2018) se často zaměřuje více na množství mrtvého dřeva než na jeho rozmanitost. Důsledkem může být často obohacování mrtvého dřeva bez ohledu na mikroklima v silném zastínění a ponechávání převážně dominantních druhů dřevin. Vlivem mikroklimatu na biodiverzitu saproxylických druhů brouků a pavouků se zabývá studie (Vogel et. al., 2020). Předmětem studie bylo zodpovězení otázky, zda experimentální vystavení mrtvého dřeva na slunci má vliv na rozmanitost druhů organismů vázaných na mrtvé dřevo. Objekty mrtvého dřeva ze šesti různých druhů dřevin byly vystaveny slunci, přirozeném zástínu korunového zápoje a umělému zastínění. Studie byla provedena v lese Steigerwald v Bavorsku

v Německu. V roce 2015 bylo autory studie založeno šest studijních lokalit. Každá tato lokalita se rozdělovala na 3 podjednotky vystaveného mrtvého dřeva lišící se stupněm oslunění: (a) sluncem vystavené mrtvé dřeva na lesní louce, (b) mrtvé dřevo vystavené zástínu korunového zápoje, (c) mrtvé dřevo uměle zastíněné stínící sítí.

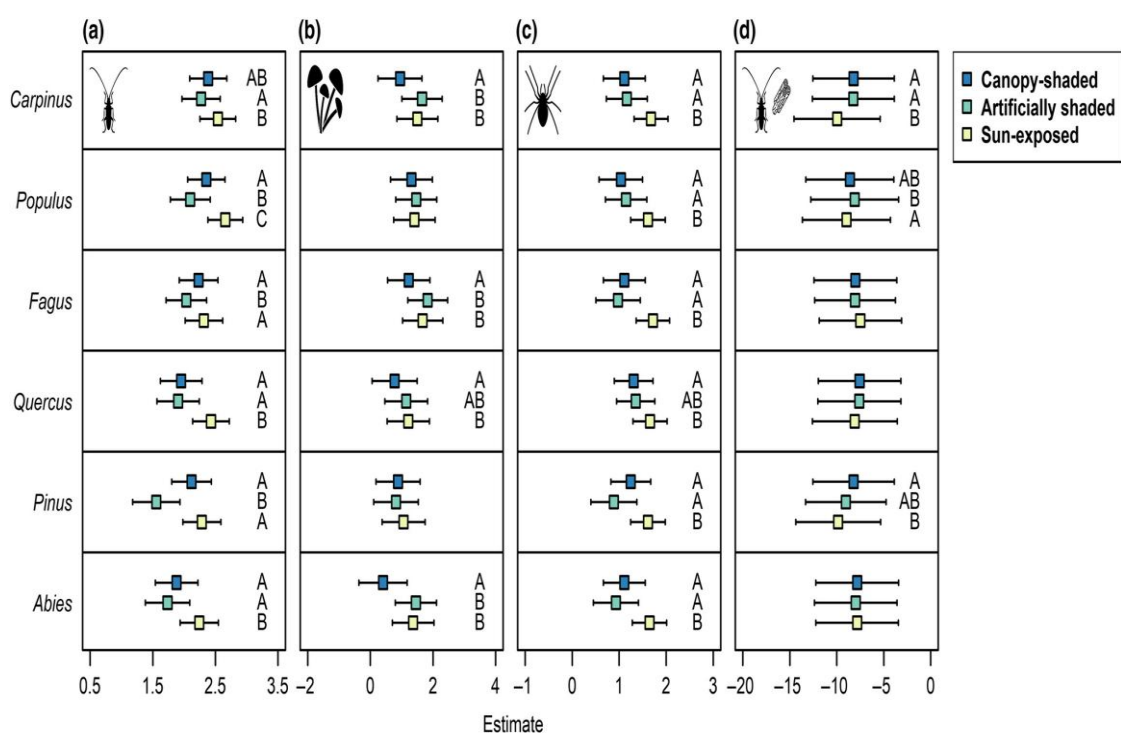


Obrázek č.3 Mapy studijních lokalit v lese Steigerwald na šesti různých místech (A – F) a obrázky všech typů podjednotek. Jedná se o čerstvě pokácené kmeny a větвовé svazky šesti druhů stromů: (*Abies alba*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* a *Quercus petraea*). Ty byly vystaveny na všech lokalitách stejně. (Vogel et. al.,2020).

Pro odběr vzorků společenstev saproxylických brouků a pavouků byly použity pasti naplněné nasyceným solným roztokem a vyprazdňovány každý měsíc mezi dubnem a zářím v letech 2016, 2017 a 2018. Dále byla na experimentálně ponechaných kládách během stejných let sledována také rozmanitost dřevokazných hub.

Během těchto tří let odebrání bylo identifikováno 238 druhů (16 264 jedinců) saproxylických brouků a 126 druhů (2 421 jedinců) pavouků. Nejvyšší počet druhů u brouků, hub a také u pavouků byl zaznamenán na sluncem vystavených plochách. Na uměle zastíněných plochách byl počet druhů brouků a pavouků nižší než na plochách přirozeně zastíněných.

Nejvyšší počet druhů syproxylických brouků a dřevokazných hub byl pozorován u těchto druhů dřevin: *Carpinus*, *Fagus* a *Populus*. U druhů pavouků nebyly rozdíly mezi dřevinami pozorovány.



Obrázek č. 4 Grafické vyjádření vlivu míry oslunění na alfa-diverzitu (a) saproxylických brouků na ponechaných kládách, (b) dřevokazných hub, (c) pavouků na ponechaných kládách a (d) saproxylických brouků v ponechaných tenkých větvích. Modrou barvou jsou označeny plochy přirozeně zastíněné. Žlutou barvou jsou označeny jednotky ponechané slunci a uměle zastíněné jsou označeny zelenou barvou (Vogel et. al.,2020).

Výsledky studie (Vogel et. al.,2020) poukazují na to, že je důležité zohlednit druhy dřevin ponechaného mrtvého dřeva a míru slunečního záření při zavedení integrovaných ochranných strategií zaměřených na zvýšení saproxylické biodiverzity v evropských lesích.

6. Ekonomické hledisko popisovaných metod a opatření

Hospodaření s mrtvým dřevem lze bezesporu považovat za účinný nástroj na zmírnění negativních vlivů lesního hospodářství na biodiverzitu. Mimo vyhodnocení pozitivních vlivů ponechávání mrtvého dřeva a jeho správy pro lesní ekosystém je potřeba také zhodnotit ekonomické aspekty této strategie, se kterým úzce souvisí také ekonomické hledisko trvale udržitelného lesního hospodaření. V případě ponechání dřevní hmoty v lesních porostech dochází k nevyužití hlavní ekonomické komodity lesa, což pro vlastníka lesa vždy znamená ekonomickou ztrátu (Bače & Svoboda, 2016). Opatření na navyšování mrtvého dřeva, na které tato práce odkazuje z různých vědeckých publikací, zajisté nemusí být ve všech případech lesními hospodáři direktivně uplatňována. V případě zavedení těchto postupů by bylo vhodné provést důkladné posouzení jednotlivých opatření pro konkrétní lesní pozemky, u nichž mají být opatření zavedena. Posouzení by se mělo týkat převážně rentability a výnosnosti lesního podniku při zavedení těchto opatření. Vhodná je např. analýza nákladů a přínosů, která by lesním hospodářům mohla pomoci se zavedením vhodného opatření, při kterém může vzniknout rovnováha mezi cíli zaměřenými na podporu biodiverzity a mezi cíli, které se soustředí na produkci dřevní hmoty (Vítková et. al., 2018). Posouzení veškerých opatření sloužících k navýšení mrtvého dřeva z ekonomického hlediska je však velice složité. V současné době jsou pro hospodářské lesy a lesní ekosystémy obecně velkým problémem převážně intenzivní kůrovcové kalamity, které v mnoha zemích Evropy velice nepříznivě ovlivnily trh s dřívím. Zavedení strategií cílených na ponechání dřevní hmoty v porostech se proto v současné situaci může pro mnoho lesních hospodářů jevit jako ekonomicky nepříznivé. Zachování celistvosti lesa a biodiverzity by se mělo stát veřejným zájmem bez ohledu na ekonomické ztráty, které touto formou lesního hospodaření vznikají (Bače & Svoboda, 2016).

7. Závěr

Jelikož se jedná o práci rešeršního typu, neposkytuje tedy žádné nové poznatky o mrtvém dřevě a managementu s ním, ale soustředí se na shrnutí již publikovaných opatření a jejich zpřehlednění. Zavedení managementu s mrtvým dřevem v hospodářsky

spravovaných lesích má pro zachování biodiverzity, se kterou se váže udržení stability lesních ekosystémů, velký význam. Zajisté však nelze u těchto opatření očekávat pouze přínosy ve všech směrech lesního hospodaření. Za nevýhody těchto forem lesního managementu lze považovat určitou ekonomickou ztrátu při jejich zavedení a tato opatření se tak dostávají do rozporu s cílem produkce dřevní hmoty. Na druhou stranu jsou tyto metody hospodaření z finančního hlediska velice nenáročné. Navíc vysoká biodiverzita zajišťuje v lesním ekosystému vysokou stabilitu, od které se také odvíjí produkce dřeva. Ponechání odumřelé dřevní hmoty v lesích může být také negativně vnímáno veřejností, a to hlavně z estetického hlediska. Množství publikací zabývajících se tématem mrtvého dřeva a podporou biodiverzity lze považovat za uspokojivé. Existuje mnoho studií, které se touto problematikou zabývají na úrovni boreálních lesů, převážně se jedná o studie pocházející ze Skandinávie. Např. (Lindhe and Lindelöw, 2004; Jonsell et al., 2004; Tikkanen et. al., 2007; Hämäläinen et. al., 2021). Početné jsou také práce středoevropského významu. Tedy se zaměřením na temperátní lesy. Např. (Vogel et. al.,2020; Milberg et al., 2014; Gossner et. al., 2016; Doerfler et. al.,2018). Naproti tomu počet studií pocházející například z Jižní Evropy je značně omezený. Např. (Zaponni et. al.,2015) Navíc relevantní vědecké studie zabývající se touto problematikou jsou převážně Evropského významu a práce pocházející např. ze Severní Ameriky, nebo Asie téměř chybí. Mrtvé dřevo a organizmy, které jsou na něj vázané, tedy tzv. saproxylické organizmy zahrnují mnoho taxonů jak z rostlinné tak z živočišné říše. Ve většině případů relevantních studií bývá jejich cílem zodpovězení otázky, jak aplikace opatření cíleného na navyšování mrtvého dřeva zavedená na konkrétní lokalitě ovlivňuje biodiverzitu saproxylických organizmů. Mnoho z těchto studií je zaměřeno primárně na nejnižší prostorovou úroveň diverzity, tedy na alfa-diverzitu a nezaměřují se dále na zkoumání beta-diverzity. Studie zabývající se beta diverzitou saproxylických společenstev je např. (Vogel et. al.,2020). Velká část studií se soustředí na zkoumání biodiverzity saproxylických brouků. Např. (Jonsell M et. al., 2004; Gossner et. al., 2016; Gossner et. al., 2013). Studií zaměřujících se na biodiverzitu saproxylických lišejníků, nebo hub je pak o trochu méně. Např. (Vogel et. al., 2020; Hämäläinen et. al., 2021).

Rozhodnutí o implementaci konkrétních opatření souvisejících s trvale udržitelným lesním hospodařením, mezi které se řadí také hospodaření s mrtvým dřevem, může ovlivňovat obecně se zvyšující nároky veřejnosti na ochranu životního prostředí a lesních ekosystémů. Problematikou ochrany životního prostředí a ekologického hospodaření často řeší také různé politické programy, díky kterým získává veřejnost o těchto záležitostech větší povědomí.

Tabulka č. 3 Poskytuje shrnutí nejdůležitějších opatření, jejích cíle a výsledky, uvedených v této práci.

navržené opatření	Cíl studie	původ studie	Odkaz na studii	výsledky studie
Integrační strategie hospodaření - ponechávání dřevního odpadu po těžbě a ponechávání výstavků	Navýšení mrtvého dřeva v lesním hospodářském celku Ebrach na hodnoty $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ mrtvého dřeva v listnatých porostech starších 100 let a $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ mrtvého dřeva v listnatých porostech starších než 140 let	Německo (Bavorsko)	(Doerfler et. al., 2018)	V porostech starších 100 let bylo dosaženo stanoveného cíle $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ mrtvého dřeva. Naproti tomu cíl $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ u porostů starších 140 let nebyl naplněn. U porostů mladších 100 let se také podařilo dosáhnout určitého navýšení.
Umělá tvorba vysokých pařezů	Cílem studie bylo zjistit, zda se uměle vytvořené stojící souše mohou stát vhodným stanovištěm pro saproxylické druhy brouků a zjistit rozdíl mezi faunou uměle vytvořených vysokých pařezů a faunou přirozeně vzniklých souší.	Švédsko	(Jonsell M et. al., 2004)	V případě uměle vytvořených pařezů bylo nalezeno celkem 95 saproxylických druhů brouků a lze konstatovat, že uměle vytvořené vysoké pařezy jsou velice cenným stanovištěm pro mnoho druhů saproxylických brouků.

navržené opatření	Cíl studie	původ studie	Odkaz na studii	výsledky studie
Umělá tvorba vysokých pařezů	Studie si kladla za cíle po dobu 7 let pozorovat výskyt saproxylických druhů hmyzu na uměle vytvořených vysokých pahýlech smrku, břízy, osiky a dubu.	Švédsko	(Lindhe & Lindelöw, 2004).	Z odebíraných vzorků bylo zaznamenáno celkem 86 690 jedinců pařicích k 527 druhům saproxylických brouků a 78 druhů patřilo k ohroženým druhům na červeném seznamu
Umělá tvorba vysokých pařezů	Záměrem bylo zjistit, jak cenným substrátem jsou uměle vytvořené pařezy pro saproxylické druhy lišejníků ve srovnání s přirozeně vzniklým tlejícím dřevem.	Švédsko	(Hämäläinen et. al., 2021)	Vysoké uměle vytvořené pařezy vykazovaly nižší druhovou bohatost než u mrtvého dřeva ve formě přirozeně vzniklých stojících souší, nebo ležících klád.
Navržené opatření se týká ponechání určité dřevinné skladby	Uvedení druhu dřeviny mající význam pro saproxylické organismy	Německo	(Gossner et. al., 2016)	Autoři z výsledků studie zhodnotili jako vhodnou dřevinu k ponechání: kombinace rodů (Carpinus/Picea)
Navržené opatření se týká ponechání určité dřevinné skladby a fáze rozkladu.	Uvedení druhu dřeviny a fáze mající význam pro saproxylické organismy.	Nizozemsko	(Andringa J.I., 2019)	Nejvyšší hodnoty biodiverzity saproxylických brouků vykazuje kombinace jehličnatých a listnatých druhů dřevin po jednom až dvou letech rozkladu.
Vystavení mrtvého dřeva na slunci	Cílem bylo zodpovězení otázky, zda experimentální vystavení mrtvého dřeva na slunci má vliv na rozmanitost saproxylických organismů.	Německo	(Vogel et. al., 2020)	Nejvyšší počet druhů u brouků, hub a také u pavouků byl zaznamenán na sluncem vystavených plochách

8. Seznam použitých zdrojů

- Primack R. B., Kindlmann P., Jerásková J., (2001) Biologické principy ochrany přírody, Portál, 2001, 80-7178-552-0
- Bače R., Svoboda M., (2016) Management mrtvého dřeva v hospodářských lesích, Lesnický průvodce 6/2016, ISBN 978-80-7417-118-5, ISSN 0862-7657
- Sebastian Seibold, Simon Thorn, (2018) The Importance of Dead-Wood Amount for Saproxylic Insects and How It Interacts with Dead-Wood Diversity and Other Habitat Factors, Saproxylic Insects: Diversity, Ecology and Conservation, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-75937-1
- Kjučukov P., Svoboda M., (2018) Minimum pro ochranu biologické rozmanitosti v Českých lesích, Lesnická práce, 2018/01/01
- Bače R., (2016) Mrtvé dřevo klíčem k biodiverzitě lesa, Fórum ochrany přírody, 02/2016
- Zell, J., Kändler, G., & Hanewinkel, M. (2009). Predicting constant decay rates of coarse woody debris –a meta-analysis approach with a mixed model, Ecological Modelling, Volume 220, Issue 7, 2009, Pages 904-912, ISSN 0304-3800
- Doerfler I., Gossner M. M., Mueller J., Seibold S., Weisser, W. W., (2018) Deadwood enrichment combining integrative and segregative conservation elements enhances biodiversity of multiple taxa in managed forests, Biological Conservation, Volume 228, 2018, Pages 70-78, ISSN 0006-3207
- Brandeis T. J., Newton M., Filip G. M., Cole E. C., (2002) Cavity-Nester Habitat Development in Artificially Made Douglas-Fir Snags, The Journal of Wildlife Management 66, no. 3: 625-33. Accessed April 13, 2021. doi:10.2307/3803129.
- Bače R., Janda P., Svoboda M., (2009) Vliv mikrostanoviště a horního stromového patra na stav přirozené obnovy v horském smrkovém lese na Trojmezné.
- Christie, D. A., & Armesto, J. J. (2003). Regeneration microsites and tree species coexistence in temperate rain forests of Chiloé Island, Chile.
- Mayer H., Ott E.. Gebirgswaldbau–Schutzwaldpflege (Montane silviculture: care of protective forests). Gustav Fischer, Stuttgart, New York, 1991.
- Humphrey, J. & Bailey, S. (2012). Managing deadwood in forests and woodlands. Forestry Commission: Edinburgh, ISBN 978-0-85538-857-7
- Holub, S. M., Spears, J. D., & Lajtha, K. (2001). A reanalysis of nutrient dynamics in coniferous coarse woody debris. Canadian Journal of Forest Research, 31(11), Pages 1894-1902

- Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., N.H. Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack K., Cummins, K. W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems, *Advances in Ecological Research*, Academic Press, Volume 34, 2004, Pages 59-234, ISSN 0065-2504, ISBN 9780120139347
- Harmon, M. E., & Franklin, J. F. (1989). Tree seedlings on logs in Picea-Tsuga forests of Oregon and Washington. *Ecology*, Pages 48-59.
- Heilmann-Clausen, J., Christensen M., (2004) “Does size matter? On the importance of various dead wood fractions for fungal diversity in Danish beech forests.”, *Forest Ecology and Management*, Volume 201, Pages 105-119, ISSN 0378-1127
- Kalous R., Číp D., (2008) Význam mrtvého dřeva pro ekosystém, <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=1107>
- Ulyshen. M.,(2016) Wood decomposition as influenced by invertebrates, *Biological Reviews*, Volume 91, Issue 1, Pages 70-85, DOI:10.1111/brv.12158
- Young, J., Watt, A., Nowicki, P., Alard D., Clitherow J. , Henle K., Johnson R., Laczko E., McCracken D., Matouch S., Niemela J., Richards C.,(2005) Towards sustainable land use: identifying and managing the conflicts between human activities and biodiversity conservation in Europe. *Biodiversity and Conservation*, Volume 14, Pages 1641–1661, ISSN 1572-9710
- Hruška J., Ciencala E., (2001) Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd - limitující faktor současného lesnictví, Ministerstvo životního prostředí, Praha, 2001, ISBN 80-7212-190-1
- Svoboda M., (2011) Mrtvé dřevo – přehled dosavadních poznatků, <https://www.infodatasys.cz/biodivkrsu/reserseDeadWood.pdf>
- Speight, M. C. D. (1989). Saproxylic invertebrates and their conservation, *Nature and environment*. Strasbourg: Council of Europe, Issue 42, ISBN 92-871-1679-2
- Vítková L., Bače R., Kjučukov P., Svoboda M., (2018) Deadwood management in Central European forests: Key considerations for practical implementation, *Forest Ecology and Management*, Volume 429, 2018, Pages 394-405, ISSN 0378-1127
- Bujoczek L., Bujoczek M., Zieba S., (2021). How much, why and where? Deadwood in forest ecosystems: The case of Poland, *Ecological Indicators*, Volume 121, 2021, 107027, ISSN 1470-160X,
- Jaworski T., Plewa J., Tarwacki G., Sucko K., Hilszczański J., Horák J., (2019) Ecologically similar saproxylic beetles depend on diversified deadwood resources: From habitat requirements to management implications, *Forest Ecology and Management*, Volume 449, 2019, 117462, ISSN 0378-1127,

Vogel S., Gossner M., Mergner U., Jörg., Thorn., (2020) Optimizing enrichment of deadwood for biodiversity by varying sun exposure and tree species: An experimental approach, *Journal of applied ecology*, Volume 57, Issue 10, October 2020, Pages 2075-2085,

Ulyshen M.D., (2020) Wood decomposition as influenced by invertebrates, *Biol Rev Camb Philos Soc.* 2016 Feb;91(1):70-85. doi: 10.1111/brv.12158. Epub 2014 Nov 25. PMID: 25424353.

S. Seibold, R. Brandl, J. Buse, T. Hothorn, J. Schmidl, S, Thorn, J. Müller, (2015) Association of the extinction risk of saproxylic beetles and the ecological degradation of forests in Europe, *Conserv Biol.* 2015 Apr;29(2):382-90. doi: 10.1111/cobi.12427. Epub 2014 Nov 27. PMID: 25429849.

Martin K, Eadie JM (1999) Nest webs: a community-wide approach to the management and conservation of cavity-nesting forest birds, *Forest Ecology and Management*, Volume 115, Issues 2–3, 1999, Pages 243-257, ISSN 0378-1127,

Alder D. C., Poore A., Norrey J., Newson S. E., Marsden S. J., (2021) Irregular silviculture positively influences multiple bat species in a lowland temperate broadleaf woodland. *Forest Ecology and Management*, Volume 483, 2021, 118786, ISSN 0378-1127

Randall B. H. , (2021) Controlling Undesirable Trees, Shrubs, and Vines in Your Woodland, Extension FactSheet, The Ohio State university, School of natural resources

Jonsell M., Nittérus K., Stighall K., (2004) Saproxylic beetles in natural and man-made deciduous high stumps retained for conservation, *Biological Conservation*, Volume 118, Issue 2, 2004, Pages 163-173, ISSN 0006-3207

Stokland J. N., J. Siitonen, B. G. Jonsson, (2012) *Biodiversity in Dead Wood*, ISBN 978-0-521- 71703-8 Cambridge University Press, New York

Berg Å., Ehnström B., Gustafsson L., Hallingbäck T., Jonsell M., Weslien J. (1994) Threatened plant, animal, and fungus species in Swedish forests: Distribution and habitat associations, *Conservation Biology*, 8(3), 718-731

Lindhe A. ,Lindelöw Å., (2004) Cut high stumps of spruce, birch, aspen and oak as breeding substrates for saproxylic beetles, *Forest Ecology and Management*, Volume 203, Issues 1–3, 2004, Pages 1-20, ISSN 0378-1127,

- Hämäläinen A., Ranius T., Strengbom J., (2021) Increasing the amount of dead wood by creation of high stumps has limited value for lichen diversity, *Journal of Environmental Management*, Volume 280, 2021, 111646, ISSN 0301-4797
- A. Hämäläinen A., Kouki J., Löhmus P. (2015) Potential biodiversity impacts of forest biofuel harvest: lichen assemblages on stumps and slash of Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research*. 45(10): 1239-1247. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0532>
- Lasota J., Błońska E., Piaszczyk W., Wiecheć M., (2018) How the deadwood of different tree species in various stages of decomposition affected nutrient dynamics? *J Soils Sediments* 18, 2759–2769 (2018)
- Tikkanen O.P., Heinonen T., Kouki J., Matero J., (2007) Habitat suitability models of saproxylic red-listed boreal forest species in long-term matrix management: cost-effective measures for multi-species conservation, *Biological Conservation*, Volume 140, Issues 3–4, 2007, Pages 359-372, ISSN 0006-3207,
- Milberg P., Bergman K. O., Johansson H., Jansson N., (2014) Low host-tree preferences among saproxylic beetles: a comparison of four deciduous species, *Insect conservation and Diversity*, Volume 7, Issue 6, Pages: 485-571
- Gossner M.M., Wendeb B., Levickc S., Schalld P., Florenb A., Linsenmairb K. E., Steffan I., Ernst D., Schulzec D., Weisser W. W., (2016) Deadwood enrichment in European forests – Which tree species should be used to promote saproxylic beetle diversity? *Biological Conservation*, Volume 201, Pages 92-102, ISSN 0006-3207
- Rock J., Badeck F. W., Harmon M. E., (2008) Estimating decomposition rate constants for European tree species from literature sources, *Eur J Forest Res* 127, 301–313
- Seibold, S., Bäessler, C., Baldrian, P., Reinhard, L., Thorn, S., Ulyshen, M. D. Müller, J. (2016) Dead-wood addition promotes non-saproxylic epigeal arthropods but effects are mediated by canopy openness. *Biological Conservation*, Volume 204, Part B, Pages 181-188, ISSN 0006-3207,
- Ahrné K., U.Bjelke, (2020) The Swedish Red List 2020, SLU Artdatabanken, Sweden
- Jermý, A. C., (2001) “The 2000 Red List of Swedish Species (Rödlistade arter i Sverige 2000).” *Biological Conservation* Volume 101, Pages: 395-396.
- DeMaynadier PG, Hunter ML (1995) The relationship between forest management and amphibian ecology: a review of the North American literature. *Environ Rev* 3:230–261
- Kappes H, Jabin M, Kulfan J, Zach P, Topp W (2009) Spatial patterns of litter-dwelling taxa in relation to the amount of coarse woody debris in European temperate deciduous forests. *Forest Ecol Manag* 257:1255–1260

- Andringa J.I. , Zuo J. , Berg M. P., Klein R., Veer J., de Geus R, de Beaumont M., Goudzwaard L., van Hal J., Broekman R, van Logtestijn R.S.P, Li Y., Fujii S., Lammers M., Hefting M. M., Sass-Klaassen U., Cornelissen J.H.C., (2019) Combining tree species and decay stages to increase invertebrate diversity in dead wood, *Forest Ecology and Management*, Volume 441, Pages 80-88, ISSN 0378-1127,
- Kapusta P., Kurek P., Piechnik Ł., Szarek-Łukaszewska G., Zielonka T., Żywiec M, Holeksa J., (2020) Natural and human-related determinants of dead wood quantity and quality in a managed European lowland temperate forest, *Forest Ecology and Management*, Volume 459, 117845, ISSN 0378-1127,
- Pokorný R., Tomášková I., Marek M.V.,(2013) Response of Norway spruce root system to elevated atmospheric CO₂ concentration. *Acta Physiologiae Plantarum* (DOI 10.1007/s11738- 013-1218-9)
- Zapponi L, Minari E, Longo L, Toni I, Mason F, Campanaro A (2015). The Habitat-Trees experiment: using exotic tree species as new microhabitats for the native fauna. *iForest* 8: 464-470. - doi: 10.3832/ifor1281-007
- Gossner, M.M., Lachat, T., Brunet, J., Isacson, G., Bouget, C., Brusthel, H., Brandl, R., Weisser, W.W. and Müller, J. (2013), Current Near-to-Nature Forest Management Effects on Functional Trait Composition of Saproxyllic Beetles in Beech Forests. *Conservation Biology*, 27: 605-6
- Fravolini G., Tognetti R., Lombardi F., Egli M., Ascher-Jenull J., Arfaioli P., Bardelli T, Cherubini P., Marchetti M., Quantifying decay progression of deadwood in Mediterranean mountain forests (2018), *Forest Ecology and Management*, Volume 408, 2018, Pages 228-237, ISSN 0378-1127
- Petrillo M., Cherubini P., Fravolini G., Marchetti M., Ascher-Jenull, Scharer H.A. S, Bertoldi D., Camin F., Larcher R., Egli M., (2016) Time since death and decay rate constants of Norway spruce and European larch deadwood in subalpine forests determined using dendrochronology and radiocarbon dating, *Biogeosci.*, 13 , pp. 1537-1552
- Whittaker, R.H. (1972), *EVOLUTION AND MEASUREMENT OF SPECIES DIVERSITY*. *TAXON*, Volume 21: Issue 2-3, Pages 213-251.
- Kroll A, J., Lacki M. J., Arnett E.B.,(2012) Research Needs to Support Management and Conservation of Cavity-Dependent Birds and Bats on Forested Landscapes in the Pacific Northwest, *Western Journal of Applied Forestry*, Volume 27, Issue 3, July 2012, Pages 128–136,