

Česká zemědělská univerzita

Fakulta lesnická a dřevařská

Excelentní tým pro mitigaci



**Testování ochrany smrkových
vývratů směsí anti-atraktantů proti
napadení lýkožroutem smrkovým**

Diplomová práce

Autorka práce: Bc. Ivana Marková

Vedoucí práce: Ing. Anna Jirošová, Ph.D

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Ivana Marková

Lesní inženýrství

Název práce

Testování ochrany smrkových vývrátů směsí anti-atraktantů proti napadení lýkožroutem smrkovým.

Název anglicky

Protection of windthrown spruces against spruce bark beetle infestation with a mixture of anti-attractants

Cíle práce

Přemnožení lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) způsobuje v současné době rozsáhlé škody ve smrkových porostech střední Evropy. Masového šíření brouků často začíná z ohnisek napadení, kterými jsou větrem vyvrácené stromy neschopné plně se bránit prvním kolonizujícím broukům.

Ochrana nebo zpomalení napadení čerstvých vývrátů, aby se prodloužil čas na jejich včasnou asanaci je součástí alternativního přístupu k integrované ochraně lesa. V rámci této diplomové práce bude k ochraně testována směs přirozených tzv. anti-atraktantů (repellentů) z životního prostředí kůrovce. V přírodě se brouci orientují díky těmto látkám při hledání hostitelského stromu, kdy repellentní signály označující nevhodné prostředí pro přistání. Kandidátní látky byly testovány v laboratoři i v lese a u finální směsi byla zjištěna silná repellentní aktivita proti lýkožroutu smrkovému.

Cílem této diplomové práce je provést polní experiment, kdy budou skupiny vyvrácených smrků ztepilých chráněny pomocí odparníků s danou směsí anti-atraktantů a bude monitorována dynamika a hustota napadení jednotlivých kmenů lýkožroutem smrkovým. Pozorování budou statisticky porovnávána s dynamikou a hustotou napadení skupin neochráněných smrkových vývrátů a bude diskutován efekt ochrany a její případná využitelnost v lesnické praxi.

Dalším cílem diplomové práce je shrnutí poznatků ze současné vědecké literatury na dané téma.

Metodika

V lokalitě Bílek u Chotěboře (Vysočina) bude založeno 10 pokusných ploch s 5 vývraty smrků ztepilých. Plochy budou buď přirozeného původu po větrných smrštích v období prvních měsíců roku 2023, nebo uměle stržené stromy. Plochy budou vzdáleny nejméně 50 metrů. Na 5 ploch budou na kmeny všech vyvrácených stromů na ploše umístěny dva odparníky s anti-atraktanty. Jiných 5 ploch zůstane nechráněných. Po celé délce každého kmene v experimentu se vyznačí několik okének, ve kterých se budou v kontrolních dnech (přibližně 7denní perioda) počítat čerstvé závrtky. Experiment bude ukončen po plném obsazení stromu. Výsledky budou shrnuty a statisticky zpracovány, a bude statisticky vyhodnocena dynamika napadení vyvrácených stromů na ochráněných a neochráněných plochách.

Duben-srpen 2023-samotný pokus s vývraty, srpen-prosinec 2023-zpracování výsledků-statistické vyhodnocení, září-prosinec 2023, literární rešerše na dané téma. Leden-duben 2024, kompilace diplomové práce.

Doporučený rozsah práce

40-60

Klíčová slova

Picea abies, lýkožrout smrkový, smrk ztepilý, ochrana vývrátů, integrovaná ochrana lesa

Doporučené zdroje informací

- Fettig CJ, Munson AS, Reinke M, Mafra-Neto A. (2015) A Novel Semiochemical Tool for Protecting *Pinus contorta* From Mortality Attributed to *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Curculionidae). *J Econ Entomol.* 2015 Feb;108(1):173-82. doi: 10.1093/jee/tou038. Epub 2015 Jan 24. PMID: 26470118.
- Jakuš R, Modlinger R, Kašpar J, Májďák A, Blaženec M, Korolyová N, Jirošová A, Schlyter F. (2022) Testing the Efficiency of the Push-and-Pull Strategy during Severe *Ips typographus* Outbreak and Extreme Drought in Norway Spruce Stands. *Forests.* 2022; 13(12):2175. <https://doi.org/10.3390/f13122175>
- Jakuš, R., Schlyter, F., Zhang, Q.-H., Blaženec, M., Vaverčák, R., Grodzki, W., Brutovský, D., Lajzová, E., Turčáni, M., Bengtsson, M., Blum, Z. and Gregoiré, J.-C. (2003), Overview of development of an anti-attractant based technology for spruce protection against *Ips typographus*: From past failures to future success. *Anzeiger für Schädlingkunde*, 76: 89-99. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0280.2003.03020.x>
- Jirošová, A., Kalinová, B., Modlinger, R., Jakuš, R., Unelius, C.R., Blaženec, M. and Schlyter, F. (2022), Anti-attractant activity of (+)-trans-4-thujanol for Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus*: Novel potency for females. *Pest Manag Sci*, 78: 1992-1999. <https://doi.org/10.1002/ps.6819>
- Lindmark, M., Wallin E., Jonsson B.G (2022). Protecting forest edges using trap logs – Limited effects of associated push-pull strategies targeting *Ips typographus*. *Forest Ecology and Management*. 505. ISSN 03781127. doi:10.1016/j.foreco.2021.119886
- Patent CR (2022) Jirošová, A., Jakuš R., Modlinger R., Turčani, M., Schlyter F., “ Přípravek pro repelenci lýkožrouta smrkového“ 309426 Úřad průmyslového vlastnictví, CR
- Seybold, Steven J.; Bentz, Barbara J.; Fettig, Christopher J.; Lundquist, John E.; Progar, Robert A.; Gillette, Nancy E. (2018). Management of western North American bark beetles with semiochemicals. *Annual Review of Entomology*. 63: 407-32.
- Schiebe, C.; Blaženec, M.; Jakuš, R.; Unelius, C.R.; Schlyter, F. (2011): Semiochemical diversity diverts bark beetle attacks from Norway spruce edges. *Journal of Applied Entomology* 135 (10): 726-737, <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2011.01624.x>
- Unelius, C.R., Schiebe, C., Bohman, B., Andersson, M.N., Schlyter, F. (2014). Non-Host Volatile Blend Optimization for Forest Protection against the European Spruce Bark Beetle, *Ips typographus*. *PLoS ONE*. 9.
- Zhang Q-h, Schlyter F (2000) Bark volatiles from nonhost angiosperm trees of spruce bark beetle , *Ips typographus* (L .) (Coleoptera : Scolytidae) : Chemical and electrophysiological analysis 80:69-80

Předběžný termín obhajoby
2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Anna Jirošová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Excelentní tým pro mitigaci

Konzultant

Tobias Frühbrodt, MSc

Elektronicky schváleno dne 7. 6. 2023

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 04. 04. 2024

1906

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Testování ochrany smrkových vývratů směsí anti-atraktantů proti napadení Lýkožroutem smrkovým vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Rybníčku
Dne 3.4.2024

Podpis:

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat paní Ing. Anně Jirošové, Ph.D. za odborné vedení a výpomoc při zpracování práce. Dále bych chtěla poděkovat Tobiasovi Frühbrodtovi, MSC a jeho týmu za spolupráci a odborné rady k praktické části práce.

Abstrakt:

Pro obranu smrkových lesů před kůrovci se využívají všechny dostupné prostředky. Zvláště pak u vyvrácených stromů, které nejsou schopny se efektivně bránit. Anti-atraktanty se jeví jako vhodná alternativa pro použití k ochraně lesa v lesnické praxi. V tomto výzkumu byla ověřována funkčnost již dříve testované směsi bez využití verbenonu. Ve směsi jsou obsaženy následující látky: NHV (Trans-conophthorin, 1-okten-3-ol, 3-oktanol a 1-hexanol), 1,8-cineol a trans-4-thujanol. Testování směsi proběhlo v téměř výhradně smrkových lesích na choťebořsku, které je momentálně kůrovcem nadprůměrně sužováno. Využity byly skupinky čerstvě vyvrácených stromů. Funkčnost směsi se potvrdila u druhu *Ips typographus* i *Pytiogenes chalcographus*. U obou druhů došlo k výraznému snížení pravděpodobnosti napadení a k oddálení napadení. U druhu *Ips typographus* byla snížena i intenzita napadení. Směs by mohla být využívána na ochranu významných nebo nepřístupných lokalit.

Klíčová slova: *Picea abies*, Lýkožrout smrkový, smrk ztepilý, ochrana vývrátů, integrovaná ochrana lesa

Abstract:

All available means are used to defend spruce forest against bark beetles. Especially for uprooted trees that are unable to defend themselves effectively. Anti-attractants appear to be a suitable alternative for use in forestry practice. In this research, the functionality of a previously tested mixture without verbenone was examined. The following substances are contained in the mixture: NHV (Trans-conophthorin, 1-octen-3-ol, 3-octanol and 1-hexanol), 1,8-cineole and trans-4-thujanol. Testing of the mixture took place in almost exclusively spruce forests in the Chotěboř region, which is currently affected by bark beetle above average. Groups of freshly uprooted trees were used. The functionality of the mixture was confirmed for both *Ips typographus* and *Pytiogenes chalcographus*. For both species, there was a significant reduction in the probability of infestation as well as a delay in infestation. In *Ips typographus*, the intensity of infestation was also reduced. The mixture could be used to protect important or inaccessible sites.

Key words: *Picea abies*, bark beetle, Norway spruce, protection of windthrow, integrated forest protection

Obsah

1	Úvod:	11
2	Cíle práce.....	13
3	Lýkožrout smrkový – <i>Ips typographus</i>	13
3.1	Taxonomie, vývoj a popis druhu.....	14
3.2	Život druhu	15
4	Interakce <i>Ips typographus</i> s <i>Pityogenes chalcographus</i>	16
5	Odchyt a monitoring <i>Ips typographus</i>	17
5.1	Lapáky	17
5.2	Feromonové lapače	18
6	Odolnost a obrana stromů před větrem a <i>Ips typographus</i>	20
6.1	Obranschopnost smrku proti <i>Ips typographus</i>	20
6.2	Obranschopnost vyvrácených smrků před lýkožroutem smrkovým. 21	
6.3	Odolnost stromů před větrem	21
7	Preference <i>Ips typographus</i> při kolonizaci ležícího stromu:	23
7.1	Vliv slunečního záření při kolonizaci <i>Ips typographus</i> na ležícím stromu	23
7.2	Vliv rozměru kmene při kolonizaci <i>Ips typographus</i> na ležícím stromu	24
7.3	Vliv poškození kmenu při kolonizaci <i>Ips typographus</i> na ležícím stromu	24
7.4	Vliv velikosti kalamitní plochy při kolonizaci <i>Ips typographus</i> na ležícím stromu.....	25
8	Ochrana ležících stromů	26
8.1	Odkornění	26
8.2	Proškrabávání kůry	26
8.3	Biologická obrana	27
8.3.1	<i>Thanasimus formicarius</i>	28
8.3.2	<i>Beauveria bassiana</i>	29
8.4	Ošetření insekticidem	29
8.5	Insekticidní sítě (Storanet®).....	31
8.6	Alternativní ochrana stromů s použitím anti-atraktantů	31
8.6.1	Switch efekt	32
8.6.2	Push-Pull efekt.....	32
8.6.3	Verbenon	32
8.6.4	Nehostitelské těkavé látky (NHV).....	33
8.6.5	1,8 cineol.....	34
8.6.6	Trans-4-Thujanol	35

9	Metodika:.....	36
9.1	Lokalita	36
9.2	Intenzita výskytu kůrovce v lokalitě v období výzkumu.....	36
9.3	Postup práce	37
9.4	Složení směsi:	47
9.5	Statistické zpracování:	48
10	Výsledky	49
10.1	Pravděpodobnost napadení stromu	49
10.2	Intenzita napadení stromu	54
11	Diskuse	57
12	Závěr.....	59
13	Přehled literatury a použitých zdrojů:	60

1 Úvod:

Především v posledním desetiletí na mnoha částech světa dochází ke zvýšenému narušování lesních ekosystémů. Lze očekávat, že kvůli klimatické změně bude tento trend pokračovat i nadále (Thom & Seidl, 2016; Biedermann et al, 2019). Očekává se úmrtnost lesů spojená se suchem a výskytem kůrovce. Sucho následované kůrovcem zapříčiňuje extrémně rozsáhlé mortality lesních porostů a ztěžuje schopnost lidí predikovat budoucnost lesů (Reed & Hood, 2021).

Historicky doložené kůrovcové kalamity z 19. a 20. století byly způsobeny především předcházející větrnou kalamitou. Rozsah následné kůrovcové kalamity se odvíjel od teplot a množství srážek v daném období. Kůrovec dokáže větrem vyvrácené nebo zlomené stromy využít pro rychlé znásobení populace, pokud není tato atraktivní hmota včas zpracována. Následně přechází na zdravé stromy. Problémy s kůrovcem v 19. století byly převážně ve vyšších polohách, protože smrkové monokultury v nižších polohách se vyskytovaly v mnohem menší míře než nyní (Brázdil et al., 2022). V druhé polovině minulého století byla až polovina nahodilých těžeb v Evropských lesích způsobená větrem. Kůrovcové těžby činily přibližně 8 % (Schelhaas et al., 2003).

Oproti předešlým kalamitám na území dnešní České republiky, u kterých byla hlavním důvodem vzniku nezpracovaná větrná kalamita, nynější kůrovcová kalamita je způsobena především teplým počasím se sníženým úhrnem srážek (Brázdil et al., 2022). V České republice se začaly problémy působené změnou klimatu, suchem a biotickými faktory projevovat v letech 2009-2010. V těchto letech začaly populace lýkožrouta smrkového, nejagresivnějšího kůrovce na smrku, expandovat. (Toth et al., 2020).

K prudkému nárůstu populace lýkožrouta smrkového v ČR došlo v roce 2015 (Severovýchod ČR již 2013), protože majitelé nebo správci lesů nestihli včas reagovat na nepředpokládaný průběh počasí a nepoužili v dostatečné míře prostředky pro ochranu lesa. V dalších letech situace v lesích stále eskalovala. Velkým impulsem pro gradující populaci kůrovce byly extrémní povětrnostní podmínky v roce 2018, které oslabily porosty už tak zužované dlouhodobým suchem. V této době lýkožrout vytvářel i tři generace ročně za doprovodu četných sesterských pokolení a situace v českých lesích se stala nevladatelnou a v porostech zůstávaly miliony m³ nezpracovaného kůrovcového dříví (Lubojacký et al., 2022). Český trh se dřívím neměl kapacity na zpracovávání tak velkého

množství dřevní hmoty, a proto docházelo k extrémnímu exportu dříví do zahraničí (především Rakousko, Německo a Čína). Dalším problémem v období kůrovcové kalamity bylo enormní snížení cen za dříví, které bylo způsobené přehlcným trhem i sníženou kvalitou, vlivem lýkožrouta (Toth et al., 2020).

Během let 2019, 2020 a 2021 se kůrovcová kalamita rozšířila na území celé republiky. Zároveň se ale v těchto letech začal mírně zvyšovat průměrný roční úhrn srážek a zlepšily se podmínky na trhu s dřevní hmotou. V roce 2021 dokonce došlo k prvnímu poklesu výše těžeb od roku 2012. Roční objemy nahodilých těžeb způsobených podkorním hmyzem, ale stále odpovídaly kůrovcové kalamitě (Lubojacký et al., 2022). Klesající trend měly i kůrovcové těžby v roce 2022. Pokles objemu těžby oproti roku 2021 byl více jak dvě pětiny, ale výskyt kůrovcové hmoty v přepočtu na hektar je znepokojivých 6,5 m³. Téměř výhradně jde o dříví napadené lýkožroutem smrkovým (Lubojacký et al., 2023).

Celková výše těžeb v ČR v roce 2022 byla 25 milionů m³ surové dřevní hmoty, podíl nahodilých těžeb z tohoto množství je 80 %, z velké většiny jsou způsobené podkorním hmyzem (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022).

I když v posledních letech byla expanze kůrovce zpomalena, tak nelze mluvit o výhře nad kůrovcem. Kůrovec se stále vyskytuje na téměř celém území ČR a často v počtu kalamitních stavů. Pokud dojde například k narušení porostů větrem, může populace kůrovců opět gradovat (Lubojacký et al., 2023). Pro možnost predikce výskytu kůrovce v českých lesích v dalších letech bude zapotřebí vytvoření monitorovacího systému pro správné posouzení rozvoje populací. Užitečné by bylo zlepšení spolupráce mezi vědci, majiteli pozemků a vládou, aby mohla být vytvořena funkční strategie v boji nejen s kůrovcem, ale i jinými lesními škůdci (Biedermann et al, 2019).

2 Cíle práce

Cílem diplomové práce je potvrdit účinnost anti-atraktivní směsi za pomoci terénního výzkumu. Výzkum může být použit jako podklad pro udělení patentu.

Směs je složena z několika inhibičních látek, které mají různý vliv na chování kůrovců. Konkrétně je směs zaměřena na druh lýkožrout smrkový – *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) *Coleoptera (Scolytinae)* (dále IT). Zkoumán bude, ale vliv i na ostatní kůrovce, které se v lokalitě vyskytují. Předpokládá se, mimo *Ips typographus*, výskyt i lýkožrouta lesklého – *Pityogenes chalcographus* (Linnaeus, 1758) *Coleoptera, (Scolytinae)* (dále PCH).

Zároveň bude zkoumána i interakce mezi vyskytujícími se druhy kůrovců. Výzkum bude proveden na vyvrácených stromech ponechaných i s kořeny. Celkem na 50 stromech. Závrtý budou sčítány každý týden po dobu pěti týdnů.

Porovnávána bude dynamika a intenzita napadení v průběhu času na ošetřených a kontrolních stromech. Zároveň bude zaznamenáváno, která část stromu byla napadena.

Cílem této diplomové práce je provést polní experiment, kdy budou skupiny vyvrácených smrků zteplých chráněny pomocí odparníků s danou směsí anti-atraktivtů a bude monitorována dynamika a hustota napadení jednotlivých kmenů lýkožroutem smrkovým. Pozorování budou statisticky porovnána s dynamikou a hustotou napadení skupin neochráněných smrkových vývrátů a bude diskutován efekt ochrany a její případná využitelnost v lesnické praxi. Dalším cílem diplomové práce je shrnutí poznatků ze současné vědecké literatury na dané téma.

3 Lýkožrout smrkový – *Ips typographus*

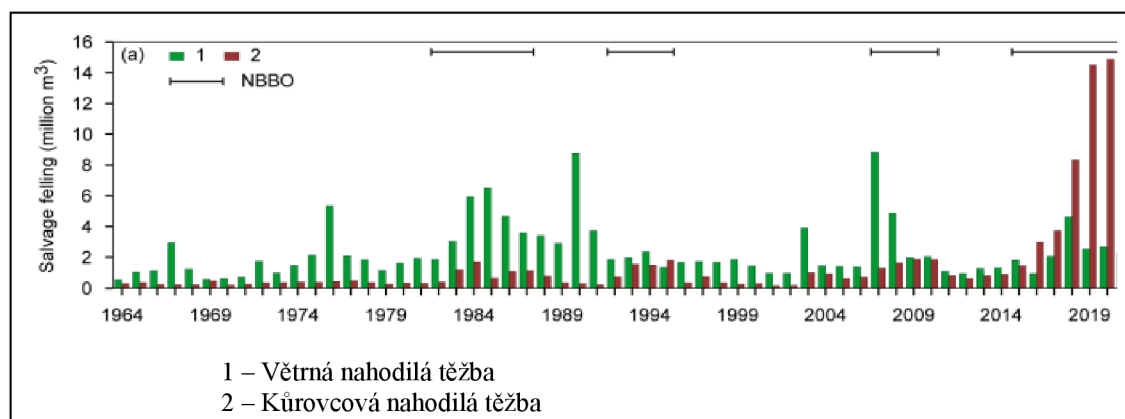
Ips typographus (Linnaeus, 1758) je nejdůležitějším podkorním hmyzem v našich podmínkách. Škodí v jehličnatých lesích, především na smrku ztepilém (*Picea abies*).

Pokud se v lokalitě nachází v menší míře, tak funguje jako sekundární škůdce, který vyhledává porosty oslabené suchem nebo větrem. Ve velkém množství dokáže působit i jako primární škůdce. K nepřiměřené gradaci dochází z mnoha důvodů, mezi něž lze zařadit například zdravotní stav lesa, který je ovlivněn množstvím srážek a

teplotami. Dalším faktorem, který ovlivňuje rozvoj populace je počet přirozených nepřátel kůrovce (Skuhřavý, 2002).

Každopádně je ale lýkožrout smrkový přirozenou součástí každého ekosystému smrkového lesa. Kolonizuje odumírající nebo odumřelé jedince a pomáhá s rozpadem dřevní hmoty. Je to typický r-stratég, takže dokáže využít krátkodobé zdroje a rychle se množit. Velmi vhodné jsou pro něj například větrné kalamity, kdy se množí na velkém množství vyvrácených stromů a dochází tak k rychlé gradaci populace (Wermelinger, 2004).

V minulosti byl výskyt lýkožrouta smrkového zpravidla spojen s větrnou nahodilou těžbou. V posledních deseti letech je expanze kůrovce spojena především se suchem (Brázdil et al., 2022).



Obrázek č. 1: R. Brázdil et al., 2022: Meteorological and climatological triggers of bark beetle outbreaks

3.1 Taxonomie, vývoj a popis druhu

Lýkožrout smrkový je řazen do čeledi nosatcovití (*Coleoptera: Curculionidae*). Dříve byla čeleď kůrovcovití (*Scolitydae*) samostatnou, ale nyní se jedná o podčeď nosatcovitých (Knížek & Beaver, 2004).

Má čtyři vývojová stádia: vajíčko, kuklu, larvu a dospělce. Tudiž jde o proměnu dokonalou (Hůrka & Čepická, 1978). Samičky kladou vajíčka, která jsou menší než 1 mm. Larva lýkožrouta má bílé zbarvení s hnědou, tvrdou hlavou s hnědými kusadly.

Dospělec je velký od 4,2-5,5 mm. Lýkožrout má lesklé tmavě hnědé válcovité tělo. Od ostatních druhů lze rozlišit podle typických čtyřech hrotů na obou stranách zadní části těla. Třetí hrot je ve vrchní části rozšířen (Zumr, 1995).

3.2 Život druhu

Chování lýkožrouta je z velké části řízeno vjemy, které přicházejí do složitých systémů čichových receptorů (Frühbrodt et al, 2024). Mimo čichových podnětů je ale ovlivňován i vizuálními a chuťovými nebo jejich kombinací. Dokáže tedy účinně rozpoznat vhodnou hostitelskou dřevinu (Strom et al., 1999).

Díky čichovým receptorům mohou kůrovci přijímat semiochemikálie, které lze dělit podle jejich dosahu a důsledku pro odesílatele či příjemce. Semiochemikálie, které zprostředkovávají vnitrodruhovou komunikaci, se nazývají feromony. Mezidruhová komunikace probíhá díky allelochemikáliím. Ty se dále dělí na kairomony, allomony a synomony. Kairomony jsou vypouštěny hostitelem (například smrkem) a prospěch z nich má příjemce (například kůrovec). Z allomonů má, oproti kairomonům, prospěch odesílatel. Synomony jsou prospěšné pro odesílatele i příjemce (Nordlund & Lewis, 1976).

Lýkožrout začíná vylézat ze zimovišť a být aktivní, když suma teplot (tzv. stupňodny) dosáhnou dostatečné hodnoty (Doležal & Sehnal, 2007).

Nastává fáze, kdy si pionýrští samci vybírají hostitelské stromy, hlavní roli při jejich výběru hrají kairomony vypouštěné smrkem. Pro účinné rozpoznání vhodných míst pro rozmnožování mají lýkožrouti vyvinutou velmi citlivou čichovou senzilu umístěnou na tykadle, díky které mohou identifikovat pachové signály vysílané stromy, jež jsou složeny z těkavých organických sloučenin (Andersson et al., 2009; Netherer et al., 2022).

V případě, že samec našel vhodný hostitelský strom, který mu v navrtání nebrání například výronem pryskyřice, tak se brouk provrtává kůrou do floému a vyhlodává snubní komůrku (Wood, 1982). Následně začnou samci vypouštět agregační feromon, aby přilákali samce i samice a mohli tak uskutečnit hromadný útok na hostitelský strom (Netherer et al., 2022). Agregační feromon obsahuje dvě základní sloučeniny, (-)-cis-verbenol a 2-methyl-3-buten-2-ol (Ramakrishnan et al., 2022).

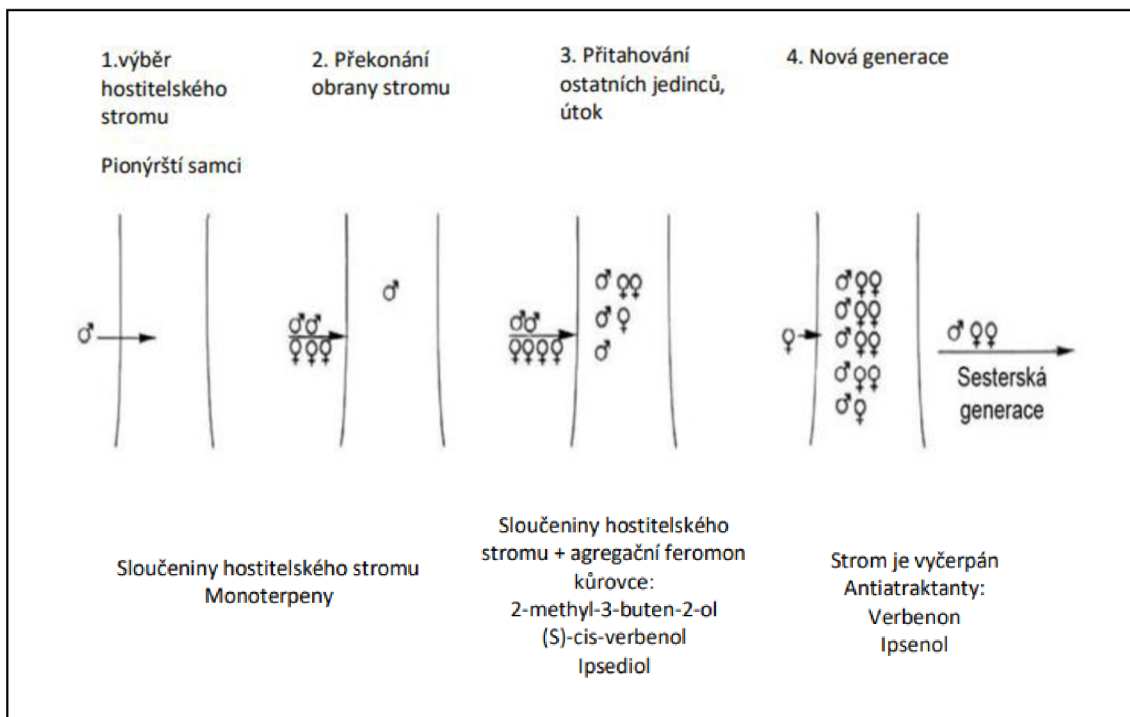
Při zavrtávání do kůry brouci vnášejí do stromu ophiostomatální houby, které snižují obranyschopnost hostitelského stromu a koncentrují živiny (Zhao et al., 2019).

Každý samec ve snubní komůrce oplodní zpravidla dvě samice, které vyhlodávají mateřskou chodbičku, přičemž kladou vajíčka (Wood, 1982). Jedna samice klade od 30 do 80 ks na obě strany matečné chodby (Zumr, 1995).

Pokud je strom do dostatečné míry napaden, pak začnou brouci ve spolupráci s mikroorganismy uvolňovat anti-agregační feromony, jako je (-)-verbenon. V tuto chvíli ostatní brouci z populace začínají napadat jiné stromy a zabraňuje se tak vnitrodruhové konkurenci (Byers, 1989).

V další fázi vývoje se z vajíček vyvinou larvy, které se živí floémem a ophiostomatálními houbami. Vytvářejí tzv. larvální chodby. Dále přechází přes stádium kukly a vyvíjí se v dospělce. Rychlost a konečná fáze vývoje jsou ovlivněny environmentálními podněty a diapauzovým fenotypem. Je důležité, zda kůrovec prochází jednou nebo několika (až 3) generacemi za rok (Schebeck et al., 2022).

Kůrovec většinu svého života tráví v pletivech hostitelského stromu. Po dokončení vývoje tedy musí dospělec v co nejkratším časovém úseku najít nový hostitelský strom a spářit se s partnery. Toto životní období je doprovázeno velkou úmrtností. Ať už zapříčiněného predátory nebo abiotickými vlivy (Lindgren & Raffa, 2013).



Obrázek č. 2: Dynamika útoku a vylučované látky (Jirošová, nepublikováno)

4 Interakce *Ips typographus* s *Pityogenes chalcographus*

Ips typographus napadá silnější kmeny. Pro *Pityogenes chalcographus* jsou vhodnější spíše silné větve a vrcholky. Intenzita výskytu druhů tedy může být ovlivněna typem materiálu na stanovišti. Jinak se způsob ani intenzita napadení výrazně neliší.

Běžně můžeme vidět pozitivní asociaci mezi druhy. Oba druhy obsazují vyvrácené stromy i druhý rok (Göthlin et al., 2000). Stejně tak oba druhy preferují mezernaté porosty s přístupem světla nebo porostní stěny. Ve srovnání s vnitřkem porostu je zde teplejší mikroklima (Jakuš, 1995).

Ve výzkumu Göthlin et al. (2000) v prvním roce IT nepreferoval žádnou část stromu, oproti tomu PCH preferoval horní třetinu, navzdory přebytku materiálu v porostu. Upřednostnění materiálu o menším průměru druhem PCH, by mohlo být považováno za určitý druh adaptace, která snižuje riziko konkurenčního boje s IT. Podle Denno et al (1995) by PCH neměl být schopný IT účinně konkurovat kvůli jeho menší velikosti. Göthlin et al. (2000) ale uvedl názor, že je menší velikost pro PCH určitou výhodou. Jelikož se umí rozmnožovat pod tenkou kůrou na vrcholcích nebo na stromech malý průměrů, čímž se vyhýbá konkurenci.

Ve výzkumu Hedgrena (2004) bylo cílem zjistit, kolik navzájem stromů dokáže PCH usmrtit sám. Usmrtil pouze 8 % z celkového množství. Pravděpodobnost odumření stromu se výrazně zvyšovala, pokud strom zároveň napadl i IT. Také reprodukční schopnost PCH pozitivně korelovala s přítomností IT. Pokud se na stromě vyskytoval pouze PCH, pak jeho reprodukční schopnost byla méně než jeden nový brouk na dospěléce.

5 Odchyt a monitoring *Ips typographus*

5.1 Lapáky

Cíleně pokácené stromy za účelem odchycení a usmrcení dospělých jedinců kůrovce se využívají již od 19. století (Pfeil, 1827). Ve střední Evropě je to běžně využívané odchytové zařízení. Často se i navazují feromonovými odparníky pro zvýšení pravděpodobnosti odchytu (Holuša et al., 2017). Stromové pasti jsou podle Drumonta et al. (1992) 2 - 14x účinnější než feromonové lapače.

Efektivní je použití lapáku přikrytého větvemi. Pokácený strom je odvětven a větve jsou naskládány přes strom, aby nezasychal (Juha et al., 2012).

Účinnost těchto odchytových zařízení je ovlivněna umístěním v porostu, výběrem vhodného jedince i termínem pokácení. Pokud je ale početnost kůrovce v porostu velká, tak se význam výběru vhodného umístění, stromu a termínu snižuje (Holuša et al., 2017).

Lapáky je třeba nachystat, pokud možno, s předstihem. V nižších polohách již v březnu a ve vyšších polohách stačí v dubnu (Juha et al., 2012). U lapáků nachystaných před zimou kvantitu napadení ovlivňuje doba, po kterou byl kmen pokryt sněhem. Pokud byl strom dlouhodobě vystaven vyšším teplotám, pak byl počet závrtočných otvorů po napadení nižší než u stromů, které byly dlouhodobě pokryty sněhem a jejich teplota tak byla snížena. Pokud jaru předcházelo chladné období s velkým úhrnem sněhových srážek, pak je možné nachystat lapáky s předstihem. V opačném případě je vhodné stromy nakácet co nejtěsněji před náletem kůrovce. Jako lapací pasti by měly být využity stromy s co největším průměrem a umístěny by měly být na slunném místě (Holuša et al., 2017).

Lapáky vyžadují pravidelnou kontrolu a následně rychlé zpracování nebo odkornění. Pokud se tak nestane, dojde k nechtěnému a výraznému navýšení populace. Stromové pasti mohou zachytit pouze omezené množství jedinců. Navýšení počtu pastí za účelem většího odchytu může být problematické pro rychlé zpracování. Jelikož pasti bývají napadeny v poměrně krátkém časovém horizontu. Vždy musí být zajištěny dostatečné těžební kapacity (Kuhn et al., 2022). Ideální doba pro zpracování lapáků je těsně po naklazení vajíček samicemi. Protože v některých případech může nastat ještě tzv. sesterské přerojení, kdy brouci po úživném žiru opustí strom a založí nové požerky. K sesterskému přerojení dochází zpravidla tři týdny po prvním náletu.

Možností, jak zvýšit počet odchycených brouků do lapáků, je umístit na jedno místo více kusů. Jinak je maximální doporučené množství 4 ks/ha, aby nebyl prostor lesa zcela zaplněn a lapáky tak byly funkční. Kapacita odchytových zařízení lze také navýšit použitím otrávených lapáků, které jsou účinné po celou dobu sezóny. Často se využívají v podobě trojnožek.

Pro odlákání kůrovce od cílové oblasti lze využít také stojících otrávených či neotrávených lapáků, které jsou opatřeny feromonovými odparníky (Jakuš et al., 2015).

5.2 Feromonové lapače

Feromonové odparníky jsou používány od 70. let 20. století (Bakke, 1972). V odparnicích je využit agregační feromon samců, který láká samce i samice (Lubojacký & Holuša, 2014). Agregační feromony se skládají z terpenoidů, které jsou částečně biosyntetizovány ze složek pryskyřice, a částečně brouky samotnými (Galko et al., 2016). Základními složkami používanými ve směsi pro odchyt kůrovce jsou 2-methyl-3-buten-

2-ol a cis-verbenol. První ze složek je vytvářena v zadní části střev samců (Xie & Lv, 2013).

Tyto vnitrodruhové semiochemikálie jsou pro kůrovce atraktivnější, než těkavé látky (kairomony) produkované smrkem.

Počet odchycených brouků je ovlivněn spoustou faktorů, jako jsou povětrnostní podmínky, sluneční svit, rozmístění pastí nebo velikost populace kůrovců v lokalitě (Galko et al., 2016). Jedinci lýkožrouta smrkového nereagují během letu a v různých denních fázích vždy stejně. Někdy na atraktanty reagují kladně a někdy je zcela ignorují, proto je vhodné použít k odchytu kůrovců více feromonových lapačů na jednom místě. Pokud chceme využít pouze feromonové lapače k odchytu, tak je nutné vytvořit tzv. bariéru. Kdy jsou lapače umístěny v řadě maximálně 20 metrů od sebe.

Pro účinnost lapačů je nutné, aby byly osvětleny slunečním svitem alespoň jednu hodinu každý den v čase od 12.00 do 17.00.

Existuje několik typů lapačů, vybírány jsou zpravidla podle ceny. Typy lapačů: nárazový, štěrbínový, trubicový a trychtýřovitý.

U používání feromonových lapačů je nutná pravidelná kontrola alespoň jednou za 7-10 dní. Pokud není lapač pravidelně vysypáván, může pach rozkládajícího se hmyzu snižovat účinnost odchyťového zařízení. Také je zapotřebí kontrolovat funkčnost záchytné nádoby (Jakuš et al., 2015).

Za pomoci feromonových pastí umístěných v běžně aplikovatelném množství může být odchyceno 10 až 30 % populace a poskytnout tak určitou obranu stromů (Weslien, 1992; Galko et al., 2016; Drumont et al., 1992; Faccoli & Stergulc, 2008). Podle Kuhna et al. (2022), ale při velké koncentraci kůrovců v lokalitě mohou být feromonové pastí neúčinné až kontraproduktivní. Jelikož mohou do porostu kůrovce lákat z jiných porostů a při nedostatečné obraně se škody naopak zvýší.

Tento jev je označován jako „spillover efekt“, kdy feromonové lapače nemají dostatečnou kapacitu na polapení všech přilákaných brouků a napadány jsou stromy, které sousedí s pastmi (Jakuš et al., 2022).

6 Odolnost a obrana stromů před větrem a *Ips typographus*

6.1 Obrans schopnost smrku proti *Ips typographus*

Kůrovci na jehličnanech používají složitý chemický komunikační systém k nalezení nového hostitele. Vyvinuli si schopnost hromadného útoku na zdravé a živé stromy. Díky agregacním feromonům a komplexní asociaci s mikroorganismy jsou kůrovci schopni překonat konstitutivní i indikovanou obranu hostitele (Wood, 1982).

Jehličnaté stromy mají už minimálně 45 milionů let vyvinutý efektivní obranný systém. Obranný systém jehličnanů chemicky a fyzicky brání vniku patogenů a také zabíjí nebo odpuzuje herbivory. Systémově indukovaná rezistence jehličnanů je obvyklý a velmi důležitý jev, který jedinci umožňuje žít s vyváženým rozložením sil mezi obranu a růst (Bonello et al, 2006). Nově napadené stromy se brání preformovanou pryskyřicí a případně i systémovými změnami v jejich fyziologii (Wermelinger, 2004). V obraně stromů hrají velkou roli terpeny a další specializované látky obsažené v pryskyřičných kanálcích a buňkách stromu. Výroba terpenů je pro strom metabolicky náročná, ale zároveň se v kůře vyskytují ve velkém množství. Pro kůrovce mají inhibiční funkci (Keeling & Bohlmann, 2006). Monoterpeny mohou být ale také základním vodítkem kůrovců při kolonizaci nových hostitelů (Wood, 1982).

Další složkou pryskyřice jsou diterpeny, díky své viskózní a lepkavé konzistenci. Může si při pokusu o napadení stromů vylít ránu a kůrovce zavalit (Gijze et al., 1993).

Obrans schopnost stromů dovytváří i fenolické látky, což je skupina specializovaných metabolitů, konkrétně obsažených ve floému jehličnanů. Fenolické látky mohou mít pro kůrovce odpuzující až toxický účinek (Krokene, 2015).

Pokud je kůrovec přítomen v menší intenzitě, tak si vybírá ze dvou možností. Jednou z nich je, že bude útočit na oslabené stromy, které jsou méně obrans schopné, ale bude u nich větší konkurenční boj. Druhou variantou je napadnout zdravé stromy s vysokou schopností obrany, ale s minimální konkurencí a dosáhnou velké nutriční kvality potravy (Louis et al., 2016). Hromadné útoky kůrovců jsou pozorovány spíše u epidemických fází populační dynamiky. Mimo tato období kůrovec napadá především oslabené jedince nebo jedince s menší rezistencí vůči škůdci (Bleiker et al., 2014)

6.2 Obranyschopnost vyvrácených smrků před lýkožroutem smrkovým

Pokud strom z jakéhokoliv důvodu začne odumírat, tak se jeho obranyschopnost postupně snižuje. Po větrné nahodilé těžbě úmrtnost stromů vrcholí dva až tři roky. Obranyschopnost živých stromů je klíčová pro expanzi kůrovcových populací. Životnost vyvráceného stromu snižuje i teplota a sluneční svit (Jönsson et al., 2012).

Podle Louise et al. (2016) si vyvrácené stromy udržují určitou míru konstitutivní obrany. Po vyvrácení u stromu klesá množství monoterpenů, ale strom má schopnost indukovat produkci monoterpenů ještě 7 měsíců. Podle Jakuše (1998) si vyvrácený strom dokáže zachovat i obranu ve formě exsudace oleoresinu. Obranyschopnost vyvráceného stromu je ale samozřejmě slabší než obrana zdravého, stojícího stromu (Luise et. al., 2016)

Přebytek dříví poškozeného větrem se slabou nebo dokonce neexistující obranyschopností znamená pro kůrovce úbytek vnitrodruhové konkurence. V důsledku toho se snižuje i počet požerků na plochu kůry (Anderbant, 1990). Zvyšuje se počet potomků od jedné samice (i více než 10 kusů), ale i kvalita potomstva (Schroeder & Lindelöw, 2002).

6.3 Odolnost stromů před větrem

Vítr je významným negativním činitelem v lesích. Pro udržení ekosystémových služeb lesa je důležité znát míru rizika, kdy bude porost poškozen větrem. Je zapotřebí umět předvídat frekvenci a rozsah vzniku nahodilých větrných těžeb. Znalosti o riziku vzniku větrných kalamit lze použít při tvorbě lesních plánů a v lesnické politice (Maurer & Heinemann, 2020). Běžným následkem silných větrných proudů jsou vyvrácené a zlomené stromy. Míra poškození lesních porostů závisí na mnoha faktorech. Mezi ty nejvýznamnější patří druh stromu, poloha, topografie, půdní typ a způsob hospodaření v porostu (Quine et al., 2021; Panferov et al., 2009). Obecně lze říct, že nejméně stabilní porosty rostou na mělkých kambizemích. Větru nejodolnější lesy lze najít na luvisolech a podzolech.

Mezi další vlastnosti porostu, které ovlivňují jeho stabilitu, řadíme i strukturu, hustotu a míru smíšenosti porostu. Další vliv má dřívější poškození lesa. Porost s narušenou strukturou je méně odolný proti vzniku dalších vývrátů (Panferov et al., 2009). Co se týče

půdních poměrů, tak není důležitý jen půdní typ, ale i půdní vlhkost (Peltola et al., 2008). Z vnějších faktorů je třeba zmínit sílu a frekvenci větru, který na les působí (Maurer & Heinemann, 2020).

Vítr působí na nadzemní část stromu dvěma druhy vibrací. Prvním z nich je torzní vibrace, která způsobuje rotační pohyb kolem podélné osy kmene. Intenzita působení torzní vibrace na kmen je ovlivněna tvarem stromu, expozicí a silou větru. Torzní vibrace je nejvýraznější v korunové části stromu (Kolbe et al., 2024). Nadměrný torzní pohyb může způsobit vyvrácení nebo zlomení kmene (Skatter & Kučera, 2000).

Druhým typem je vibrace ohybová. Tato vibrace působí na celou délku nadzemní části kmene a její působení se navyšuje se silou větru na úkor torzní vibrace. Obě vibrace zpravidla působí na kmen současně (Kolbe et al., 2024).

Větrné kalamity jsou přirozenou součástí dynamiky lesa. Po narušení smrkových lesů větrem se mění světelné podmínky v porostech a může z toho mít prospěch smrkový podrost, kterému se tímto zlepši růstové podmínky. Pokud je poškození velkoplošné nebo se v lese nenachází podrost, pak mohou přirozené obnově narušeného lesa dominovat pionýrské dřeviny (Tsvetanov et al., 2018). Obecně lze říci, že jehličnany (kromě modřínu), jsou náchylnější na poškození větrem. Smrk je nejzranitelnější (Maurer & Heinemann, 2020; Đodan & Perić, 2019).

Ve výzkumu Panferova et al. (2009) z výsledků vyplývá, že borovice je odolnější proti větru než smrk, jelikož smrk má mělký kořenový systém, tudíž je náchylnější k vyvrácení. U smrku se riziko poškození zvyšuje s věkem. Ale sám autor uvádí, že je vždy třeba vzít v potaz všechny faktory ovlivňující stabilitu porostu.

Pokud smrkový porost dosáhne maximální výšky, pak se riziko vyvrácení větrem pomalu snižuje, jelikož se u stromu zvětšuje tloušťka, ale růst výšky stagnuje, takže se jedinci stávají stabilnějšími (Maurer & Heinemann, 2020).

Pro správnou predikci náchylnosti porostu k poškození větrem je vhodné využít statické posouzení a určit štíhlostní koeficient. Zlepšení stability porostu by mělo být hlavním pěstebním cílem od prvního výchovného zásahu. Stabilitu je možné podpořit navýšením míry intenzity výchovných zásahů. U nestabilních porostů by měly být jakékoliv zásahy prováděny velmi pomalu, aby se náhle uvolněné stromy mohly přizpůsobit nově vzniklému prostoru (Đodan & Perić, 2019).

7 Preference *Ips typographus* při kolonizaci ležícího stromu:

Vyvrácené stromy jsou často nepředvídatelně rozptýlené, což může ztížit kůrovci lokalizaci zdroje. Mechanismy, které navádí kůrovce na mrtvé stromy jsou stále z velké části neprozkoumané (Louis et al., 2016). Výzkum Schroedera (2002) uvádí, že kůrovec téměř výhradně upřednostňoval vyvrácené stromy před stojícími. Jakuš et al., 2015 uvádí, že k napadení stojících stromů zpravidla dochází až po napadení všech vývrátů a zlomů v lokalitě. Podle Kuhna et al. (2022) ale mohou být silně stresované stojící stromy pro kůrovce atraktivnější než vyvrácené stromy.

Ips typographus se může ve stromě vyvinout i 17 měsíců po vyvrácení stromu a nebude to mít vliv na jeho tělesnou hmotnost nebo plodnost (Louis et al., 2014; Erikson et al., 2005). V horských porostech může IT dokonce napadnout stromy i tři roky po vyvrácení (Jakuš, 1998). Ve výjimečných případech u stromů s velmi dobrým propojení s půdou i po více jak čtyřech letech (Jakuš et al., 2015).

Podle Wallin & Raffa (2000) si brouk vybírá hostitele podle množství dostupné energie (především volné cukry) a obrana stromu nehraje roli. Zbývající terpeny ve vyvráceném stromě nehrají roli na přilákání nebo odpuzení kůrovce. Při výběru hostitele dokáže brouk využít i vizuální podněty. Většina brouků ovládá schopnost rozlišit pasti podle tvarů a barev. Mohou tedy rozpoznat, jestli jde o ležící nebo stojící strom (Byers, 1993; Strom et al, 1999).

7.1 Vliv slunečního záření při kolonizaci *Ips typographus* na ležícím stromu

Na napadení hostitele kůrovcem má vliv i sluneční záření. Po vyvrácení stromu účinek slunečního záření na napadení kůrovcem stále stoupá. Na místech, kde působí na kmen silné sluneční záření, je brouk schopen proniknout silnější vrstvou borky než v místech, kde je sluneční záření slabší (Jakuš, 1998). Kůrovci napadají především sluncem osvětlenou část kmene. Podle Hrošša et al. (2020) to může být způsobeno tím, že neosluněná kůra oddaluje dostupnost vysokých nutričních hodnot z floému, kvůli pomalejšímu vysychání. Další variantou může být, že kůrovec neostíněnou borku využije až v další gradaci, jelikož je pro něj nyní suboptimální, tudíž využívá vhodnější materiál pro rozmnožování. Podle White (2018) sluneční záření zvyšuje nutriční hodnotu floému.

Z výzkumu Holuši et al. (2017) vyplývá, že pokud je v lokalitě opravdu silná populace kůrovce, pak se stává osluněnost kmenu méně důležitým faktorem a brouk bez obtíží napadá i kmeny v zastíněných částech porostu.

7.2 Vliv rozměru kmene při kolonizaci *Ips typographus* na ležícím stromu

Další statisticky významným účinkem při napadení ležícího stromu je jeho velikost. Kmen je zpravidla napadán od nejslabší části kmene. (Jakuš, 1998) Kůrovcem jsou preferovány silné a vysoké stromy nad slabými a malými (Hroššo et al., 2020; Grotzki, 2022; Eriksonn et al. 2007). Rozměry stromu nepatří mezi hlavní faktory ovlivňující preference kůrovce. Důležitější je pro kůrovce oslunění, lokalita a individuální odolnost stromu (Grotzki, 2022).

7.3 Vliv poškození kmenu při kolonizaci *Ips typographus* na ležícím stromu

U větrem poškozených stromů má velký vliv na rychlost napadení kmene kůrovcem skutečnost, do jaké míry jsou kořeny připojeny ke kmenu (Jakuš, 1998). Kmeny s kořeny si dokážou lépe udržet vlhkost a pomaleji vysychávají (Jakuš, 1995). Zlomy jsou napadeny nejrychleji a ve všech částech kmene. Vyvrácené stromy jsou napadeny nejprve ve vrchní části kmene. Až později je napaden zbytek stromu. (Jakuš, 1998)

Ve výzkumu Hrošša et al. (2020) byly kůrovcem první rok upřednostňovány zlomy nad vývraty. Za celou dobu výzkumu (3 roky), ale byly napadeny ve větší míře vývraty (80 %) než zlomy (50 %). Vývraty byly nejvíce napadány až třetí rok po vyvrácení, takže byly vyvrácené stromy značně vyschlé. Napadány byly především na sluncem osvětlené straně. Zlomy byly úplně vyschlé, tudíž se staly pro kůrovce neatraktivními. Také již byly napadené jinými škůdci.

V případě, že je počáteční populace IT v lokalitě nízká, tak v prvním roce po větrné kalamitě brouk napadá výhradně zlomy a až v druhém roce vývraty. Ve třetím až čtvrtém roce už brouk napadá okolní stojící stromy. Samozřejmě vždy závisí na velikosti populace kůrovce a rozsahu kalamity (Jakuš et al., 2015).

Dalším měřitelným faktorem v souvislosti s vyvrácenými stromy je zenit. Jedná se o úhel, pod kterým je strom vyvrácen. Pokud se například opírá o svah, tak jsou kořeny určitou částí v zemi, takže strom pomaleji vysychá (Hroššo et al., 2020).

Ve Finsku byl proveden výzkum, kde byly porovnávány větrem vyvrácené stromy s pokácenými stromy (bez kořenové části) ponechanými v porostu. *Ips typographus* upřednostňoval pokácené stromy před vyvrácenými. Výsledek ukazuje, že je pro kůrovce pokácený strom atraktivnější a jednodušeji napadnutelný. Autor výzkumu nicméně uvedl, že výsledek mohl ovlivnit i výběr stanoviště, kde byly stromy pokáceny (Eriksonn, 2007).

7.4 Vliv velikosti kalamitní plochy při kolonizaci *Ips typographus* na ležícím stromu

Při velkoplošné kalamitě je vytvořena relativně homogenní oblast s vysokou atraktivitou pro kůrovce, což napomáhá množení populace. Podle Potterf & Bone (2017) malé rozptýlené skupiny vyvrácených stromů zrychlují růst populace *Ips typographus* v lokalitě, oproti velkým plochám. Před větrnou kalamitou byla populace kůrovce v lokalitě velmi malá. Větre vyvrácené stromy byly kůrovcem napadeny hned v prvním roce a dále byly upřednostňovány před stojícími stromy další tři roky a velikost populace se exponenciálně zvětšovala. Následně začal brouk napadat zdravé (stojící) stromy. Navyšování počtu jedinců pokračovalo další čtyři roky, dokud nedošlo k napadení celého porostu a přirozenému snížení populace. Tento výzkum tedy doporučuje vlastníkům lesa, aby upřednostnili zpracování malých skupin vyvrácených stromů nad velkými plochami, jelikož může dojít k napadení zdravých stojících stromů dříve.

Finský výzkum provedený Eriksonn et al. (2007), ale ukazuje přesný opak. Kdy skupinky vyvrácených stromů pod 20 jedinců nebyly napadeny lýkožroutem smrkovým vůbec. Skupiny, kde bylo více než 20 kusů byly napadeny z poloviny. Podle této studie je bezpečné ponechat v porostu skupinky vyvrácených stromů menší než 20 kusů. Riziko napadení v tomto výzkumu pozitivně korelovalo se zvyšujícím se množstvím větrem vyvrácených stromů na jednom místě. Svou roli také hrála velikost bazální části stromu. Stromy ve vyšším tloušťkovém stupni byly napadány častěji.

8 Ochrana ležících stromů

8.1 Odkornění

Odkornování je stará metoda, ale v současnosti se nevyužívá ve velké míře. (Jakuš et al., 2015). Metoda je považována za způsob ochrany stromu, která zohledňuje cíle ochrany přírody, protože je zachována dřevní hmota. Používá se především v hospodářských lesích na špatně přístupných lokalitách. Jedná se o poměrně nákladný způsob ochrany ležící dřevní hmoty (Turčani & Juha, 2008).

Pokud je podkorní hmyz na kmenu ve fázi vajíčka, larvy nebo kukly, pak stačí provést odkornění a kůru ponechat v porostu. V případě, že se pod kůrou nacházejí dospělci, je nutné kůru asanovat. Proto se v dřívějších dobách kůra po odkornění ukládala do plachet a následně se páčila. Odkornování je možné provádět ručními loupáky nebo mechanizovaně s použitím adaptéru na motorovu pilu. Mechanizovaná metoda je velmi účinná, ale poměrně časově i cenově náročná. Za velký benefit lze považovat, že jsou adaptérem na motorovou pilu zničena všechna vývojová stadia kůrovce, tudíž není nutná asanace kůry (Jakuš et al., 2015).

Výzkum Thorn et al. (2016), ale prokázal, že odkornování výrazně snižuje druhovou rozmanitost na ležícím stromě.

8.2 Proškrabávání kůry

Pokud je kladen požadavek na ponechání dřevní hmoty v porostu a zároveň zabránění nebo alespoň zpomalení šíření kůrovce v lokalitě, pak je proškrabávání kůry vhodným postupem (Juha et al., 2012). Při této metodě jsou v kůře vytvořeny podélné drážky, které naruší její povrch a zabrání tak dalšímu vývoji podkorního hmyzu (Jakuš et al., 2015).

Při využití vhodné technologie a postupu proškrabávání, lze ekonomickou náročnost v porovnání s odkornováním snížit nejméně o třetinu (Juha et al., 2012)

Thorn et al. (2016) testoval způsoby proškrabávání kůry za účelem ochrany větrem vyvrácených stromů v Německu. Kmeny pro testování byly proškrábány motorovou pilou se speciálním adaptérem na liště. Na adaptéru jsou umístěny nože ve dvojité řadě. Druhá skupina kmenů byla proškrábána klasickou motorovou pilou. Technika byla porovnávána s klasickým odkornováním. Výsledkem je, že tato technika

dokáže významně ochránit vyvrácené stromy před kůrovcem. Dokáže působení kůrovce snížit až na 11 %. Turčáni & Juha (2008) došli k podobnému výsledku účinnosti proškrabávání (účinnost 83-89 %) u IT.

Doba potřebná k poškrábání kůry se speciálním adaptérem na lištu motorové pily je výrazně kratší než doba, která je potřeba na odkornění kmene. Proškrabávání klasickou motorovou pilou je časově srovnatelné s odkorněním (Thorn et al., 2016)

Juha et al. (2012) pro proškrabávání využíval ruční škrabák se dvěma břity. Uvedl, že ruční škrabáky jsou vhodné pouze pro malé množství. Dále využíval adaptér na motorovou pilu se čtyřmi noži, který má obchodní název „kůrovcová zraňovací fréza“. Adaptér na pilu považuje za výrazně finančně i časově výhodnější než ruční škrabák.

Jako neúčinnější se jeví proškrabávat v pruzích o šířce 3 cm. Proužky užší, než tři centimetry mohou mít za následek slabší nálet kůrovce. Zatímco silnější pruhy nijak nezvýší počet náletů, ale zůstává na kmenu více lýka (potravy). Proškrábnutí musí být provedeno až na dřevo. Přibližně 90 % kůry zůstává na kmenu. Nejčastější přeživší jsou larvy u mateřských chodeb, které se mohou dovyvinout v nepoškozené části kůry (Turčáni & Juha, 2008). Kmen je potřeba ošetřit od oddenku až do průměru minimálně 20 centimetrů (Juha et al., 2012).

Proškrabávání neovlivňuje v takovém rozsahu biodiverzitu na ležícím kmenu. Na proškrábaném kmenu se mohou dále vyvíjet dřevokazné houby, saproxylický brouci nebo parazitoidní vosy. Biodiverzita kmene je ale stejně do jisté míry ovlivněna, proto by se mělo proškrabávání používat jen v nutných případech, kdy je potřeba strom ochránit před podkorními škůdci (Thorn et al., 2016)

Kmeny s proškrábanou kůrou se lépe rozkládají, než stromy celkově odkorněné (Turčáni & Juha, 2008; Jakuš et al., 2015).

8.3 Biologická obrana

Biologická obrana je vnímána jako součást boje proti hmyzím kalamitám a gradacím populací. Jako technicky proveditelné se jeví pravidelné vypouštění laboratorně odchovaných jedinců přirozených nepřátel. Mnoho parazitoidů i parazitů lze hromadně chovat. V lesnickém provozu, to ale pravděpodobně nikdy nebude rentabilní, jelikož je třeba chránit velké plochy. Bylo by však možné tuto metodu použít na ochranu zvláště cenných stromů. Biologická obrana pomocí zachování a posílení stávajících populací

přirozených nepřátel kůrovce se zdá být nejstabilnějším řešením. K dosažení tohoto cíle je navrženo několik technik (např. použití kairomonů) a mohly by být vyvinuty i nové. K využití technik, je ale zapotřebí personál se znalostí biologie a ekologie hmyzu. Dále by bylo nutné techniky přizpůsobit regionu a terénním situacím (Kenis et al., 2007).

Holuša & Lukášová (2015) se zmiňují o testování syntetických feromonových odparníků na přilákání některých predátorů (především rodu *Thanasimus*) pro podmínky české republiky. Predátoři i parazitoidi totiž svou kořist vyhledávají za pomoci kairomonů nebo volatilních látek produkovaných dřevinami.

Dalším způsobem, jak podpořit biologickou obranu je vyvěšování budek a ponechávání doupných stromů pro datlovité ptáky, ti jsou totiž velmi významnými predátory.

Predátoři podle odhadů decimují počty kůrovců až o 25 %.

8.3.1 *Thanasimus formicarius*

Přirozeným predátorem IT je Pestrokrovečník mravenčí (*Thanasimus formicarius* – dále jen TF). Pestrokrovečník mravenčí začíná létat brzy z jara (březen) a útočí na velkou škálu kořistí (Kenis et al., 2007). Čichové receptory na tykadle TF jsou nejvnímavější na ipsdienol, ipsenol a agregační feromon kůrovců (Holuša & Lukášová, 2015).

TF vyhledává až dvacet druhů kůrovců (Kenis et al., 2007). V našich podmínkách je jeho hlavní potravou IT. V době, kdy ještě nejsou kůrovci aktivní se pestrokrovečník živí i dřevokazným broukem Dřevokazem čárkovaným (*Trypodendron lineatum*), který může také způsobovat velké škody v lesnickém provozu. Feromon Dřevokaza čárkovaného přitahuje Pestrokrovečníka stejnou měrou, jako agregační feromon kůrovců (Tømmerås, 1988). Dospělec TF žije 4-10 měsíců a životní cyklus je v našich podmínkách jednorocní (Kenis et al., 2007).

Weslien (1994) dokázal, že je TF schopný intenzivně reagovat na gradaci populace IT v dané lokalitě. V místě výskytu ohniska IT byl počet TF až desetkrát vyšší než jinde. Ve výzkumu jedna larva TF na m² dokázala snížit populaci kůrovce až o 0,4 %. To dokazuje, že predace pestrokrovečníka mravenčího pod kůrou může mít velký vliv na počty kůrovců v ohnisku. Podle Millse (1985) dokáže TF snížit populaci IT až o 18 %. Dipple et al. (1997) zjistil, že průměrná plodnost samice TF je 106 vajíček. Déle

z výzkumu vyplývá, že dospělý pestrokrovečník dokáže sníst 3 dospělé za den a larva pestrokrovečníka za svůj larvální život zkonzumuje 44-57 larev kůrovce. Mills (1985) také uvádí, že hustota výskytu TF byla odhadnuta na 1,3-11 larev/1000 cm³. Na základě těchto údajů Kenis et al. (2007) spočítal, že larvy zabijí 57-627 larev IT na 1000 cm³ a jako průměrnou hustotu výskytu IT udal 142 až 814 jedinců na 1000 cm³. Drumont et al. (1992) počítal predátory kůrovce vyskytující se přirozeně v prostředí za pomoci odchyťových zařízení. Predátoři tvořili 2,5 % z celkového množství.

8.3.2 *Beauveria bassiana*

Nadějí v biologické obraně lesů je použití mikrobiologických přípravků, jako jsou entomopatogenní houby *Beauveria bassiana* (dále jen BB). Jedná se o přirozeně se vyskytující patogen, který napadá kůrovce (Fora et al., 2022). Aplikace biopreparátu se sporami houby BB by měla podněcovat plísňové infekce u více kambiofágních druhů hmyzu živících se smrkem ztepilým. Účinnost BB proti kůrovcům byla potvrzena v laboratorních podmínkách (Groztki & Kosibowicz, 2015).

Groztki & Kosibowicz (2015) ve výzkumu použili feromonové lapače, do nichž odchyťovali dospělé kůrovce. Do lapače byl přidán biopreparát se sporami BB. Mortalita se lišila ve vztahu k množství biopreparátu v lapači a dle vývojové fáze brouka, ale nebyla dostatečně vysoká, aby měla nějaký praktický význam.

K podobnému výsledku došel i Fora et al. (2022), kdy sice určitá mortalita IT nastala, ale ve srovnání s rozsahem působení IT je zanedbatelná. Každopádně má smysl, se biologické obraně s pomocí BB nadále věnovat, jelikož bude upřednostňována nad toxickými syntetickými insekticidy. Také může být využita na místech, kde se IT vyskytuje v menší míře.

8.4 Ošetření insekticidem

Insekticidy je zapotřebí používat v rozumné míře. S maximální účinností a zároveň s co nejmenším dopadem na životní prostředí. Musí být používány pouze povolené insekticidy a v koncentraci udávané výrobcem. Často je do směsi přidáváno i barvivo, aby bylo možné provést kontrolu ošetření.

Účinnost insekticidů je závislá na více faktorech a pohybuje se od 0 do 100 % (Blazenec et al., 2015).

Insekticid je možné aplikovat na pokácený nebo větrem vyvrácený strom. Vznikne tak otrávený lapák. V případě, že jde o past, tak lze kmen opatřit i atraktantem (Kula et al., 2022). Jinak lze tímto způsobem pouze snížit pravděpodobnost, že se v kmeni dovyvine generace kůrovce (Blazenec et al., 2015).

Při kvalitním ošetření každého kmenu zvláště je účinnost insekticidu téměř 100 % (Zahradníková & Zahradník, 2015). Neodkorněný kmen je nutné postříkat po celé ploše, na které je borka. Pokud je to možné, tak ho otočit a ošetřit i z druhé strany. Nástřík je aktivní až 8 týdnů (Kula et al., 2022; Blazenec et al., 2015). Doporučuje se provést postřík těsně před vylétnutím dospělců. V případě, že byl kmen ošetřen na podzim a dospělci nevlétli, ale přezimovali, pak je nutné postřík opakovat před jarním vylétnutím. Insekticidy jsou totiž pouze požerové a nehubí jedince pod kůrou, tudíž nepůsobí v měsících, kdy brouci zimují. Ze stejného důvodu může nastat problém při silném napadení, jelikož můžou dospělci vylétávat stejným výletovým otvorem, který vyvrtal první brouk.

Aplikovat insekticid je možné pouze na suchý kmen a v bezesrážkovém období. Jelikož déšť při nebo těsně po aplikaci snižuje účinnost. Postřík by měl zasychat alespoň dvě hodiny. Také je nutné dodržovat zásady BOZP a využít vhodné ochranné pomůcky, dle pokynů na etiketě přípravku. Důležité je správné dávkování chemické látky do rozpouštědla. Malé množství snižuje účinnost přípravku a velké může ohrozit bezpečnost a mít negativní vliv na životní prostředí.

Chemická asanace je v porovnání s jinými metodami ošetřování kmenů rychlá a levná. Nevýhodou je nutná návaznost na počasí a životní prostředí (Blazenec et al., 2015).

Insekticidy mají ale i neblahé vlivy na necílové organismy, které po kontaktu s ošetřeným povrchem hynou. Mezi necílové organismy patří i predátoři IT (například rod *Thanasimus*). Podle výzkumu, mají ale na mortalitu predátorů rodu *Thanasimus* větší vliv síť Storanet® než otrávené lapáky (Kula et al., 2022).

V případě, že se v porostu IT vyskytuje v malé míře, může být použití insekticidu kontraproduktivní, jelikož může insekticid způsobit menší mortalitu IT než by za normálních okolností zajistili predátoři, kteří vlivem insekticidu uhynuli (Blazenec et al., 2015).

8.5 Insekticidní síť (Storanet®)

Storanet® je speciální tmavě zelená polyesterová síť s 24 oky na 1 cm². Síť je napuštěna insekticidem a může být zároveň použita i jako past, pokud se na ní umístí feromonový odparník. Do sítě lze obalit menší skládku nebo samotné kmene. Při správném obalení samostatného kmene je ochrana 100 % (Zahradníková & Zahradník, 2015).

Další pasti k odchytnu kůrovců, které využívají insekticidní sítě jsou trojnožky vyrobené z latí. Tyto pasti je nutné navnadit feromonovými odparníky. Statisticky lepší výsledky účinnosti, ale vykazují lapáky v porovnání s trojnožkami. Trojnožky s insekticidní sítí mají negativní vliv na vícero druhů létavého hmyzu, včetně predátora kůrovců pestrokrovečníka mravenčího (Kula et al., 2022).

Dalším druhem trojnožky s využitím insekticidní sítě je Trinet. V tomto případě je síť navlečena na hliníkovou konstrukci. Používají se taktéž s feromonovými odparníky a mají za účel nalákat kůrovce od atraktivních stromů (například vývratů) a zahubit ho. Trojnožky s insekticidní sítí jsou účinností srovnatelné s feromonovými lapači, takže je lze využít pro ochranu smrkových porostů (Grodzki & Skrzecz, 2017).

8.6 Alternativní ochrana stromů s použitím anti-atraktantů

Kůrovci na jehličnanech si vyvinuli několik čichových mechanismů, díky kterým mohou lépe vyhledávat hostitele, ale zároveň se mohou i nevhodným hostitelům a nehostitelským druhům vyhýbat (Zhang & Schlyter, 2004). Je známo, které látky přitahují nebo naopak odpuzují různé druhy kůrovců. Tyto chemické znalosti lze využít k ochraně lesa bez použití pesticidů (Lindermark et al., 2022).

Látky, které napomáhají pro odhalení nevhodných hostitelů mají anti-atraktantní účinek a jsou velkou nadějí pro použití v ochraně lesa. Látky s repelentním účinkem jsou obsaženy v kůře stromů, ale kůrovci dokáží rozpoznat nevhodný hostitelský strom i na základě signálů od ostatních jedinců z populace (Zhang & Schlyter, 2004).

Anti-atraktanty jsou směsi syntetických látek, které mají za úkol maskovat vůni smrkových porostů a mít repelentní účinek. Většinou jsou používány formou odparníků. Syntetické látky obsažené ve směsi jsou identické s vůní listnatých stromů a plně obsazeného smrku.

V dnešní době se anti-atraktanty testují a nejsou běžně využívány v lesnickém provozu. Anti-atraktanty jsou vhodné pro porosty s věkem nad 50 let a se zastoupením smrku alespoň 50 %. Repelentem by měly být opatřeny především nově vniklé porostní stěny nebo nepřístupné lokality poškozené větrnou kalamitou. Anti-atraktanty je možné používat v tzv. bariéře. Jedná se o řadu repelentem ošetřených stromů. Je ale nutné, aby řadu nenarušoval žádný přirozený atraktant (například vyvrácený strom).

Na rozdíl od feromonových odparníků, repelentní odparníky nejsou vázány na sluneční záření. Naopak je zde spíše požadavek na umístování odparníků na stinné části stromů. Anti-atraktanty je nutné aplikovat před prvním náletem brouků do porostu. Aplikace později už nebývá tak účinná. Největší repelentní účinek je pozorován během prvního rojení. Odparníky bývají účinné až 8 týdnů (Jakuš et al., 2015).

8.6.1 Switch efekt

Při nevhodném využití anti-atraktantů může dojít k nežádoucímu účinku, kdy bude kůrovec vytlačován do sousedních (neošetřených) ploch a bude se nekontrolovatelně šířit (Schiebe et al., 2011; Jakuš et al., 2022). Switch efektu se dá předejít vhodně umístěnými anti-atraktanty a správně vybranou hranici chráněné oblasti (Jakuš et al., 2022).

8.6.2 Push-Pull efekt

Základem metody je využití zároveň atraktantních (pull) i anti-atraktantních (push) pastí Lindmark et al, 2022; Jakuš et al., 2022;). Atraktant lze ve formě agregčního feromonového odparníku umístit do lapače (Jakuš et al., 2022) nebo může být agregční feromon umístěn na dřevní hmotě. Účinnost metody se snižuje v heterogenním porostu. Ochrana celého porostu je náročná i nákladná. Své využití ale metoda bude mít především při ochraně solitérních nebo cenných stromů (Lindmark et al, 2022)

8.6.3 Verbenon

Anti-agregační feromon verbenon byl v souvislosti s výběrem hostitelských stromů u kůrovců objeven před více jak 50 lety (Renwick, 1967). Verbenon je organická sloučenina patřící mezi terpeny. Považuje se za signál, který detekuje nevhodný

hostitelský materiál a zároveň napomáhá s rozpadem dřeva napadeného kůrovcem (Byers et al., 1989). Funkce verbenonu se může u různých druhů kůrovce lišit (Frühbrodt, 2024).

U lýkožrouta smrkového k syntéze verbenonu může docházet díky přeměně z verbenolu. Kvasinky ve střevech lýkožroutů dokáží na verbenon syntetizovat ze dvou geometrickým izomerům cis-verbenol i trans-verbenol (Lindmark-Henriksson, 2003). Není známo, do jaké míry mají na biosyntézu verbenonu vliv mikroorganismy. Základní biochemické procesy při přeměně verbenolu na verbenon nejsou známy a dosud nebyly charakterizovány žádné enzymy, které by tomuto procesu napomáhaly. Zdá se ale, že kůrovec urychluje rozpad dřevní hmoty pomocí mikrobů, což vede k uvolnění verbenonu (Frühbrodt, 2024).

Verbenon inhibuje více samce, než samice (Zhang & Schlyter, 2004).

Za běžného stavu je verbenon v kůře stromů obsažen jen ve stopovém množství. Při kolonizaci kůrovcem začíná jeho obsah exponenciálně růst (Pettersson & Boland, 2003).

8.6.4 Nehostitelské těkavé látky (NHV)

Těkavé látky obsažené v jehličnanech jsou rozdílné od těch, které lze nalézt v listnatých dřevinách. U jehličnatých stromů jsou převažující těkavou látkou monoterpenoidy. Listnaté stromy uvolňují velké množství těkavých látek zelených rostlin (Zhang et al, 1999).

Nehostitelské těkavé látky se nacházejí v rostlinách, které nejsou pro lýkožrouta cílové. Obsaženy jsou především v listech a kůře listnatých dřevin. NHV se nachází především v dřevinách rodu *Populus* a *Betula* (Zhang & Schlyter, 2004). NHV inhibují více samce, než samice (Zhang & Schlyter, 2004).

8.6.4.1 Trans-konophorin

Trans-konophorin je důležitá synergická sloučenina, kterou obsahuje kůra listnatých stromů (Zhang & Schlyter, 2004). Největší množství této látky je obsaženo v bříze (Unelius et al., 2014). Na trans-konophorin reagovaly receptory nejen lýkožrouta smrkového, ale i dalších pěti testovaných kůrovců. Na kůrovce působí jako varovný zásah (Zhang & Schlyter, 2004).

8.6.4.2 Těkavé látky zelených rostlin

Těkavé látky zelených rostlin jsou šesti uhlíkové primární alkoholy, aldehydy a acetáty, které jsou všudypřítomně obsaženy v listnatých stromech a rostlinách (Visser et al., 1979). V jehličnanech se těkavé látky zelených rostlin vyskytují pouze ve stopovém množství (Knudsen et al., 1993). Těkavé látky neobsahují pouze listy, ale i kůra listnatých stromů (Zhang et al., 2000). V literatuře jsou často označovány anglickou zkratkou GLV (Green leaf volatines).

Hlavní GLV, na které lýkožrout smrkový reaguje jsou 1-hexanol, (Z)-3-hexen-1-ol a (E)-2-hexen-1-ol. Všechny uvedené těkavé látky byly zjištěny v kůře břízy (*betula spp.*) a osiky (*populus tremula*).

Dalšími látkami, na které lýkožrout smrkový reflektuje jsou C8 alkoholy. 3-oktanol a 1-okten-3-ol, obě jsou emitované opět z kůry břízy a osiky (Jakuš et al., 2022).

1-okten-3-ol a 3-oktanol jsou dominantními složkami vícero druhů hub a plísní a zároveň jsou součástí agregačního feromonu u čeledi *Cucujidae* (Zhang et al., 2000).

Ve smíšených porostech, kde jsou mimo monoterpenoidů z jehličnanů uvolňovány i těkavé látky zelených rostlin z listnatých stromů je nižší riziko výskytu kůrovců (Zhang & Schlyter, 2004). Brouci se raději, pokud je to možné, vyhnou celému porostu, kde jsou vysílány některé ze signálů nehostitelských dřevin, než aby musely rozpoznávat jednotlivé látky ze směsi všech těkavých sloučenin (Reddy & Guerrero, 2004).

8.6.5 1,8 cineol

1,8 cineol je cyklický monoterpen nacházející se v rostlinách (Zamponi et al., 2007). Vzorec této látky je C₁₀H₁₈O a jeho dalším názvem je Eucalyptol. Obsažen je jako aromatická složka v rozmarýnu nebo eukalyptu. Monoterpen 1,8 cineol se nachází také v kůře smrku ztepilého. Při napadení stromu kůrovcem se jeho množství zvyšuje (až 4x). Míra obsahu látky ve stromu stále roste s intenzitou postupu napadení. Látka má inhibiční účinek pro další nalétající IT a pokud je 1,8 cineol obsažen ve stromu ve velkém množství, je to znakem vyčerpání stromu, který přestává být pro kůrovce atraktivní (Andersson et al., 2010).

Na tykadle IT je sensila se specifickými čichovými receptory na rozpoznání 1,8 cineolu, které lokalizují zároveň i agregační feromonovou složku cis-verbenol (Andersson et al., 2009). 1,8 cineol inhibuje více samce, než samice (Zhang & Schlyter, 2004).

Větší množství 1,8 cineolu lze nalést ve stromech, které jsou náchylné k napadení kůrovcem než ve stromech, které se již útoku brání. Lze ho považovat za indikátor odolnosti proti hromadným náletům (Schiebe et al., 2012).

8.6.6 Trans-4-Thujanol

Jedná se o bicyklický monoterpenoidní alkohol, který umí IT rozlišit specifickým čichovým receptorem. Hojně se vyskytuje v mladých, pro lýkožrouta smrkového neatraktivních, porostech (Schiebe et al., 2019). Množství látky obsažené ve stromech úměrně s přibývajícím věkem stromu klesá (Blažytė-Čereškienė, 2016).

Trans-4-Thujanol pravděpodobně také působí jako teritoriální signál, který využívají dva druhy kůrovce (*Pityogenes chalcographus* a *Ips typographus*), aby předcházely konkurenčnímu boji (Jirošová et al., 2022).

Tato látka byla kromě smrku nalezena i v esenciálních olejích mnoha dalších rostlin (Bhatia et al., 2008).

Účinnost látky jako anti-atraktantu je srovnatelná s verbenonem a 1,8 cineolem, ale jeho výhodou oproti jiným anti-atraktantům je, že dokáže lépe odpuzovat samice, jelikož samice umí látku rozpoznat lépe a dříve než samci. Pokud samice zachytí větší množství látky, pak strom považují za nevhodný pro rozmnožování a nenalétávají na něho (Jirošová et al., 2022).

Trans-4-Thujanol nelze považovat ze repelent (Jirošová et al., 2022), podle výkladu Månssona (2005), který definuje repelenty jako prostředek snižující agregaci kůrovců v prostředí. Kdežto tato anti-atraktantní látka bez použití agregačního feromonu nesnížila počet brouků zachycených do pastí (Jirošová et al., 2022).

9 Metodika:

9.1 Lokalita

Výzkum proběhl v přilehlém lese u obce Bílek u Chotěboře. Obec je v nadmořské výšce 545 m n.m. Chotěbořsko se nachází v PLO 16 - Českomoravská vrchovina.

Les, ve kterém probíhal experiment byl před téměř 100 lety zasažen sněhovou kalamitou a musel se kompletně rekonstruovat, čímž vznikl téměř ve všech porostech stejnověký porost se zastoupením smrku přibližně 90 %. Nyní jsou stávající dospělé porosty v desátém věkovém stupni, ale na zhruba 60 % ploch už započala obnova.

V létě roku 2020 došlo na tomto lesnickém úseku k velké větrné kalamitě, která podpořila pozvolně nastupující kůrovcovou kalamitu. Většina porostů roste na podmáčených stanovištích, takže porosty, většinou již narušené, jsou velmi náchylné na škody větrem. Což je, i přes snahu pracovníků o včasné odklizení atraktivní hmoty, vhodné pro množení kůrovce.



Mapa číslo 1: Lesní komplex, ve kterém probíhal výzkum (Google maps, 2024)

9.2 Intenzita výskytu kůrovce v lokalitě v období výzkumu

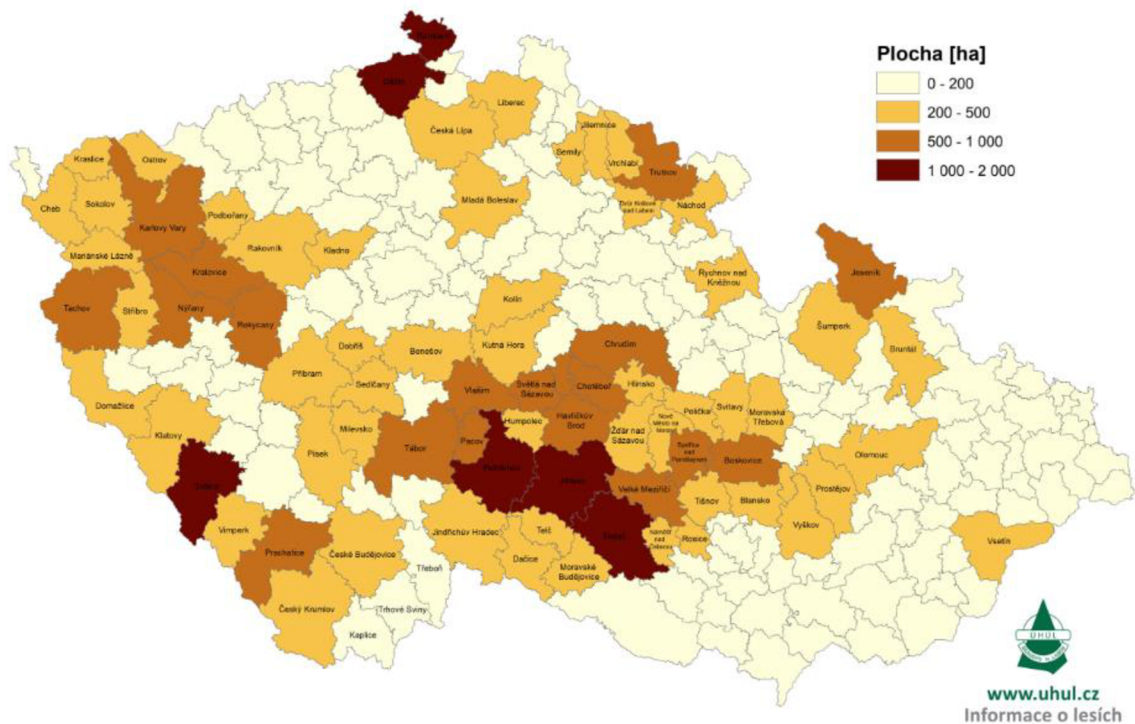
Výzkum probíhal v období od 6.5.2023 do 3.6.2023.

V roce 2022 byly počty kůrovce v lokalitě několikanásobně vyšší, než byl celorepublikový průměr. Z kalamitního základu bylo spočítáno jedno obranné opatření na

hektar. Obranná opatření byla umístována do dostatečné vzdálenosti od zkusných ploch, aby neovlivňovala výsledek experimentu.

V roce 2023 se velikost populace kůrovce v lokalitě výrazně snížila, ale stále byla dostatečná pro relevantnost dat.

Plocha těžeb a souší v jehličnatých porostech dle kůrovcové mapy v ORP 9/2022 - 9/2023



Mapa číslo 2: Plocha těžeb a souší v jehličnatých porostech dle kůrovcové mapy v ORP 9/2022-9/2023 (ÚHÚL, 2023).

9.3 Postup práce

Bylo vybráno deset zkusných ploch. Na každé ploše muselo být přesně 5 vyvrácených stromů. U ploch byla vždy dodržena vzdálenost minimálně 50 metrů od sebe.

Většina stromů se vyvrátila svévolně, ale na některých plochách bylo zapotřebí několik kusů vyvrátit uměle. Všechny vývraty ale vznikly v termínu od 10.03.2023 do 30.03.2023. Bylo dbáno, aby byly všechny stromy zcela na zemi. Ať už kvůli bezpečnosti, relevantnosti výzkumu i snadnému přístupu ke kmenu při počítání závrtů. Stromy použité v experimentu měly DBH v rozptylu 30-40 cm. Dále byl kladen důraz na tloušťku kmene u poslední plošky, která u žádného jedince nebyla menší než 18 cm.

Každý kus byl rozlišen výstražnou barvou, evidován v mapě a byly na něm vyznačeny kontrolní plošky. Na každém stromě bylo 5 kontrolních plošek umístěno ve stejné vzdálenosti.



Mapa číslo 3: Rozmístění kontrolních ploch s vyvrácenými stromy (Google maps, 2024).



Obrázek číslo 3: Plocha číslo 1. Na této ploše nebyly použity odparníky s testovanou směsí (Autor)



Obrázek číslo 4: Plocha číslo 2. Na této ploše nebyly použity odparníky s testovanou směsí (Autor)

Na třetí ploše byly použity odparníky s testovanou směsí. Nebyla, ale nafocena dronem, jelikož se nachází v bezletové oblasti.



Obrázek číslo 5: Plocha číslo 4. Na tuto plochu nebyly umístěny odparníky s testovanou směsí (Autor)



Obrázek číslo 6: Plocha číslo 5. Na této ploše byly umístěny odparníky s testovanou směsí (Autor)



Obrázek číslo 7: Plocha číslo 6. Na této ploše nebyly umístěny odparníky s testovanou směsí (Autor)



Obrázek číslo 8: Plocha číslo 7. Na této ploše byly umístěny odparníky s testovanou směsí (Autor)



Obrázek číslo 9: Plocha číslo 8. Na této ploše nebyly umístěny odparníky s testovanou směsí (Autor)

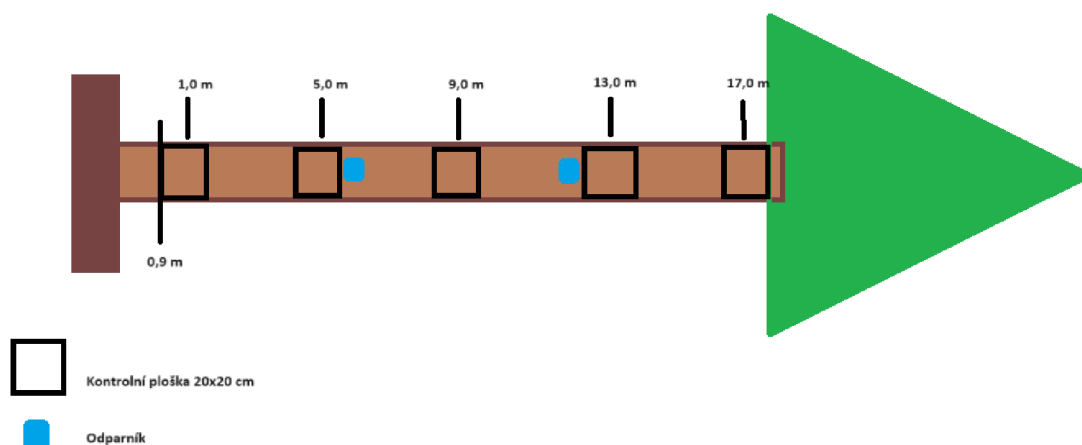


Obrázek číslo 10: Plocha číslo 9. Na této ploše byly umístěny odparníky s testovanou směsí (Autor)



Obrázek číslo 11: Plocha číslo 10. Na této ploše byly umístěny odparníky s testovanou směsí (Autor)

Rozvržení kontrolních plošek a umístění odparníků s testovanou směsí



Obrázek číslo 12: Rozvržení kontrolních plošek a umístění odparníků s testovanou směsí (autor)

K prvnímu náletu kůrovce v lokalitě došlo 29.05.2023. Každých 7 dní byly závrtý na kontrolních ploškách přepočítány. Pro jednodušší počítání byla každá ploška ohraničena a rozdělena na 4 díly. Pro označování závrtů byly používány nearomatizované akrylové barvy.

Závrtý byly rozdělovány do několik skupin. Byly rozlišovány závrtý s drtinkami a bez nich. Dále jsme počítali zvláště zasmolené závrtý a také jsme vylišovali, zda se jedná o závrtý způsobené *Ips typographus* nebo *Pityogenes chalcographus*.



Obrázek číslo 13: Označení kontrolního stromu (Autor)



Obrázek číslo 14: Kontrolní ploška umístěná na kmeni (autor)



Obrázek číslo 15: Označené závrtý na kontrolní plošce (autor)

Experiment probíhal 5 týdnů. Pátý týden byl experiment ukončen. Na některých stromech byl již kůrovec nalezen v poslední fázi vývoje, tudíž hrozil výlet z kontrolních stromů a následná expanze. Všechny plošky byly z kmenů odděleny a uloženy do mrazáku, aby došlo k zahubení brouků a kůra tak mohla být využita k případnému dalšímu výzkumu.



Obrázek číslo 16: Loupání kontrolní plošky, kde je viditelné napadení *Ips typographus* (autor)



Obrázek číslo 17: Loupání kontrolní plošky, kde je viditelné kombinované napadení *Ips typographus* a *Pityogenes chalcographus* (autor)



Obrázek číslo 18: Mražení kůry (autor)

9.4 Složení směsi:

Ve výzkumu byly použity odparníky ve velikosti 7,5 x 15 cm s plastovým nosičem, který slouží k nasáknutí sloučeniny. Jako prostupná membrána byla použita polyetylenová fólie. V odparnicích byla obsažena kapalná směs anti-atraktantů s celkovým koeficientem odparu všech látek 90 mg/den. Koeficient odparu byl gravimetricky stanoven při podmínkách pokusu.

Konkrétně byla směs složena z 1,8-cineolu (Ci) v množství 1 516 mg, racemického *trans*-conophthorinu (tC) v množství 15,37 mg, NHV-olů (1-hexanol (hex)

v množství 1012 mg, 1-okten-3-ol (oct) v množství 1012 mg a 3-oktanol (3ol) v množství 1516 mg) a *trans*-4-thujanolu (t4ol) v množství 51 mg. Vše v poměru 15 hex:oct:3ol:ci:tC:t4ol 0,2:0,2:0,3:0,003.

Z tohoto poměru odhadnutý koeficient odparu jednotlivých složek směsi je pro NHV-oly 63 mg/den (1-hexanol 18 mg/den, 1-okten-3-ol 18 mg/den; 3-oktanol 27 mg/den), 1,8-cineol 27 mg/den, *trans*-conophthorin 0,3 mg/den s *trans*-4-thujanolem 1 mg/den

Látka	CAS látek použitých pro ochranu smrků	Název biologicky aktivních enantiomerů	CAS biologicky aktivních enantiomerů	Obsažené množství
Trans-conophthorin	73046-13-6	(5S,7S)-[(E)-7-methyl-1,6-dioxaspiro[4.5]dekan]	68108-90-7 77715-03-8	12,37 mg
1-okten-3-ol	3391-86-4	(-)-1-okten-3-ol	3684-48-7	1012 mg
3-oktanol	589-98-0	(+)-3-oktanol	22658-92-0	1516 mg
1-hexanol	111-27-3			1012 mg
1,8-cineol (eukalyptol)	470-82-6			1516 mg
Trans-4-thujanol (sabinen hydrát)	546-79-2	(+)- <i>trans</i> -4-thujanol	7712-82-5	51 mg

Tabulka číslo 1: Látky obsažené ve směsi

9.5 Statistické zpracování:

V první fázi analýzy byly použity modely GLMNs (generalized mixed models), díky kterým bylo určeno, zdali byla nebo nebyla ploška obsazena kůrovcem. Tyto modely byly upraveny v R pomocí balíčku glmm TMB (Brooks et al., 2017) a rezidua modelu byla analyzována pomocí DHARMA balíčku (Hartig, 2022).

Při analýze určování pravděpodobnosti napadení druhem *Ips typographus* se zaměřením na jednotlivé plošky byl určen jako nejvhodnější model: $\text{Infestation_Ips} \sim \text{Treatment} * \text{Days_afterStartoE} + \text{Window} + (\text{Date} | \text{Tree})$.

Při stejné analýze, jen pro druh *Pytiogenes chalcographus* byl použit model: $\text{Infestation_Pity} \sim \text{Treatment} + \text{Days_afterStartoE} + \text{Window} + (1 | \text{Plot/Tree}) + (1 | \text{Date})$.

Na rozdíl od modelu pro IT zde bylo datum použito jako „crossed random effect“. Dynamika napadení PCH byla v průběhu času homogennější, takže je tato změna akceptovatelná.

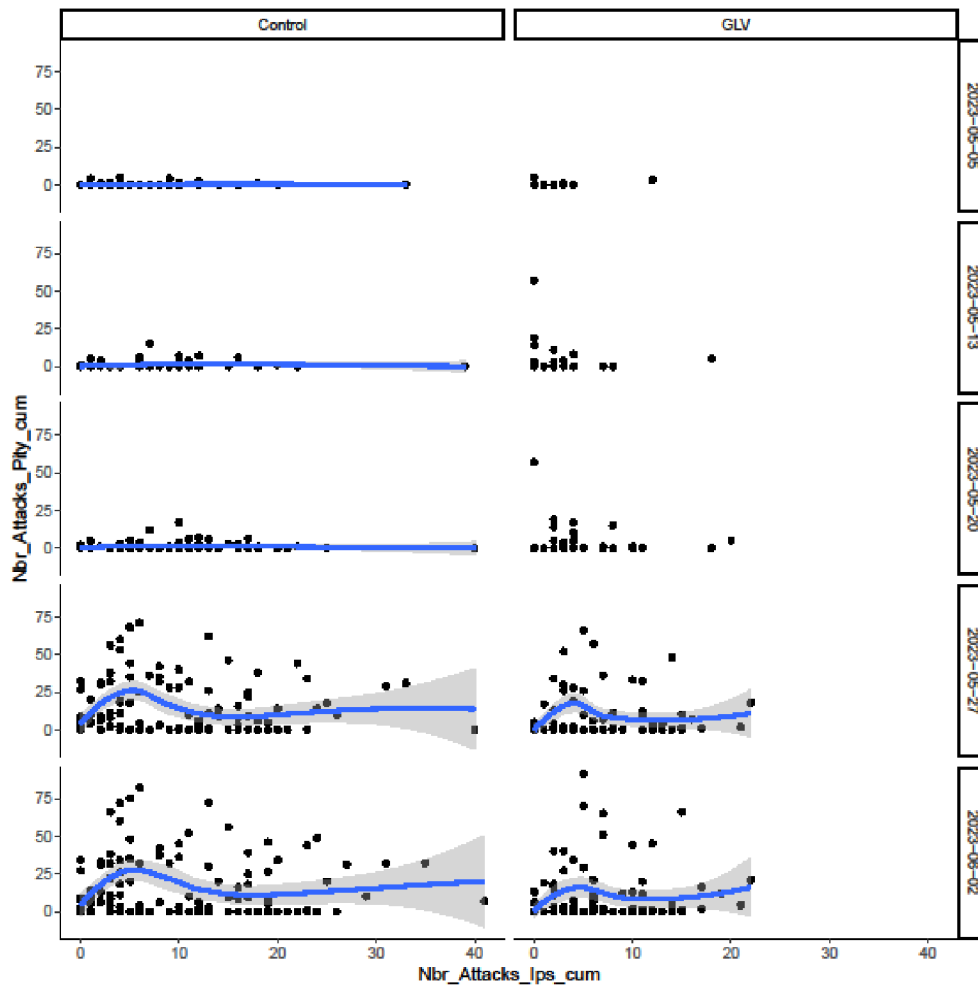
V druhé fázi analýzy byla posuzována intenzita napadení plošek za pomoci modelu: $\text{Nbr_Attacks_Ips_cum} \sim \text{Treatment} * \text{Days_afterStartoE} + (1 | \text{Plot/Tree/Window})$ s negativní binomickou distribucí. Tento model byl využit u IT.

Pro PCH byl využit model: $\text{Nbr_Attacks_Pity_cum} \sim \text{Treatment} * \text{Days_afterStartoE} + \text{Infestation_Ips} + \text{Window} + (1 | \text{Plot/Tree/Window})$ s negativní binomickou distribucí a funkcí log-link.

10 Výsledky

10.1 Pravděpodobnost napadení stromu

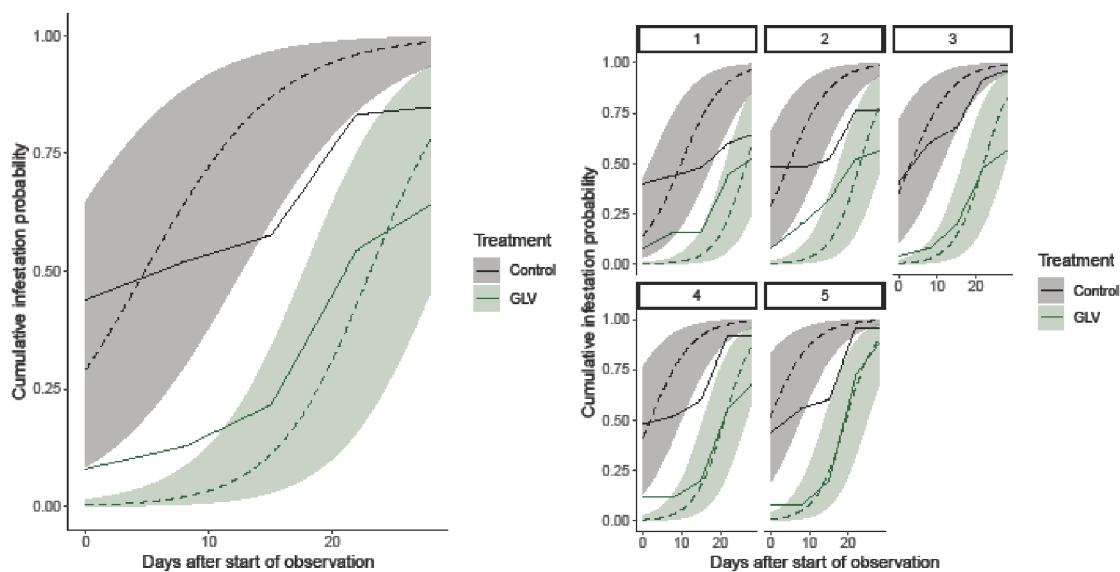
První část analýzy byla zaměřena na pravděpodobnost napadení stromu škůdci *Ips typographus* a *Pityogenes chalcographus*. Napadení bylo posuzováno u jednotlivých plošek. Pokud na ní byl nalezen závrt, ať už s drtinkami nebo bez, pak byla považována za napadenou. Zasmolený závrt se za úspěšné napadení nepovažoval.



Graf číslo 1: Interakce mezi počty *Ips typographus* a *Pytiogenes chalcographus* ve dvou testovacích skupinách (sloupec) v průběhu času (řádek).

Nezdá se, že by mezi druhy *Ips typographus* a *Pytiogenes chalcographus* docházelo ke konzistentní interakci. V grafu se neukazuje negativní korelace mezi druhy, takže se vzájemně nevylučují.

Dále jsou posuzovány oba druhy individuálně.



Graf číslo 2: Pravděpodobnost napadení stromu druhem *Ips typographus*.

Na levém grafu je vidět kumulativní pravděpodobnost napadení druhem *Ips typographus* (sloupec) v průběhu času (řádek) ve skupině s testovanou směsí (GLV – zelená) a v kontrolní skupině (control – šedá). Zobrazena je globální frekvence (plná čára) a modelová predikce (přerušovaná čára) spolu s 95 % intervalem spolehlivosti pro predikovaný průměr (stínovaná plocha). Predikce je na globální úrovni a pozice plošky je nastavena náhodně (na 2). Na pravé straně jsou stejné grafy, jen se specifickou odezvou pro každou pozici plošky (1-5).

```

Family: binomial ( logit )
Formula: Infestation_Ips ~ Treatment * Days_afterStartoE + Window + (Date | Tree)
Data: infestation_Dat

```

```

      AIC      BIC  logLik deviance df.resid
 830.3   886.8  -404.2   808.3    1239

```

Random effects:

Conditional model:

```

Groups Name      Variance Std.Dev. Corr
Tree  (Intercept) 1.058e+01 3.253e+00
      Date        1.222e-19 3.495e-10 1.00
Number of obs: 1250, groups: Tree, 50

```

Conditional model:

```

              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)   -1.82841    0.76573  -2.388 0.016949 *
TreatmentGLV  -5.06280    1.11029  -4.560 5.12e-06 ***
Days_afterStartoE  0.18430    0.01951  9.445 < 2e-16 ***
Window2        0.94234    0.31994  2.945 0.003226 ** |
Window3        1.22969    0.32201  3.819 0.000134 ***
Window4        1.46724    0.32449  4.522 6.14e-06 ***
Window5        1.89292    0.33061  5.726 1.03e-08 ***
TreatmentGLV:Days_afterStartoE  0.07312    0.02960  2.470 0.013495 *
---

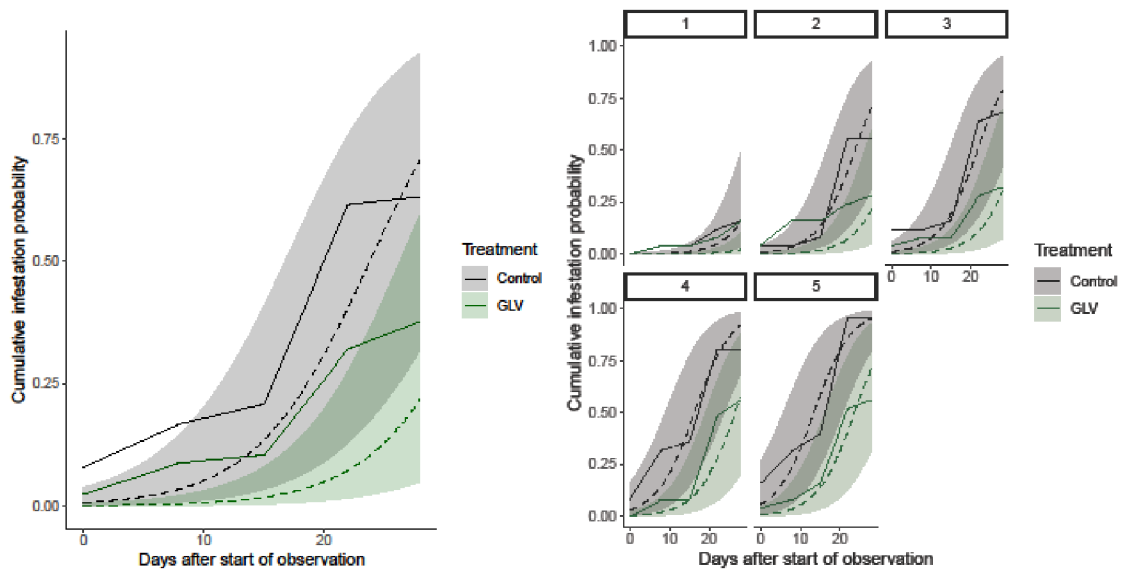
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Graf číslo 3: Statistické shrnutí modelu pro určování pravděpodobnosti napadení druhem *Ips typographus*.

Testovaná směs (GLV) významně ovlivnila pravděpodobnost napadení druhem *Ips typographus* a způsobila její progresi v čase (významná interakce v době aplikace; $p=0,01$; levá část grafu č. 2 a graf č. 3).

Dynamika napadení byla na jednotlivých ploškách odlišná (pravá část grafu č. 2). Odchylka ale může být od jisté míry způsobena nerovnováhou v ostatních prediktorech (zkusnou plochou a datem). Na ploškách 1 a 2 u kontrolních skupin byla pozorována nižší pravděpodobnost zamoření než na ostatních. *Ips typographus* napadal plošky 1 a 2 na některých plochách později. Data jsou tak hůře porovnatelná.



Graf číslo 4: Pravděpodobnost napadení stromu druhem *Pytiogenes chalcographus*.

Na levém grafu je vidět kumulativní pravděpodobnost napadení druhem *Pytiogenes chalcographus* (sloupec) v průběhu času (řádek) ve skupině s testovanou směsí (GLV – zelená) a v kontrolní skupině (control – šedá). Zobrazena je globální frekvence (plná čára) a modelová predikce (přerušovaná čára) spolu s 95 % intervalem spolehlivosti pro predikovaný průměr (stínovaná plocha). Predikce je na globální úrovni a pozice plošky je nastavena náhodně (na 2).

Na pravé straně jsou stejné grafy, jen se specifickou odezvou pro každou pozici plošky (1-5).

```
Family: binomial ( logit )
Formula: Infestation_Pity ~ Treatment + Days_afterStartoE + Window + (1 | Plot/Tree) + (1 | Date)
Data: infestation_Dat
```

AIC	BIC	logLik	deviance	df.resid
777.2	828.5	-378.6	757.2	1240

Random effects:

Conditional model:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Tree:Plot	(Intercept)	3.5527	1.8849
Plot	(Intercept)	1.5035	1.2262
Date	(Intercept)	0.3184	0.5643

Number of obs: 1250, groups: Tree:Plot, 50; Plot, 10; Date, 5

Conditional model:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-7.59108	0.98419	-7.713	1.23e-14 ***
TreatmentGLV	-2.16116	0.97966	-2.206	0.0274 *
Days_afterStartoE	0.21038	0.03029	6.945	3.79e-12 ***
Window2	2.57613	0.42311	6.089	1.14e-09 ***
Window3	3.01718	0.42646	7.075	1.50e-12 ***
Window4	4.15836	0.44530	9.338	< 2e-16 ***
Window5	4.76548	0.46037	10.351	< 2e-16 ***

Graf číslo 5: Statistické shnutí modelu pro určování pravděpodobnosti napadení druhem *Pytiogenes chalcographus*.

Použití testované směsi (GLV) významně ovlivnilo pravděpodobnost napadení druhem *Pytiogenes chalcographus* ($p=0,03$), ale čas zde nehrál tak velkou roli ($p=0,84$), proto nebyl do modelu zahrnut (levá část grafu č. 4 a graf č. 5). Významný účinek polohy plošky na stromě je vidět na levé části grafu č. 4.

10.2 Intenzita napadení stromu

V druhé části analýzy byla posuzována intenzita napadení u druhu *Ips typographus* a *Pytiogenes chalcographus*. Hustota závrtů na plošce je vztažená k jednotce času.

```

Family: nbinom1 ( log )
Formula:      Nbr_Attacks_Ips_cum ~ Treatment * Days_afterStartoE + (1 | Plot/Tree/Window)
Data: infestation_Dat

      AIC      BIC  logLik deviance df.resid
  4394    4435   -2189    4378    1242

Random effects:

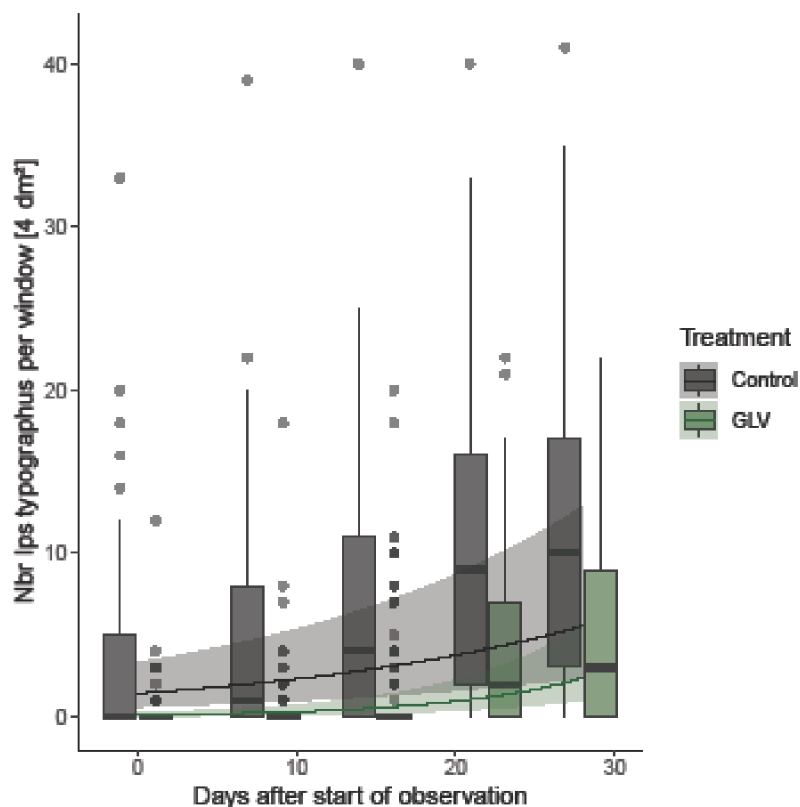
Conditional model:
Groups      Name      Variance Std.Dev.
Window:Tree:Plot (Intercept) 0.4015  0.6337
Tree:Plot      (Intercept) 1.1701  1.0817
Plot           (Intercept) 0.6471  0.8045
Number of obs: 1250, groups: Window:Tree:Plot, 250; Tree:Plot, 50; Plot, 10

Dispersion parameter for nbinom1 family (:): 2.07

Conditional model:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    0.347497  0.430399  0.807  0.419
TreatmentGLV   -2.722262  0.627194 -4.340 1.42e-05 ***
Days_afterStartoE  0.048785  0.002918 16.717 < 2e-16 ***
TreatmentGLV:Days_afterStartoE 0.066728  0.007138  9.348 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1|

```

Graf číslo 6: Statistické shrnutí modelu pro určení hustoty napadení druhem *Ips typographus*.



Graf číslo 7: Kumulativní hustota napadení druhem *Ips typographus* v průběhu času ve skupině ošetřené testovanou směsí (GLV – zelená) a v kontrolní skupině (šedá).

Boxploty ukazují pozorovanou hustotu a plná čára zobrazuje modelovou predikci spolu s 95 % intervalem spolehlivosti pro predikovaný průměr (stínovaná plocha). Predikce je na globální úrovni.

Z grafů 6 i 7 vyplývá, že ošetření testovací směsí i čas měli vliv na hustotu napadení stromů využitých v experimentu druhem *Ips typographus*. Ve všech případech byla $p < 0,01$.

Family: nbinom1 (log)
 Formula: Nbr_Attacks_Pity_cum ~ Treatment * Days_afterStartoE + Infestation_Ips + Window + (1 | Plot/Tree/Window)
 Data: infestation_Dat

AIC BIC logLik deviance df.resid
 2955.1 3021.8 -1464.5 2929.1 1237

Random effects:

Conditional model:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Window:Tree:Plot	(Intercept)	0.6513	0.8070
Tree:Plot	(Intercept)	0.9521	0.9757
Plot	(Intercept)	0.7336	0.8565

Number of obs: 1250, groups: Window:Tree:Plot, 250; Tree:Plot, 50; Plot, 10

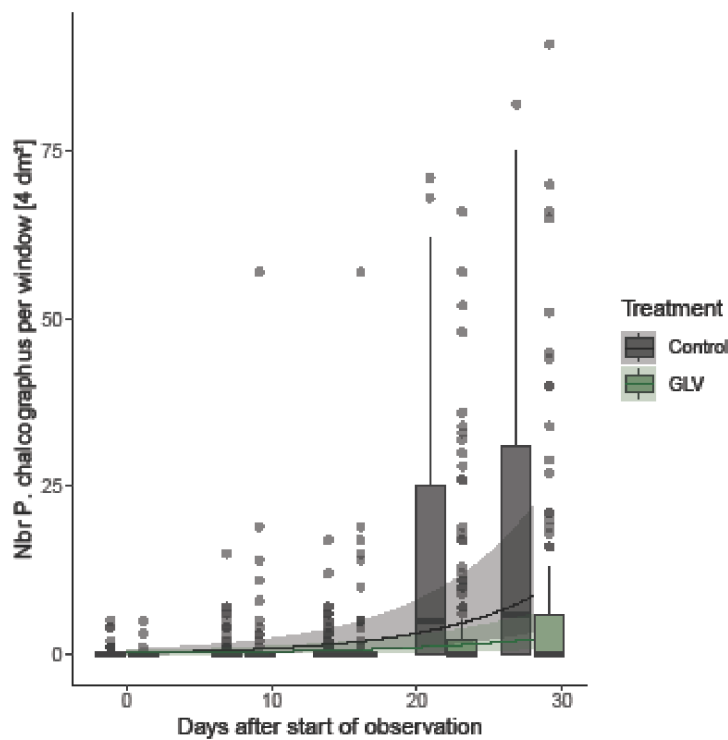
Dispersion parameter for nbinom1 family (:): 7.93

Conditional model:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-5.877164	0.610879	-9.621	< 2e-16 ***
TreatmentGLV	-0.520082	0.707388	-0.735	0.4622
Days_afterStartoE	0.127206	0.007422	17.138	< 2e-16 ***
Infestation_Ipsyes	2.225425	0.237484	9.371	< 2e-16 ***
Window2	1.994152	0.362727	5.498	3.85e-08 ***
Window3	2.245875	0.357535	6.282	3.35e-10 ***
Window4	2.967820	0.357076	8.311	< 2e-16 ***
Window5	3.262565	0.357075	9.137	< 2e-16 ***
TreatmentGLV:Days_afterStartoE	-0.029866	0.012568	-2.376	0.0175 *

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Graf číslo 8: Statistické shrnutí modelu pro určení hustoty napadení druhem *Pytiogenes chalcographus*.



Graf číslo 9: Kumulativní hustota napadení druhem *Pytiogenes chalcographus* v průběhu času ve skupině ošetřené testovanou směsí (GLV – zelená) a v kontrolní skupině (šedá).

Boxploty ukazují pozorovanou hustotu a plná čára zobrazuje modelovou predikci spolu s 95 % intervalem spolehlivosti pro predikovaný průměr (stínovaná plocha). Predikce je na globální úrovni.

Samotné ošetření směsí neovlivnilo hustotu napadení druhem *Pytiogenes chalcographus* ($p = 0,46$), ale významně ovlivnilo čas napadení ($p = 0,02$). Poloha plošky byla důležitým prediktorem. Čím byla ploška dále od kořenů, tím spíše bylo napadené.

11 Diskuse

Využití anti-atraktantů v integrované ochraně lesa je bezesporu vhodným doplněním k běžně používaným obranným opatřením. Testování různých směsí anti-atraktantních látek se věnuje mnoho studií s rozdílnými výsledky.

Účinnost látek posuzujeme podle změn na chování škůdců, které způsobují. V našem výzkumu jsme účinnost látek posuzovali podle pravděpodobnosti, zda škůdce strom napadne a dále dle intenzity napadení. Dalším pozorovaným faktorem bylo porovnání napadení v průběhu času a dle polohy na kmenu. Sledované vyvrácené stromy byly napadány druhy *Ips Typographus* a *Pytiogenes chalcographus*.

V testovaných anti-atraktantních směsích se často využívá látka verbenon. Verbenon má vliv na nejméně 38 druhů kůrovců (Hulcr et al., 2015), ale opačný účinek může mít na silně sekundární škůdce. Dalším problémem je, že není jasné, kolik verbenonu se přirozeně vyskytuje v atmosféře. Některé studie dokonce rozporují předpoklad, že verbenon vypouští pouze dospělci pro ukončení kolonizace určitého stromu. V některých studiích je zpochybňováno, zda brouk může aktivně řídit biosyntézu verbenonu. Uvolňování verbenonu při kolonizaci může být způsobeno pasivně za pomoci mikroorganismů. Dle předpokladů by verbenon měl přitahovat přirozené nepřátele kůrovců, ale není tomu tak (Frühbrodt et al., 2024). V testované směsi nebyl verbenon použit.

Jakuš et al (2003) verbenon kombinoval s NHV a dosáhl snížení pravděpodobnosti napadení o 60-80 %. Nutné je ale upřesnit, že tohoto kladného výsledku bylo dosaženo pouze u stojících stromů. U ležících stromů byly výsledky méně úspěšné. Výborného výsledku dosáhl i Hansen et al. (2017), který rovněž spojil NHV s verbenonem. Pravděpodobnost závažnějšího napadení stojícího smrkového lesa škůdci byla snížena o 50 %. Ve výzkumu Schiebe et al. (2011) byla díky kombinaci verbenonu s NHV pravděpodobnost napadení smrkového lesa kůrovcem o 35-76 % nižší než na kontrolních plochách.

Binyameen et al. (2014) ve svém výzkumu porovnával účinnost 1,8 cineolu s verbenonem. Došel závěru, že s přibývajícím vzdáleností kůrovce více reaguje na 1,8 cineol než na verbenon. Výraznou odezvu kůrovce na 1,8 cineol potvrdil i výzkum Anderssona et al. (2010). Tato látka je významnou měrou obsažena i ve směsi, která je testována v tomto výzkumu.

Mudrončková et al. (2019) dosáhli pozitivních výsledků v odpuzování kůrovců s využitím esenciálních olejů především z rostlin *Origanum vulgare* (Dobromysl lékařská), *Thymus vulgaris* (Tymián obecný), *Hyssopus officinalis* (Yzop lékařský) a *Mentha piperita* (Máta obecná). Výzkum probíhal nejprve v laboratorních podmínkách a následně byl testován na pokácených stromech. Použité esenciální oleje mají pro kůrovce jednak repelentní funkci, ale zároveň jsou pro ně i toxické. Dle autorů studie mají esenciální oleje potenciál pro využití jako alternativa k běžným obraným opatřením v integrované ochraně lesa. Esenciální oleje by mohly být použity k ošetření zvláště chráněných stromů nebo skladů se dřívím. Ke stejnému účelu by mohla být použita i směs testovaná v tomto výzkumu.

Směs shodná se směsí testovanou v tomto výzkumu již byla testována Jakušem et al. (2024) na stojících porostech. Jedná se o spojení NHV (Trans-conophthorin, 1-okten-3-ol, 3-oktanol a 1-hexanol) s 1,8-cineolem a trans-4-thujanolem. Na poslední zmiňovanou látku reagují silněji samice než samci, což je mezi anti-atraktanty výjimečné (Jirošová et al., 2022), proto je vhodné její využití ve směsi.

Výsledky Jakuše et al. (2024) byly velmi pozitivní. Ošetřené stromy a jejich okolí byly stoprocentně chráněny až do vzdálenosti 30 metrů. K expanzi kůrovce pak docházelo nejvíce 60-70 metrů od ošetřených jedinců, což může dokazovat repelentní účinek, ale k tomuto tvrzení zatím není dostatek informací. V oblasti, kde byla směs testována byly vysoké počty populace kůrovce.

Je možné, že právě díky absenci verbenonu ve směsi je ochráněno i okolí ošetřených stromů. Plus je směs obohacena oproti běžným směsím o Trans-4-Thujanol, což by mohlo účinnost anti-atraktantu výrazně zvýšit a metoda by mohla být použitelná v praxi.

Kladného výsledku bylo dosaženo i v tomto výzkumu. U druhu *Ips typographus* bylo dosaženo nejen odkladu napadení, ale i jeho snížení. U druhu *Pytiogenes*

chalcographus intenzita napadení nebyla výrazně snížena, ale došlo rovněž k oddálení napadení.

12 Závěr

Cílem práce bylo posoudit novou směs anti-atraktantních látek a vyhodnotit, zda má potenciál k použití při integrované ochraně lesa, konkrétně při ochraně vývratů. Výzkum probíhal pět týdnů. Směsi byly ošetřeny čerstvě vyvrácené stromy ponechané i s kořeny. Směs byla na stromy umístěna formou odparníků. Do výzkumu byly zahrnuty dva druhy smrkových škůdců – *Ips typographus* a *Pytiogenes chalcographus*.

Výsledek výzkumu byl kladný. U druhu IT byla výrazně snížena pravděpodobnost napadení ležícího stromu. Celkově bylo napadení oproti kontrolním stromům zpožděno, a dokonce proběhlo v menší intenzitě. Posunována byla také skutečnost, zda druh upřednostňuje k napadení některé části stromu před jinými. U druhu IT byla část stromu do 5 metrů napadána v menší intenzitě a později.

U druhu PCH je díky směsi také snížena pravděpodobnost napadení stromu, ale pokud k napadení dojde, tak se oproti kontrolním stromům nesnižuje intenzita. Stejně jako u předešlého druhu byly útoky na stromy u ošetřených stromů zpožděny. Dle očekávání druh PCH upřednostňoval vrchní části stromů.

Během výzkumu nebyla pozorována žádná výrazná interakce mezi dvěma zmiňovanými druhy kůrovců. Nedošlo k negativní korelaci, což ukazuje, že se druhy nevyklučují.

Lze říct, že směs by mohla být využívána jako alternativa k jiným prostředkům ochrany lesa v případě větrných vývratů, které jsou ohnisky budoucího napadení kůrovcem. Využití směsi můžeme předpokládat především na nepřístupných místech nebo chráněných územích, kde je komplikovaná dostupnost pro techniku nebo pracovníky odklízající polomy a zpozdit napadení tedy může být benefitem. Dále by bylo vhodné směsí ošetřit jakékoliv ohrožené jedince, u kterých je cílem ponechání v porostu. Své opodstatnění směs může mít i na skladech se dřívím.

13 Přehled literatury a použitých zdrojů:

Anderbant, O. (1990). Gallery construction and oviposition of the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at different breeding densities. *Ecological Entomology*, 15(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1990.tb00777.x>

Andersson, M. N., Larsson, M. C., Blaženec, M., Jakuš, R., Zhang, Q.-H., & Schlyter, F. (2010). Peripheral modulation of pheromone response by inhibitory host compound in a beetle. *Journal of Experimental Biology*, 213(19), 3332–3339. <https://doi.org/10.1242/jeb.044396>

Andersson, M. N., Larsson, M. C., & Schlyter, F. (2009). Specificity and redundancy in the olfactory system of the bark beetle *Ips typographus*: Single-cell responses to ecologically relevant odors. *Journal of Insect Physiology*, 55(6), 556–567. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2009.01.018>

Bakke, A. (1972). Evidence of a population aggregating pheromone in *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae). *Contributions. Boyce Thompson Institute for Plant Research*, 24(1), 309–310.

Bhatia, S. P., Letizia, C. S., & Api, A. M. (2008). Fragrance material review on alpha-terpineol. *Food and Chemical Toxicology*, 46(11), S280–S285. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.06.027>

Biedermann, P. H. W., Müller, J., Grégoire, J.-C., Gruppe, A., Hagge, J., Hammerbacher, A., Hofstetter, R. W., Kandasamy, D., Kolarik, M., Kostovcik, M., Krokene, P., Sallé, A., Six, D. L., Turrini, T., Vanderpool, D., Wingfield, M. J., & Bässler, C. (2019). Bark Beetle Population Dynamics in the Anthropocene: Challenges and Solutions. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(10), 914–924. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.06.002>

Binyameen, M., Jankuvová, J., Blaženec, M., Jakuš, R., Song, L., Schlyter, F., & Andersson, M. N. (2014). Co-localization of insect olfactory sensory cells improves the discrimination of closely separated odour sources. *Functional Ecology*, 28(5), 1216–1223. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12252>

Blaženec, M., Jakuš, R., & Mezei, P. (2015). Použitie insekticídov v ochrane lesa. *Princípy Ochrany Dospelých Smrekových Porastov Pred Podkôrnym Hmyzom*, 157–166.

Blažytė-Čereškienė, L., Apšegaitė, V., Radžiūtė, S., Mozūraitis, R., Būda, V., & Pečiulytė, D. (2016). Electrophysiological and behavioural responses of *Ips typographus* (L.) to trans-4-thujanol—a host tree volatile compound. *Annals of Forest Science*, 73(2), 247–256. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0494-5>

Bleiker, K. P., O'Brien, M. R., Smith, G. D., & Carroll, A. L. (2014). Characterisation of attacks made by the mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae) during its endemic population phase. *The Canadian Entomologist*, *146*(3), 271–284. <https://doi.org/10.4039/tce.2013.71>

Bonello, P., Gordon, T. R., Herms, D. A., Wood, D. L., & Erbilgin, N. (2006). Nature and ecological implications of pathogen-induced systemic resistance in conifers: A novel hypothesis. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *68*(4–6), 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2006.12.002>

Brázdil, R., Zahradník, P., Szabó, P., Chromá, K., Dobrovolný, P., Dolák, L., Trnka, M., Řehoř, J., & Suchánková, S. (2022). Meteorological and climatological triggers of notable past and present bark beetle outbreaks in the Czech Republic. *Climate of the Past*, *18*(9), 2155–2180. <https://doi.org/10.5194/cp-18-2155-2022>

Brooks, M. E., Kristensen, K., Benthem, K. J. , van, Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Mächler, M., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal*, *9*(2), 378. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>

Byers, J. A. (1989). Chemical ecology of bark beetles. *Experientia*, *45*(3), 271–283. <https://doi.org/10.1007/BF01951813>

Byers, J. A. (1993). Orientation of bark beetles *Pityogenes chalcographus* and *Ips typographus* to pheromonebaited puddle traps placed in grids: A new trap for control of scolytids. *Journal of Chemical Ecology*, *19*(10), 2297–2316. <https://doi.org/10.1007/BF00979665>

Denno, R. F., McClure, M. S., & Ott, J. R. (1995). Interspecific Interactions in Phytophagous Insects: Competition Reexamined and Resurrected. *Annual Review of Entomology*, *40*(1), 297–331. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.40.010195.001501>

Dippel, C., Heidger, C., Nicolai, V., & Simon, M. (1997). Der Einfluß von vier verschiedenen Prädatoren auf Borkenkäfer in europäischen Forstökosystemen (Coleoptera: Scolytidae). *Entomologia Generalis*, *21*(3), 161–175. <https://doi.org/10.1127/entom.gen/21/1997/161>

Đodan, M., & Perić, S. (2019). Windthrow Resistance of Norway Spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) Forest Cultures - Preliminary Results. *South-East European Forestry*, *10*(1), 77–88. <https://doi.org/10.15177/seeфор.19-09>

Doležal, P., & Sehnal, F. (2007). A simple method for the detection of imaginal diapause in beetles. *Journal of Applied Entomology*, 131(3), 221–223. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01144.x>

Drumont, A., Gonzalez, R., de Windt, N., Grégoire, J. -C., Proft, M. de, & Seutin, E. (1992). Semiochemicals and the integrated management of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae) in Belgium ¹. *Journal of Applied Entomology*, 114(1–5), 333–337. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1992.tb01135.x>

Eriksson, M. J. (2007). The bark beetle *Ips typographus* (L.) on patches of dead or dying host trees estimating the colonization success and the risk of consequential tree deaths. *University of Joensuu*. ISBN 978-952-458-954-3

Eriksson, M., Neuvonen, S., & Roininen, H. (2007). Retention of wind-felled trees and the risk of consequential tree mortality by the European spruce bark beetle *Ips typographus* in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(6), 516–523. <https://doi.org/10.1080/02827580701800466>

Eriksson, M., Pouttu, A., & Roininen, H. (2005). The influence of windthrow area and timber characteristics on colonization of wind-felled spruces by *Ips typographus* (L.). *Forest Ecology and Management*, 216(1–3), 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.044>

Faccoli, M., & Stergulc, F. (2008). Damage reduction and performance of mass trapping devices for forest protection against the spruce bark beetle, *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae Scolytinae). *Annals of Forest Science*, 65(3), 309–309. <https://doi.org/10.1051/forest:2008010>

Fora, C. G., Boja, N., Moatăr, M., Tóth, F., & Balog, A. (2022). Effect of Entomopathogenic Fungi, *Beauveria bassiana* (Cordycipitaceae), on the Bark Beetle, *Ips typographus* (L.), under Field Conditions. *Insects*, 13(10), 885. <https://doi.org/10.3390/insects13100885>

Frühbrodt, T., Schebeck, M., Andersson, M. N., Holighaus, G., Kreuzwieser, J., Burzlaff, T., Delb, H., & Biedermann, P. H. W. (2024). Verbenone—the universal bark beetle repellent? Its origin, effects, and ecological roles. *Journal of Pest Science*, 97(1), 35–71. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01635-3>

Galko, J., Nikolov, C., Kunca, A., Vakula, J., Gubka, A., Zúbrik, M., Rell, S., & Konôpka, B. (2016). Effectiveness of pheromone traps for the European spruce bark beetle: a comparative study of four commercial products and two new models. *Forestry Journal*, 62(4), 207–215. <https://doi.org/10.1515/forj-2016-0027>

Gijzen, M., Lewinsohn, E., Savage, T. J., & Croteau, R. B. (1993). *Conifer Monoterpenes* (pp. 8–22). <https://doi.org/10.1021/bk-1993-0525.ch002>

Göthlin, E., Schroeder, L. M., & Lindelöw, A. (2000). Attacks by *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* on Windthrown Spruces (*Picea abies*) During the Two Years Following a Storm Felling. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15(5), 542–549. <https://doi.org/10.1080/028275800750173492>

Grodzki, W. (2022). Do *Ips typographus* (L.) beetles prefer the thickest trees? A retrospective study from Polish mountains. *Sylvan*, 166, 351–361. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2022041>

Grodzki, W., & Kosibowicz, M. (2015). An attempt to use the fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. in forest protection against the bark beetle *Ips typographus* (L.) in the field. *Forest Research Papers*, 76(1), 5–17. <https://doi.org/10.1515/frp-2015-0001>

Grodzki, W., & Skrzecz, I. (2017). Trinet P as an innovative method in the protection of Norway spruce stands against *Ips typographus* (L.). *Sylvan*, 161, 34–39. ISSN: 0039-7660

Hansen, E. M., Munson, A. S., Blackford, D. C., Graves, A. D., Coleman, T. W., & Baggett, L. S. (2017). 3-Methylcyclohex-2-en-1-one for area and individual tree protection against spruce beetle (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) attack in the southern Rocky Mountains. *Journal of Economic Entomology*, 110(5), 2140–2148. <https://doi.org/10.1093/jee/tox208>

Hartig, F. (2022). DHARMA: residual diagnostics for hierarchical (multi-level / mixed) regression models. R package version 0.4.6. .

Hedgren, P. O. (2004). The bark beetle *Pityogenes chalcographus* (L.) (Scolytidae) in living trees: reproductive success, tree mortality and interaction with *Ips typographus*. *Journal of Applied Entomology*, 128(3), 161–166. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2003.00809.x>

Holuša, J., Hlásny, T., Modlinger, R., Lukášová, K., & Kula, E. (2017). Felled trap trees as the traditional method for bark beetle control: Can the trapping performance be increased? *Forest Ecology and Management*, 404, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.019>

Holuša, J., & Lukášová, K. (2005). Přirození nepřátelé podkorního hmyzu - bioregulační komplex. *Princípy Ochrany Dospelých Smrekových Porastov Pred Podkôrným Hmyzom*, 39–56. ISBN 978-80-89408-21-4

Hroško, B., Mezei, P., Potterf, M., Majdák, A., Blaženec, M., Korolyova, N., & Jakuš, R. (2020). Drivers of Spruce Bark Beetle (*Ips typographus*) Infestations on Downed Trees after Severe Windthrow. *Forests*, *11*(12), 1290. <https://doi.org/10.3390/f11121290>

Hulcr, J., Atkinson, T. H., Cognato, A. I., Jordal, B. H., & McKenna, D. D. (2015). Morphology, Taxonomy, and Phylogenetics of Bark Beetles. In *Bark Beetles* (pp. 41–84). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00002-2>

Hůrka K., & Čepická, A. (1978). *Rozmnožování a vývoj hmyzu* (1.). ISBN: 14-085-81

I. Keeling, C., Tittiger, C., MacLean, M., & Blomquist, G. J. (2021). Pheromone production in bark beetles. In *Insect Pheromone Biochemistry and Molecular Biology* (pp. 123–162). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819628-1.00004-3>

Jakuš, R. (1995). Bark beetle (Col., Scolytidae) communities and host and site factors on tree level in Norway spruce primeval natural forest. *Journal of Applied Entomology*, *119*(1–5), 643–651. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1995.tb01352.x>

Jakuš, R. (1998). Patch level variation on bark beetle attack (Col., Scolytidae) on snapped and uprooted trees in Norway spruce primeval natural forest in endemic condition: effects of host and insolation. *Journal of Applied Entomology*, *122*(1–5), 409–421. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1998.tb01521.x>

Jakuš, R., Holuša, J., Mezei, P., Slivinský, J., Majdák, A., & Blaženec, M. (2015). Biotechnické metody ochrany lesa. *Princípy Ochrany Dospělých Smrekových Porastov Pred Podkôrným Hmyzom*, 111–152. ISBN: 978-80-89408-21-4

Jakuš, R., Modlinger, R., Kašpar, J., Majdák, A., Blaženec, M., Korolyova, N., Jirošová, A., & Schlyter, F. (2022). Testing the Efficiency of the Push-and-Pull Strategy during Severe *Ips typographus* Outbreak and Extreme Drought in Norway Spruce Stands. *Forests*, *13*(12), 2175. <https://doi.org/10.3390/f13122175>

Jakuš, R., Schlyter, F., Zhang, Q.-H., Blaženec, M., Vaverčák, R., Grodzki, W., Brutovský, D., Lajzová, E., Turčáni, M., Bengtsson, M., Blum, Z., & Gregoiré J.-C. (2003). Anzeiger für Schadlingskunde Journal of Pest Science. *Anz. Schadlingskunde / J. Pest Science*, *76*, 89–99. ISSN: 1436-5693

Jakuš, R., Trubin, A., Singh, V. V., Zabihi, K., Jirošová, A., Modlinger, R., Majdák, A., Korolyova, N., Moliterno, A. A. C., Kašpar, J., Slavík, M., Surový, P., Turčáni, M., &

Schlyter, F. (2024). Spruce Protection against *Ips typographus* with Anti-Attractant Blend of Tree-Based Semiochemicals: From Small Experimental Plots to Stand Scales. *Forests*, 15(2), 356. <https://doi.org/10.3390/f15020356>

Jirošová, A., Kalinová, B., Modlinger, R., Jakuš, R., Unelius, C. R., Blaženec, M., & Schlyter, F. (2022). Anti-attractant activity of (+)- *trans* -4-thujanol for Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus* : Novel potency for females. *Pest Management Science*, 78(5), 1992–1999. <https://doi.org/10.1002/ps.6819>

Jönsson, A. M., Schroeder, L. M., Lagergren, F., Anderbrant, O., & Smith, B. (2012). Guess the impact of *Ips typographus*—An ecosystem modelling approach for simulating spruce bark beetle outbreaks. *Agricultural and Forest Meteorology*, 166–167, 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.07.012>

Juha, M., Lukášová, K., Holuša, J., & Turčáni, M. (2012). *Netradiční způsoby boje s lýkožroutem smrkovým - Ips typographus (Coleoptera: Curculionidae): certifikovaná metodika* (Lesnický průvodce). Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti.

Keeling, C. I., & Bohlmann, J. (2006). Genes, enzymes and chemicals of terpenoid diversity in the constitutive and induced defence of conifers against insects and pathogens*. *New Phytologist*, 170(4), 657–675. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01716.x>

Kenis, M., Wermelinger, B., & Grégoire, J.-C. (2007). Research on Parasitoids and Predators of Scolytidae – A Review. In *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis* (pp. 237–290). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2241-8_11

Knížek, M., & Beaver, R. (2004). Taxonomy and Systematics of Bark and Ambrosia Beetles. In *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis* (pp. 41–54). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/1-4020-2241-7_5

Knudsen, J. T., Tollsten, L., & Bergström, L. G. (1993). Floral scents—a checklist of volatile compounds isolated by head-space techniques. *Phytochemistry*, 33(2), 253–280. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(93\)85502-I](https://doi.org/10.1016/0031-9422(93)85502-I)

Kolbe, S., Pfenning, M., & Schindler, D. (2024). Wind-induced torsional vibration in a ponderosa pine tree. *Forest Ecology and Management*, 553, 121638. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121638>

Krokene, P. (2015). Conifer Defense and Resistance to Bark Beetles. In *Bark Beetles* (pp. 177–207). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00005-8>

Kuhn, A., Hautier, L., & San Martin, G. (2022). Do pheromone traps help to reduce new attacks of *Ips typographus* at the local scale after a sanitary cut? *PeerJ*, 10, e14093. <https://doi.org/10.7717/peerj.14093>

Kula, E., Šotola, V., Špoula, J., & Wasserbauer, J. (2022). Otrávené lapáky versus trojnožky se sítí storanet , Ips Typographus (L.) a necíloví berobratlí. *Zprávy Lesnického Výzkumu*, 67, 67, 246–258.

Lindgren, B. S., & Raffa, K. F. (2013). Evolution of tree killing in bark beetles (Coleoptera: Curculionidae): trade-offs between the maddening crowds and a sticky situation. *The Canadian Entomologist*, 145(5), 471–495. <https://doi.org/10.4039/tce.2013.27>

Lindmark, M., Wallin, E. A., & Jonsson, B.-G. (2022). Protecting forest edges using trap logs – Limited effects of associated push-pull strategies targeting Ips typographus. *Forest Ecology and Management*, 505, 119886. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119886>

Lindmark-Henriksson, M., Isaksson, D., Sjödin, K., Högberg, H.-E., Vaněk, T., & Valterová, I. (2003). Transformation of α -Pinene Using *Picea abies* Suspension Culture. *Journal of Natural Products*, 66(3), 337–343. <https://doi.org/10.1021/np020426m>

Louis, M., Dohet, L., & Grégoire, J. C. (2016). Fallen trees' last stand against bark beetles. *Forest Ecology and Management*, 359, 44–50. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2015.09.046>

Louis, M., Grégoire, J.-C., & Pélişson, P.-F. (2014). Exploiting fugitive resources: How long-lived is “fugitive”? Fallen trees are a long-lasting reward for Ips typographus (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae). *Forest Ecology and Management*, 331, 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.009>

Lubojacký, J., & Holuša, J. (2014). Effect of insecticide-treated trap logs and lure traps for Ips typographus (Coleoptera: Curculionidae) management on nontarget arthropods catching in Norway spruce stands. *Journal of Forest Science*, 60(1), 6–11. <https://doi.org/10.17221/62/2013-JFS>

Lubojacký, J., Lorenc, F., Samek, M., Knížek, M., & Liška, J. (2022). Hlavní problémy v ochraně lesa v Česku v roce 2021 a prognóza na rok 2022. *Zpravodaj Ochrany Lesa*, 25, 17–26. ISBN 978-80-7417-229-8

Lubojacký, J., Lorenz, F., Vele, A., & Knížek, M. (2023). Výskyt lesních škodlivých faktorů v Česku v roce 2022. *Lesnická Práce*, 49–53. ISSN: 0322-9254

M. Pettersson, E., & Boland, W. (2003). Potential parasitoid attractants, volatile composition throughout a bark beetle attack. *Chemoecology*, 13(1), 27–37. <https://doi.org/10.1007/s000490300003>

Månsson, P. E. (2005). *Host Selection and Antifeedants in Hylobius abietis Pine Weevils* (Vol. 16). Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. ISBN: 91-576-7015-3

Maurer, S., & Heinemann, H. R. (2020). Framework for assessing the windthrow risk to Norway spruce forests in Switzerland. *European Journal of Forest Research*, 139(2), 259–272. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01251-w>

Mills, N. J. (1985). Some observations on the role of predation in the natural regulation of *Ips typographus* populations¹. *Zeitschrift Für Angewandte Entomologie*, 99(1–5), 209–215. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1985.tb01980.x>

Mudrončková, S., Ferencík, J., Gruňová, D., & Barta, M. (2019). Insecticidal and repellent effects of plant essential oils against *Ips typographus*. *Journal of Pest Science*, 92(2), 595–608. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1038-1>

Netherer, S., Schebeck, M., Morgante, G., Rentsch, V., & Kirisits, T. (2022). European Spruce Bark Beetle, *Ips typographus* (L.) Males Are Attracted to Bark Cores of Drought-Stressed Norway Spruce Trees with Impaired Defenses in Petri Dish Choice Experiments. *Forests*, 13(4), 537. <https://doi.org/10.3390/f13040537>

Nordlund, D. A., & Lewis, W. J. (1976). Terminology of chemical releasing stimuli in intraspecific and interspecific interactions. *Journal of Chemical Ecology*, 2(2), 211–220. <https://doi.org/10.1007/BF00987744>

Panferov, O., Doering, C., Rauch, E., Sogachev, A., & Ahrends, B. (2009). Feedbacks of windthrow for Norway spruce and Scots pine stands under changing climate. *Environmental Research Letters*, 4(4), 045019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045019>

Peltola, H., Ikonen, V.-P., Gregow, H., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Venäläinen, A., & Kellomäki, S. (2010). Impacts of climate change on timber production and regional risks of wind-induced damage to forests in Finland. *Forest Ecology and Management*, 260(5), 833–845. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.001>

Pfeil, W. (1827). Über Insektenschaden in den Wäldern, die Mittel ihm vorzubeugen und seine Nachteile zu vermindern. *Verlag Boicke*., 72. <https://doi.org/10.1515/9783112440209>

Potterf, M., & Bone, C. (2017). Simulating bark beetle population dynamics in response to windthrow events. *Ecological Complexity*, 32, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2017.08.003>

Quine, C. P., Gardiner, B. A., & Moore, J. (2021). Wind disturbance in forests: The process of wind created gaps, tree overturning, and stem breakage. In *Plant Disturbance Ecology* (pp. 117–184). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818813-2.00004-6>

Ramakrishnan, R., Hradecký, J., Roy, A., Kalinová, B., Mendezes, R. C., Synek, J., Bláha, J., Svatoš, A., & Jirošová, A. (2022). Metabolomics and transcriptomics of pheromone biosynthesis in an aggressive forest pest *Ips typographus*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 140, 103680. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2021.103680>

Reddy, G. V. P., & Guerrero, A. (2004). Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends in Plant Science*, 9(5), 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.03.009>

Reed, C. C., & Hood, S. M. (2021). Few generalizable patterns of tree-level mortality during extreme drought and concurrent bark beetle outbreaks. *Science of The Total Environment*, 750, 141306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141306>

Renwick, J. A. A. (1967). Identification of two oxygenated terpenes from the bark beetles *Dendroctonus frontalis* and *Dendroctonus brevicomis*. *Contributions. Boyce Thompson Institute for Plant Research*, 23(10), 355–360.

Schebeck, M., Dobart, N., Ragland, G. J., Schopf, A., & Stauffer, C. (2022). Facultative and obligate diapause phenotypes in populations of the European spruce bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Pest Science*, 95(2), 889–899. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01416-w>

Schelhaas, M., Nabuurs, G., & Schuck, A. (2003). Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9(11), 1620–1633. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x>

Schiebe, C., Blaženec, M., Jakuš, R., Unelius, C. R., & Schlyter, F. (2011). Semiochemical diversity diverts bark beetle attacks from Norway spruce edges. *Journal*

of *Applied Entomology*, 135(10), 726–737. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2011.01624.x>

Schiebe, C., Hammerbacher, A., Birgersson, G., Witzell, J., Brodelius, P. E., Gershenzon, J., Hansson, B. S., Krokene, P., & Schlyter, F. (2012). Inducibility of chemical defenses in Norway spruce bark is correlated with unsuccessful mass attacks by the spruce bark beetle. *Oecologia*, 170(1), 183–198. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2298-8>

Schiebe, C., Unelius, C. R., Ganji, S., Binyameen, M., Birgersson, G., & Schlyter, F. (2019). Styrene, (+)-trans-(1R,4S,5S)-4-Thujanol and Oxygenated Monoterpenes Related to Host Stress Elicit Strong Electrophysiological Responses in the Bark Beetle *Ips typographus*. *Journal of Chemical Ecology*, 45(5–6), 474–489. <https://doi.org/10.1007/s10886-019-01070-8>

Schroeder, L. M., & Lindelöw, Å. (2002). Attacks on living spruce trees by the bark beetle *Ips typographus* (Col. Scolytidae) following a storm-felling: a comparison between stands with and without removal of wind-felled trees. *Agricultural and Forest Entomology*, 4(1), 47–56. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2002.00122.x>

Skatter, S., & Kucera, B. (2000). Tree breakage from torsional wind loading due to crown asymmetry. *Forest Ecology and Management*, 135(1–3), 97–103. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00301-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00301-7)

Skuhřavý, V. (2002). *Lýkožřout smrkový a jeho kalamity* (1.). Agrospoj.

Strom, B. L. (2000). *Visual and Semiochemical Disruption of Host Finding in Pine Bark Beetles*. https://doi.org/10.31390/gradschool_disstheses.7301

Strom, B. L., Roton, L. M., Goyer, R. A., & Meeker, J. R. (1999). Visual and Semiochemical Disruption of Host Finding in the Southern Pine Beetle. *Ecological Applications*, 9(3), 1028. <https://doi.org/10.2307/2641348>

Thom, D., & Seidl, R. (2016). Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews*, 91(3), 760–781. <https://doi.org/10.1111/brv.12193>

Thorn, S., Bässler, C., Bußler, H., Lindenmayer, D. B., Schmidt, S., Seibold, S., Wende, B., & Müller, J. (2016). Bark-scratching of storm-felled trees preserves biodiversity at lower economic costs compared to debarking. *Forest Ecology and Management*, 364, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.12.044>

Tømmerås, B. Å. (1988). The clerid beetle, *Thanasimus formicarius*, is attracted to the pheromone of the ambrosia beetle, *Trypodendron lineatum*. *Experientia*, 44(6), 536–537. <https://doi.org/10.1007/BF01958942>

Toth, D., Maitah, M., Maitah, K., & Jarolínová, V. (2020). The Impacts of Calamity Logging on the Development of Spruce Wood Prices in Czech Forestry. *Forests*, 11(3), 283. <https://doi.org/10.3390/f11030283>

Tsvetanov, N., Dountchev, A., Panayotov, M., Zhelev, P., Bebi, P., & Yurukov, S. (2018). Short- and long-term natural regeneration after windthrow disturbances in Norway spruce forests in Bulgaria. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 11(5), 675–684. <https://doi.org/10.3832/ifor2754-011>

Turčáni, M., & Juha, M. (2008). Netradiční způsoby boje s lýkožroutem smrkovým – *Ips typographus* L. (Coleoptera: scolytidae). *Zprávy Lesnického Výzkumu*, 1–5.

Unelius, C. R., Schiebe, C., Bohman, B., Andersson, M. N., & Schlyter, F. (2014). Non-Host Volatile Blend Optimization for Forest Protection against the European Spruce Bark Beetle, *Ips typographus*. *PLoS ONE*, 9(1), e85381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085381>

Visser, J. H., van Straten, S., & Maarse, H. (1979). Isolation and identification of volatiles in the foliage of potato, *Solanum tuberosum*, a host plant of the colorado beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Journal of Chemical Ecology*, 5(1), 13–25. <https://doi.org/10.1007/BF00987684>

Wallin, K. F., & Raffa, K. F. (2000). Influences of Host Chemicals and Internal Physiology on the Multiple Steps of Postlanding Host Acceptance Behavior of *Ips pini* (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology*, 29(3), 442–453. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-29.3.442>

Wermelinger, B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202(1–3), 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.018>

Weslien, J. (1992). Effects of mass trapping on *Ips typographus* (L.) populations¹. *Journal of Applied Entomology*, 114(1–5), 228–232. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1992.tb01120.x>

Weslien, J. (1994). Interactions within and between species at different densities of the bark beetle *Ips typographus* and its predator *Thanasimus formicarius*. *Entomologia*

Experimentalis et Applicata, 71(2), 133–143. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1994.tb01779.x>

White, T. C. R. (2018). An alternative hypothesis explains outbreaks of conifer-feeding budworms of the genus *Choristoneura* (Lepidoptera: Tortricidae) in Canada. *Journal of Applied Entomology*, 142(8), 725–730. <https://doi.org/10.1111/jen.12523>

Wood, D. L. (1982). The role of pheromones, kairomones, and allomones in the host selection and colonization behavior of bark beetles. *Annual Review of Entomology*, 27(1), 411–446. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.27.010182.002211>

Xie, S., & Lv, S. (2013). Effect of different semiochemicals blends on spruce bark beetle, *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae). *Entomological Science*, 16(2), 179–190. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2012.00555.x>

Zahradníková, M., & Zahradník, P. (2015). Netradiční metody ochrany lesa před kůrovcovitými (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Zprávy Lesnického Výzkumu*, 60, 37–46.

Zamponi, L., Michelozzi, M., & Capretti, P. (2007). Terpene response of *Picea abies* and *Abies alba* to infection with *Heterobasidion s.l.* *Forest Pathology*, 37(4), 243–250. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2007.00493.x>

Zhang, Q., & Schlyter, F. (2004). Olfactory recognition and behavioural avoidance of angiosperm nonhost volatiles by conifer-inhabiting bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 6(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9555.2004.00202.x>

Zhang, Q.-H., Birgersson, G., Zhu, J., Löfstedt, C., Löfqvist, J., & Schlyter, F. (1999). Leaf Volatiles from Nonhost Deciduous Trees: Variation by Tree Species, Season and Temperature, and Electrophysiological Activity in *Ips typographus*. *Journal of Chemical Ecology*, 25(8), 1923–1943. <https://doi.org/10.1023/A:1020994119019>

Zhang, Q.-H., Schlyter, F., & Birgersson, G. (2000). Bark volatiles from nonhost angiosperm trees of spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Scolytidae): Chemical and electrophysiological analysis. *Chemoecology*, 10(2), 69–80. <https://doi.org/10.1007/s000490050010>

Zhao, T., Kandasamy, D., Krokene, P., Chen, J., Gershenson, J., & Hammerbacher, A. (2019). Fungal associates of the tree-killing bark beetle, *Ips typographus*, vary in virulence, ability to degrade conifer phenolics and influence bark beetle tunneling behavior. *Fungal Ecology*, 38, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.06.003>

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022. (2023).
Ministerstvo zemědělství. ISBN: 978-80-7434-703-0

Zumr, V. (1995). *Lýkožrout smrkový – biologie, prevence a metody boje*. Matice
lesnická. ISBN: 80-900043-2-9

Mapové podklady:

Mapa číslo 1:

GOOGLE. Online. Google maps. Dostupné z:
<https://www.google.com/maps/@49.6968865,15.7325855,17z?entry=ttu>

Mapa číslo 2:

Plocha těžeb a souší v jehličnatých porostech dle kůrovcové mapy v ORP 9/2022-
9/2023. In: *ÚHÚL, informace o lesích* [online]. 2023 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z:
<https://www.uhul.cz/aktualizace-mapove-aplikace-kurovcova-mapa-z-dat-zari-2023/>

Mapa číslo 3:

GOOGLE. Online. Google maps. Dostupné z:
<https://www.google.com/maps/@49.6968865,15.7325855,17z?entry=ttu>