

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Excelentní tým pro mitigaci



Testování různých směsí anti-atraktantů odpuzujících lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) s cílem najít ekonomicky a toxikologicky optimální složení

Bakalářská práce

Andrea Vargová

Ing. Anna Jirošová, Ph.D.

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Andrea Vargová

Lesnictví

Ekonomika a řízení lesního hospodářství

Název práce

Testování různých směsí anti-atraktantů odpuzujících lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) s cílem najít ekonomicky a toxikologicky optimální složení

Název anglicky

Test of different anti-attractant mixtures repelling European spruce bark beetle (*Ips typographus*) with the aim to select economically and toxicologically optimal composition

Cíle práce

Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.) kůrovec specializovaný na smrk ztepilý, který způsobil v poslední dekádě rozsáhlé kůrovcové kalamity ve střední Evropě. Kůrovec se orientuje při výběru hostitelského stromu a jeho následné kolonizaci dle těkavých látek emitovaných nejenom smrkem ztepilým, ale například nehostitelskými látkami z listnatých stromů. Takový signál může být i negativní, kůrovce může odpuzovat například od nevhodného stromu k přistání. Směs z trans-konoftorinu, ze směsí nehostitelských alkoholů hexanolu, 3-oktanolu, 1-okten-3-ol, 1,8-cineolu a z nově objeveného trans-4-thujanolu byla na základě předchozích výzkumů vybrána vědci a její repelentní účinky byly dokázány. Tato směs ovšem obsahuje nákladné chemické látky, nebo látky s deklarovanou dráždivostí. Cílem této bakalářské práce je testovat ve feromonových lapačích aktivitu původní směsi těchto tzv. antiatraktantů oproti směsím, ze kterých byly vyřazeny nejnákladnější látky nebo látky s nejvíce bezpečnostními riziky. konkrétně bude cílem provést pokus na lesní pasece, kde v řadě feromonových lapačů budou jednotlivá složení testována v kombinaci s feromonem lýkožrouta smrkového a jejich aktivita bude porovnána s aktivitou odchytné na samotný feromon. Po spočtení brouků chycených na jednotlivé směsi a statistickém zpracování výsledků pak bude cílem zhodnotit změnu inhibičního efektu výhodnějších směsí.

Dalším cílem bude shrnout poznatky z vědecké literatury na téma anti-atraktivní látky pro lýkožrouta smrkového a dále použití antiatraktantů v ochraně lesa.

Metodika

Experiment bude proveden ve feromonových lapačích umístěných na lesní pasece alespoň 20 m od porostní stěny. Testovány budou varianty směsí oproti feromonu samotnému. Plná směs z trans-konoftorinu, ze směsí nehostitelských alkoholů hexanolu, 3-oktanolu, 1-okten-3-ol, 1,8-cineolu a trans-4-thujanolu, bude modifikována odstraněním trans-4-thujanolu, trans-konoftorinu, či 1-okten-3-olu. Účinnost směsí bude zjišťována v kombinaci s feromonem lýkožrouta smrkového oproti feromonu samotnému. Odporníky budou v lapačích randomizovány pro dosažení dostatečného počtu replikací pro statistické zpracování. Brouci odchytní do lapačů budou uskladněni pro pozdější sčítání.

Doporučený rozsah práce

40-60

Klíčová slova

ochrana smrků ztepilých, repelent, optimalizace anti-atraktantů, feromonové lapače

Doporučené zdroje informací

- Jakuš, R., Schlyter, F., Zhang, Q.-H., Blaženeč, 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>
- Schiebe, C.; Blaženeč, M.; Jakuš, R.; Unellus, 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>
- Xie, S.-A. and Lv, S.-J. (2013), Semiochemical blends on Ips typographus. *Entomological Science*, 16: 179-190. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2012.00555.x>
- Zhang, Q.C., 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.
doi:<https://doi.org/10.1111/j.1461-9555.2004.00202.x>
- Zhang, Q.-H. and Schlyter, F. (2003), Redundancy, synergism, and active inhibitory range of non-host volatiles in reducing pheromone attraction in European spruce bark beetle Ips typographus. *Oikos*, 101: 299-310. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.111595.x>

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Anna Jirošová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Excelentní tým pro mitigaci

Elektronicky schváleno dne 19. 7. 2022

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 31. 8. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Testování různých směsí anti-atraktantů odpuzujících lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) s cílem najít ekonomicky a toxikologicky optimální složení jsem vypracovala samostatně pod vedením Ing. Anny Jirošové, Ph.D a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Trutnově 5. 4. 2023

Poděkování

Ráda bych poděkovala paní Ing. Anně Jirošové, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala.

Testování různých směsí anti-atraktantů odpuzujících lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) s cílem najít ekonomicky a toxikologicky optimální složení

Abstrakt

Působením lýkožrouta smrkového (*Ips. typographus*), jsou kalamity ve smrkových porostech stále rozsáhlejší, což podněcuje vývoj alternativních způsobů ochrany smrkových porostů, založených na ekologických principech. Tato práce se v rámci experimentu, zabývá optimalizací směsí již známých tzv. anti-atraktantů (repelentů), pocházející z přirozeného životního prostředí lýkožrouta smrkového. Tři různě složené směsi anti-atraktantů byly v polním pokusu posuzovány z ekonomického a toxikologického hlediska. Experiment probíhal v době od 31. 5. 2022 do 30. 8. 2022 v Krkonoších, ve městě Trutnov a byl testován vliv různých směsí anti-atraktantů na odchyt lýkožrouta smrkového (*Ips. typographus*) v kombinaci s feromonem ve feromonových pastech.

Bylo použito celkem 8 lapačů typu Ekotrap, navnazených feromony a feromony v kombinaci s potencionálními anti-atraktanty. V lapačích se směsí měnily podle randomizačního schématu. Testovány byly 4 různé směsi a každá ze směsí byla obsažena vždy ve dvou pastech. Plná směs zahrnující všechny testované látky, obsahovala inhibiční látky: *trans*-conophthorin, 1,8-cineol, *trans*-4-thujanol, nehostitelské těkavé látky NHV-oly: 1-hexanol, 3-oktanol, 1-okten-3-ol a feromony lýkožrouta: 2-methyl-3-buten-2-ol a *cis*-verbenol.

Druhá a třetí směs byly o některé látky ochuzeny a poslední směs obsahovala pouze feromony. Jako optimální směs z ekonomického a toxikologického hlediska, z tohoto výzkumu vyšla směs Eko, která sice není tak účinná, jako směs Full ale je na rozdíl od ní, ekonomicky přijatelná. Při statistickém porovnání jednotlivých směsí se samotnými feromony, byl zjišťován procentuální pokles směsí proti feromonům. Inhibiční aktivita modifikovaných směsí Akt a Eko byla oproti plné směsi (Full) snížena o 4-7 %. Cena směsi Eko se v porovnání s plnou směsí snížila o 99,7 % a cena směsi Akt se oproti plné směsi (Full) snížila o 65 %. Z tohoto vyplývá, že ze směsí testovaných v tomto pokusu, má z toxikologického a ekonomického hlediska nejvíce optimální složení směs Eko.

Klíčová slova: ochrana smrků ztepilých, repelent, optimalizace anti-atraktantů, feromonové lapače

Test of different anti-attractant mixtures repelling European spruce bark beetle (*Ips typographus*) with the aim to select economically and toxicologically optimal composition

Abstract

Due to the action of the spruce gobbler (*Ips. Typographus*), calamities in spruce stands are becoming more and more extensive, which encourages the development of alternative ways of protecting spruce stands, based on ecological principles. This work, as part of an experiment, deals with the optimization of a mixture of already known so-called anti-attractants (repellents), originating from the natural environment of the spruce bark beetle. Three differently composed mixtures of anti-attractants were assessed in a field trial from an economic and toxicological point of view. The experiment took place from 31/05/2022 to 30/08/2022 in the Krkonoše mountains in the town of Trutnov and tested the effect of different mixtures of anti-attractants on the capture of the spruce weevil (*ps, typographus*) in combination with pheromone in pheromone traps. A total of 8 traps of the Ekotrap type were used, sprayed with pheromones and pheromones in combination with potential anti-attractants. In the traps, the mixture varied according to a randomization scheme. 4 different mixtures were tested and each mixture was contained in two pastes. The full mixture, including all tested substances, contained inhibitory substances: trans-conophthorin, 1,8-cineole, trans-4-thujanol, non-host volatiles NHV-ols: 1-hexanol, 3-octanol, 1-octen-3-ol and gopher pheromones: 2-methyl-3-buten-2-ol and cis-verbenol. The second and third mixtures were depleted of some substances and the last mixture contained only pheromones. The inhibitory activity of the modified Akt and Eko mixtures was reduced by 4-7% compared to the full mixture (Full). The price of the Eco mixture has decreased by 99.7% compared to the full mixture, and the price of the Akt mixture has decreased by 65% compared to the full mixture (Full). From this it follows that of the mixtures tested in this experiment, the Eco mixture has the most optimal composition from a toxicological and economic point of view.

Key words: Protection of spruces, repellent, optimization of anti-attractants, pheromones catchers

Obsah

Úvod	11
Cíl práce	13
Literární rešerše	14
1.1 Lýkožrout smrkový (<i>Ips. Typographus</i>)	14
1.1.1 Morfologie	14
1.1.2 Vývojový cyklus	15
1.2 Populační dynamika <i>Ips typographus</i>	16
1.3 Faktory ovlivňující populační dynamiku <i>Ips typographus</i>	17
1.3.1 Teplota	17
1.3.2 Srážky	17
1.3.3 Přirozená obrana stromu a jeho vitalita	18
1.3.4 Kvalita potravy lýkožrouta	18
1.4 Smrk ztepilý	19
1.5 Ohrožení a obrana smrkových porostů	19
1.6 Cyklický vývoj lesa a disturbance	20
1.6.1 Nepřirozené disturbance	21
1.7 Ochrana smrků ztepilých	22
1.7.1 Obranná opatření	22
1.7.2 Otrávené lapáky	23
1.7.3 Stojící otrávené lapáky	23
1.7.4 Klasické lapáky	24
1.7.5 Feromonové lapače	24
1.7.6 Typy feromonových lapačů	25
1.7.7 Odparníky	26
1.8 Feromony	27
1.9 Antiatraktanty	29
1.9.1 NHV	30
1.9.2 <i>Trans</i> -4-thujanol	32
1.9.3 1,8-cineol	33
1.9.4 Předchozí vývoj pokusů s anti-atraktanty	33
Metodika	34
1.10 Statistické zpracování	41
Výsledky	41
1.11 Absolutní a relativní odchycených brouků	41
1.12 Inhibiční účinek testovaných variant anti-atraktantů	44
1.12.1 Statistické zpracování inhibičního efektu	48

1.12.2 Porovnání nákladů na jednotlivé varianty anti-atraktivních směsí	49
Diskuse.....	51
Závěr	53
Seznam literatury a použitých zdrojů	54
Seznam obrázku, tabulek a grafů	58

Úvod

Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.) (*Coleoptera, Scolytidae*) má vysoký hospodářský význam v rámci ekosystému smrkového lesa. Jako průkopník kolonizuje umírající a mrtvé stromy, a tím spouští rozklad kůry a dřeva (Wermelinger, 2004). Patří mezi nejvýznamnější škůdce smrkových porostů v Evropě. Ve střední Evropě objem vytěženého dříví, v důsledku napadení kůrovcem každoročně roste (Zahradník, Geráková, 2010).

Je jedním z nejzávažnějších škůdců pro smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karts.) a průběh kalamitního přemnožení závisí na celé řadě faktorů, jako je teplota, srážky, zdravotní stav stromu a přirozených nepřátelích kůrovců (Skuhrový, 2002). Rozsáhlé polomy, v důsledků počasí, ve smrkových lesích téměř nevyhnutelně způsobují následné přemnožení lýkožroutů. (Wermelinger, 2004).

Mortalita stromů způsobená lýkožroutem smrkovým *Ips. typographus* je ve vzrostlých smrkových porostech v Evropě vážný problém. Základem ochrany smrkových porostů před podkorním hmyzem je dlouhodobé udržování populací podkorního hmyzu na endemické úrovni, toho je možné dosáhnout pomocí metod pro ochranu lesa. Obrannými metodami v rámci ochrany smrkových porostů je včasné vyhledávání, těžba a mechanická asanace stromů napadených kůrovcem, nebo také chemická asanace za použití insekticidů a insekticidních sítí.

Podpůrnými obrannými metodami jsou různé druhy lapáků a feromonových lapačů, které jsou často užívány v kombinaci s anti-atraktanty. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015) Ekologicky přijatelnější alternativou k používání syntetických insekticidů, může být aplikace tzv. semiochemikálií. Semiochemikálie lýkožrouty buď přitahují jako např. feromon, nebo je odpuzují, jako repelenty či anti-atraktanty. (Jakuš, 2003) Použití anti-atraktantů na ovlivnění mortality smrků v důsledku napadení lýkožroutem bylo studiemí popsáno pro směs, která obsahuje látky *trans*-conophthorin, látky z listů (1-hexanolu) a kůry listnatých stromů (1-okten-3-ol a 1-oktanol) a látku vyskytující se při plném obsazení stromu lýkožroutem, konkrétně verbenon (Schiebe, 2011)

Anti-atraktant je taková látka, která svým pachem odpuzuje lýkožrouta. Úkolem anti-atraktantů je odpuzovat kůrovce od zdravých, nenapadených stromů, na kterých jsou

aplikovány. Aplikován je alespoň jeden anti-atraktant v blízkosti stromu nebo na něm. Anti-atraktivní látky, které byly použity v tomto pokusu jsou NHV – hexanol, 3-oktanol, 2-okten-3-ol; 1,8-cineol; *trans*-4- thujanol; *trans*-konoforin a feromonovou složku, kterou tvoří 2-methyl-3-buten-2-ol a *cis*-verbenol. Látky NHV byly použity i ve dvousložkové formě a směsi byli kombinacemi jednotlivých látek.

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je najít optimální toxikologické složení směsi antiatraktantů, látek původem z přírody, odpuzujících lýkžrouta smrkového (*Ips typographus*), které je zároveň komerčně dostupné. Součástí práce je terénní výzkum, při kterém byla ve feromonových lapačích testována aktivita původní směsi antiatraktantů a také směsi antiatraktantů, ze kterých byly vyňaty nejnákladnější látky nebo látky s nejvyššími bezpečnostními riziky.

Další částí bakalářské práce je shrnutí poznatků z vědecké literatury na dané téma. Hlavním cílem je pomocí statistického zpracování výsledků, získaných v terénním výzkumu, porovnat účinnost jednotlivých směsí v kombinaci s feromony s ohledem na změnu jejich složení, a také porovnat účinnost jednotlivých směsí s aktivitou odchytů na samotný feromonem. Závěrečným cílem práce, je na základě zpracovaných statistických výsledků a cenové dostupnosti jednotlivých látek, zhodnotit změnu inhibičního efektu ochuzených směsí.

Literární rešerše

1.1 Lýkožrout smrkový (*Ips. Typographus*)

Lýkožrout smrkový (*Ips typographus* (L.)) patří do čeledi nosatcovitých (*Curculionidae*) a podčeledi kůrovcovitých (*Scolytidae*). V České republice rozlišujeme celkem 6 druhů zástupců rodu *Ips*, přičemž lýkožrout menší (*Ips amitinus*) a lýkožrout severský (*Ips duplicatus*) žijí také na smrku a často tento druh doprovázejí. (Zahradník a Knížek, 2007).

Lýkožrouta smrkového řadíme mezi kůrovce a mezi nejzávažnější škůdce smrkových porostů v Evropě. Původně se vyskytoval v horských smrčínách ale vysazováním smrkových monokultur, se rozšířil i do nižších poloh a vyskytuje se všude, kde se nachází smrk, jak v horských polohách, tak i v nížinách. (Pfeffer, 1989)

Patří mezi ekonomicky nejvýznamnější škůdce přirozených i hospodářských smrkových porostů. Je sekundárním škůdcem, napadá především vyvrácené a oslabené stromy a tím začíná jejich rozklad, napomáhá koloběhu živin, dynamice lesního ekosystému a udržení biodiverzity (Wermelinger, 2004).

1.1.1 Morfologie

Je to malý brouk, lesklé černé barvy, který je dlouhý 4,8-5,5 mm a široký 1,9 mm. Mohou se ale vyskytovat i menší brouci o délce do 4 mm, v důsledku menšího množství potravy, kterou přijala larva. Lesklá barva brouka, je patrná při pozorování lupou či binokulárním mikroskopem, jelikož je většina horní a postranní části těla pokryta velkým množstvím drobných chloupků a tím působí matně. Brouci po vylíhnutí z kukel mají bílou barvu, následně žloutnou a postupně tmavnou.

Vajíčko lýkožrouta smrkového má tvar elipsy a rozměry pouhých 0,6 – 0,9 mm. Je bílé barvy stejně jako larvy, které jsou beznohé a mají hnědavou hlavovou schránku. Kukla je mléčně bílá a zřetelně se na ní rýsují tykadla, nohy i křídla.

Samec se od samice liší menší hustotou chloupků na přední části pronota a rýhami pod ústním ústrojím. Podle Schlytera a Cederholma (1981) jsou další znaky, které jsou ale daleko méně vhodné k odlišení samců a samic, jako například výraznější hrbolek na horní části hlavy nad mandibulami u samců či třetí zub na zadní části krovek, který mají samci větší než samice. Tyto znaky se ale překrývají u 22-84 % jedinců. (Skuhravý 2002)

1.1.2 Vývojový cyklus

Napadání stromů lýkožroutem smrkovým je otázkou chemických impulsů. Lýkožrout je polygammí a jeden samec je schopen oplodnit i několik samic. Samci vyhledávají vhodné stromy pro založení potomstva, většinou se jedná o stromy na konci svého vývoje. Samice je následují do snubní komůrky vytvořené samcem v lýku. Při vysokých teplotách je obranná schopnost smrku nižší a je méně schopen vylučovat pryskyřici, která zalévá chodby vytvořené lýkožroutem. Rojení obvykle probíhá v teplotách 18-20 °C. Celkový vývoj generace přes všechny stádia trvá 6-10 týdnů a za příznivých teplot se mohou vyvinout dvě až tři generace během jednoho roku. V přírodě se většinou líhne stejný počet samic jako samců. (Skuhravý, 2002)

V našich podmínkách má lýkožrout smrkový nejčastěji jednu až dvě generace do roka, v nižších polohách bývají většinou dvě a ve vyšších spíše jedna. Za příznivých teplot a povětrnostních podmínek se mohou vyvinout až tři generace během jednoho roku. (Zahradník, 2004)



Obrázek 1 *Ips. typographu* (zdroj: Jirošová, 2022)

1.2 Populační dynamika *Ips typographus*

Pro úspěšné napadení hostitelského stromu kůrovci je rozhodující počet nalétávajících brouků, fyziologie dřeviny a schopnost obrany. Při nízkém nebo středním stupni napadení mohou totiž obranné systémy stromu zpomalit průběh náletu nebo zabít většinu nalétajících lýkožroutů. (Kausrud et al., 2012)

Abiotickými faktory, které mají významný vliv na bionomii, jak jedinců, tak i celé generace, jsou teplota a počasí. Teplé počasí může vývoj výrazně urychlit a navýšit tak počet generací za rok, velice důležitá pro vývoj lýkožrouta je teplota lýka 8,3 °C. Na konci léta jsou brouci ovlivňováni nočními teplotami a zkracováním světelné části dne. Nejdůležitějším biotickým faktorem pro početnost populace je dostatek vhodného dříví, proto ke gradaci kůrovců dochází ve většině případů po rozsáhlých polomech, vzniklých důsledkem vichřic. Díky obrovskému množství materiálu vhodnému pro rozmnožování lýkožroutů, kteří nemusejí překonávat obranné reakce stromu, dochází k vysoké početnosti dceřiné populace. Takto početná populace je schopna překonat obranyschopnost i zdravých okolních stromů, a tak může dojít ke gradaci i v době, kdy hostitelské stromy nedosahují napadnutelného stáří. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

Rozdělení stavu populace do tří skupin, podle Normy 48 100:

- 1) Základní stav-je takový početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví nepřesáhl 1 m³ na 5 ha smrkových porostů, a nedošlo k vytvoření ohnisek výskytu lýkožrouta.
- 2) Zvýšený stav-je takový početní stav, kdy objem kůrovcového dříví přesáhl v průměru 1 m³ na 5 ha smrkových porostů, a došlo k vytvoření ohnisek. Tento stav upozorňuje na možnost přemnožení kůrovců.
- 3) Kalamitní stav-je takový početní stav, který způsobuje rozsáhlá napadení lesních porostů na stěnách a případně i vznik rozsevů uvnitř porostů. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

1.3 Faktory ovlivňující populační dynamiku *Ips typograpus*

Faktory, které ovlivňují populační dynamiku lýkožrouta smrkového jsou přírodní podmínky, jako je teplota, krátkodobé a dlouhodobé srážky, vítr a následky způsobné větrem, vitalita smrků, stanovištní a půdní poměry, složení lesních porostů, přítomnost škůdců a chorob, mezidruhové a vnitrodruhové vztahy mezi lýkožrouty, fáze vývoje, v níž se populace lýkožrouta nachází, biotičtí činitelé, zdravotní stav lesa, globální vlivy na lesy, imise a chřadnutí lesů. Některé tyto faktory zapříčiňují například snížení vitality stromů, která se projevuje minimálním přírůstem, ztrátou jehlicí, poškozením kořenového vlášení, postupně se snižuje a ztrácí odolnosti a celkově chřadnou stromů či celé porosty. Přírodní podmínky, nejvíce ovlivňující populační dynamiku lýkožrouta jsou teplota, srážky, přirozená obrana stromu a kvalita potravy.

1.3.1 Teplota

Je jedním z nejvýznamnějších faktorů, který působí na rozvoj kalamit. Při zvýšení teploty během vegetačního období se místo jedné generace vyvinou dvě a místo dvou generací se mohou ve vysoce příznivých podmínkách vyvinout generace tři. Pokud k vysokým teplotám dochází několik let po sobě, především v jarních měsících, vznikají příznivé podmínky, pro rozvoj kalamit. Díky vysokým teplotám už na jaře má lýkožrout delší období pro let, napadání stromů a kladení vajíček a za doprovodu vysokých teplot během vegetačního období je urychlen vývoj lýkožrouta smrkového. Chladným počasím je lýkožrout ovlivňován negativně ale nemusí mít nutně za následek zánik gradace.

1.3.2 Srážky

Při nízkých srážkách dochází, ke stresování stromu, a tím je ovlivňován růst a snižován tlak uvnitř stromu, v důsledku toho se snižuje obranyschopnost stromů vůči útokům lýkožrouta smrkového. Vzhledem, k tomu, že je smrk ztepilý strom vysoce přizpůsobený vyšší vlhkosti, díky které, je méně náchylný na nápor lýkožrouta smrkového. Díky obdobím sucha dochází k přemnožení lýkožrouta smrkového.

1.3.3 Přirozená obrana stromu a jeho vitalita

Každý smrk má jinou vitalitu, která pak hraje roli v obraně proti lýkožroutu, vliv na vitalitu smrků má například dědičnost, jeho původ a schopnost smrku přizpůsobit se k dlouhodobým podmínkám prostředí. Podle úrovně napadení a počtu jedinců smrk produkuje pryskyřici, kterou ale není schopen se ubránit při velké populační hustotě lýkožrouta. (Skuhravý, 2002)

1.3.4 Kvalita potravy lýkožrouta

Na to, jak rychlý bude vývoj lýkožrouta má velký vliv i jeho potrava, a to ve smyslu kvalitativním i kvantitativním. Například nevhodná kvalita potravy působí mortalitu nebo podobně jako hladovění, způsobené nedostatkem potravy snižuje jeho odolnost vůči infekci patogenů. Druhem potravy je ovlivňována vitalita, plodnost, ale také úmrtnost jedinců. Vhodné podmínky mu poskytují vyvrácené, neodkorněné pokácené stromy, smrky a na zemi ležící části zlomů, u kterých způsob zavadání lýka poskytuje nadbytek jakostně optimální potravy. Pokud se v lesích nenachází dostatek polomů, vývrátů, chřadnoucích stromů nebo jiné optimální potravy, tak začne lýkožrout napadat i zcela zdravé stromy, ty se ale dokážou bránit výronem pryskyřice, a proto většinou první vlna náporu lýkožrouta neuspěje, a tím se vývoj lýkožrouta zpomaluje (Zumr, 1985).

1.4 Smrk ztepilý

Smrk ztepilý (*(picea abies)* (L.)) patří mezi nejvýznamnější hospodářské dřeviny, původem ze severní a severovýchodní Evropy. V České republice je jeho přirozený výskyt v horských a podhorských polohách. Původní výskyt smrku v nižších polohách je ojedinělý většinou v inverzních polohách a na dostatečně vlhkých stanovištích. Od 18. století je smrk pěstován intenzivně, a to i na nepůvodních stanovištích (Uhlířová, 2004)

Patří mezi nejrychleji rostoucí druhy a dorůstá do výšky 40-60 metrů a může dosáhnout věku až 600 let ale jeho kořenová soustava je povrchová a bývá slabě ukotven v půdě a může často docházet k vývratům. Má zelené a lesklé jehlice o délce 1-3 cm, které jsou spirálovitě uspořádány. Smrk se sice řadí mezi světlomilné rostliny, ale v mladí snese zástín, proto snadno vnikne do porostů jiných dřevin a nahradí je. Díky kořenovému systému vedenému do plochy je náročný na obsah vody v půdě a dobře snáší i nadbytečnou vlhkost. Na klima není náročný ale vysoké teploty a nedostatečná vláha negativně ovlivňují jeho dobrý růst. Nemá vysokou odolnost vůči větru, ale také sněhu a námraze, která působí vrcholové zlomy a také má nízké regenerační schopnosti (Úradníček 2001, Úradníček 2009)

1.5 Ohrožení a obrana smrkových porostů

Smrk se během svého života střetává s různými druhy stresu, který mají nepříznivý vliv na růst a život smrku. Jedním z nich je abiotický stres ten zahrnuje různé vlivy počasí jako je sucho, bouřky, silný vítr ale zahrnuje i vysokou hladinu spodní vody nebo nedostatek živin. Dalším druhem stresu je biotický stres, jelikož je kůra bohatá na organické živiny, tak je cílem různých organismů, časté jsou nálety podkorního hmyzu, poškozování divokou zvěří, ale také patogenních mikroorganismů, hub a bakterií. K poškozování dochází i špatným hospodařením v lesích. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

Hlavním cílem obranné strategie smrku je ochrana hlavní cesty pro *transport* vody a živin z kořenů do výhonků přes xylém a z dospělých asimilačních orgánů do místa

spotřeby nebo zásoby přes floém. Díky efektivní obranné strategii, která se u smrků vyvíjela víc, jak 100 miliónů let se stal smrk úspěšným kolonizátorem široké oblasti různých klimatických zón. Rozlišovat můžeme dva typy obranné strategie, prvním typem obranné strategie je konstitutivní obrana nazývána také jako předpřipravená obrana, jelikož se projevuje bez jakékoliv výzvy na rozdíl od obrany indukované, která je vyvolána na základě cizí výzvy. Kombinací konstitutivní a indukované obranné strategie vzniká účinná obrana proti útoku přirozených nepřátel smrku.

Důležitým centrem konstitutivního obranného mechanismu je sekundární floém, který při poranění stromu vylučuje pryskyřici, která je běžnou obranou u čeledi Pinaceae a vnější kůra poskytuje mechanickou bariéru. Konstitutivní obrana je závislá na množství uskladněné pryskyřice. V průběhu indukce vzniká produkce proteinů, které ovlivňují a degradují buňkovou stěnu hub, které strom napadají. Do indukované obrany patří hypersenzitivní reakce, která způsobuje rychlou smrt jednotlivých buněk nacházejících se v místě útoku nebo infekce. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

1.6 Cyklický vývoj lesa a disturbance

Přirozený vývoj lesů je ovlivňován přirozenými disturbancemi, které jsou často označovány také jako poškození lesa nebo kalamity. Návaly sněhu, větrné smrště a podobné události nejsou z ekologického hlediska lesa katastrofy ale pouze narušení. Jako katastrofa, je označován jev, při kterém dochází k úplnému zničení daného ekosystému, který se už nedokáže sám obnovit a je pro jeho obnovu potřeba primární sukcese, při které dojde k vývoji společenstva živých organismů na místech, na kterých nejsou již žádné pozůstatky původního ekosystému. Součástí každého přirozeného lesního ekosystému je disturbanční režim, po kterém následuje sekundární sukcese, která je z hlediska lesa krátkým obdobím.

Mezi hlavní disturbanční faktory v lesích patří podkorní hmyz, vítr, oheň, sníh, v závislosti na oblasti světa. Disturbance jsou zákonitou součástí vývoje lesního ekosystému a jsou spjaté s odumřením dospělých porostů dřevin.

Přírodní lesy se ve středoevropských podmínkách vyvíjí ve dvou souvisejících cyklech. První z nich, je malý vývojový cyklus, během kterého, se opakovaně střídají

3 základní vývojová stádia, která se člení na dorůstání, optimum a rozpad. V důsledku postupně odumírajících stromů vznikají holiny o velikosti okolo 100 m² ale mohou vzniknout i větší mezery, po odumření více druhů dřevin. Při malém vývojovém cyklu se struktura a druhové složení lesa nemění.

Druhý je velký vývojový cyklus, při kterém dochází k cyklickým změnám dominantních dřevin, které probíhají v lesích po velkoplošném odumírání stromů následkem například vnějších (abiotických nebo biotických) přírodních činitelů. Na malých plochách zasažených disturbancemi dochází ke zmlazení klimaxových dřevin a na velkých plochách dochází k přirození sukcesi lesa přes přípravný a přechodný les.

1.6.1 Nepřirozené disturbance

Do nepřirozených disturbancí pro ekosystém patří těžba dřeva, odvoz biomasy a emise. Vzhledem k tomu, že lesní ekosystémy nejsou na nepřirozené (antropogenní) disturbance dlouhodobě adaptovány, tak pro ně představují novou zátěž. Například nejzávažnějším zásahem do přirozeného vývoje lesa je právě těžba dřeva a odvoz biomasy, proto by bylo dobré upřednostňovat jemnější způsoby hospodaření, přihlížející na vývoj lesa. Kalamitní těžba, ruší a ničí biologické dědictví lesa a spouští dalšími způsoby mění rozmanitost krajiny, a tím přibližují ekosystém k nepřirozenému stavu. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

1.7 Ochrana smrků zteplých

Základem ochrany smrkových porostů před podkorním hmyzem je dlouhodobé udržování populací podkorního hmyzu na endemické úrovni, toho je možné dosáhnout pomocí dvou základních metod pro ochranu lesa. Jedna z nich je Biotechnická metoda ochrany lesa, která zahrnuje metody na biologické a mechanické úrovni, jako je preventivní odstraňování zlomů a vývrátů z porostu, či jejich včasná asanace nebo také důsledné vyhledávání, těžba, asanace a odvoz napadených stromů. Mezi pomocné biotechnické metody patří například metoda lapačů, lapáků a antiatraktantů. Druhá metoda je Biologická, která se zakládá na faktu, že v populacích podkorního hmyzu se vyskytují entomopatogenní viry, bakterie, prvoci a různé druhy entomopatogenních hub, které jsou schopné infikovat všechna vývojová stadia podkorního hmyzu a ve vhodných podmínkách je usmrtit. V současnosti není v praxi ochrany lesa před podkorním hmyzem používána žádná standardní ani komerčně přístupná metoda biologické ochrany lesa. Několik metod je ale v experimentálním nebo poloprovozním stádiu. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

1.7.1 Obranná opatření

Asanace

Pokud není možné rychle odvézt a zpracovat vytěžené aktivní kůrovcové stromy je nutné použít asanaci. Asanace aktivních kůrovcových stromů, těžebních zbytků a pařezů náleží mezi důležité opatření ochrany lesa. Použití chemické asanace je výrazně levnější ale účinnost insekticidů velmi závisí na počasí a načasování aplikace a jejich účinnost se nevyrovná mechanickým způsobům asanace, které je výhodnější využít, z hlediska dlouhodobého vlivu na zdravotní stav lesa a životní prostředí. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

Asanace může mít jen minimální vliv na populaci lýkožrouta, ale drasticky decimuje populace jeho přirozených nepřátel. Některé druhy lýkožrouta díky asanaci dokonce prospívají a jejich populace rostou (např. lýkožrout lesklý *Pityogenes chalcographus*) (Grodzki, 1997, Nuorteva, 1968). Navíc časté užívání asanace vede k rozvolňování

porostu, což může způsobit zrychlení gradace škůdce. Přes všechna negativa však dosud není lepší způsob ochrany hospodářského lesa, proto je alespoň nutné snažit se dodržet zásady asanace pro racionální a citlivé použití. (Nuorteva, 1968).

Například je vhodné používat insekticidy (chemické asanace) pouze ve skladech dřeva a vyloučit jejich používání z lesních porostů. V určitých případech může však cílené použití insekticidů zabránit větším škodám, pokud například selhal dodavatel asanačních prací, a hrozí, že by se z neasanovaných kmenů vyrojil lýkožrout, a došlo by k náletu na rozsáhlé plochy smrkových porostů. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

1.7.2 Otrávené lapáky

V případě otrávených lapáků je kůra zkáceného a odvětveného smrku nebo jeho částí ošetřena insekticidy za doprovodu umístění feromonové návnady, která by se měla umisťovat ve středu sekce, na zastíněné straně. Při náletu škůdce a pokusu napadnout kmen dojde k jeho úhynu. (Zahradníková, 2015)

1.7.3 Stojící otrávené lapáky

Tento typ lapáků se používá především během letního rojení, v době, když je účinnost feromonových lapačů snížena a není dostatek nových vývratů a zlomů na zpracování klasických lapáků. K tomuto typu obrany se využívají především postižené stromy žloutnutím smrku, a také stromy poškozené. Nevyužívají se stromy s relativně zdravým jehličím. Jestliže se v porostu, žádné takové stromy nenachází, tak se tato metoda nepoužívá. Stojící lapáky, je vhodné umístit do středu postižených nebo poškozených stromů a není žádoucí umisťovat je na porostní okraje, a také k porostním okrajům ve vzdálenosti nižší, než je 50 metrů. Toto omezení se nevztahuje na porost, který je určen k těžbě. Jako návnada se používá libovolný druh feromonového odparníku, který je potřeba umístit co nejvýš na osluněnou část kmene.

Otrávené zlomy a vývraty

Nenapadené zlomy a vývraty, po větších větrných kalamitách, se otráví v kalamitním ohnisku pomocí feromonových odparníků. Tyto otrávené kmeny a kmeny v okolí musí

být do 30 dnů od instalace feromonů zpracované a po jejich umístění na sklad nebo odvozní místo je potřebná jejich asanace. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

1.7.4 Klasické lapáky

Klasické stromové lapáky, se používají k boji s lýkožroutem smrkovým a k jeho kontrole více než 200 let a snižují populaci lýkožrouta. Lapák je zdravý, pokácený a odvětvený, dospělý smrk nebo jeho části, o tloušťce minimálně 20 cm, který je pro Lýkožrouta smrkového atraktivní a připravený pro jeho kontrolu a odchyt. Lapáky patří mezi nejběžnější odchytové zařízení na lýkožrouta. (Wermelinger 2004; Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

Lapáky I. série připravují v případě příznivých povětrnostních podmínek od konce února, nejpozději však do konce dubna. Lapáky II. a III. série se pokládají průběžně, k zachycení dalších generací lýkožrouta a je potřeba je připravit, nejpozději jeden týden před asanací předešlé série. (Zahradník, Geráková, 2010)

Umístění stromových lapáků by mělo být ve vzdálenosti 10 metrů od porostu a pokud je po celé délce zakryt větvemi, jeho atraktivita se pro kůrovce zvyšuje. Lýkožrout je k lapáku přitahován potenciálními primárními atraktanty, které vylučují vadnoucí stromy. Měla by být pravidelně kontrolována míra napadení, kvůli včasnému zajištění asanace lapáku (Švestka, 1996)

1.7.5 Feromonové lapače

Použitím vhodného feromonového odparníku a vhodným rozmístěním feromonových lapačů, je možné minimalizovat poškození oslabených stromů. Odparníky jsou základem při použití semiochemikálií (feromonů a antiatraktantů) a umisťují se, v případě feromonů do feromonových lapačů. Samotné antiatraktanty se umisťují přímo na stromy. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015) Umístění lapačů by mělo být v rozsahu 10-25 metrů od nejbližšího zdravého smrku. Vzdálenosti mezi jednotlivými lapači se doporučuje 20 metrů, v rozsáhlých ohniscích při kalamitním stavu mohou být rozestupy mezi lapači nižší. Lapače nesmí být zakryté bušením. (Zahradník, Geráková 2010; Zahradník, 2004)

V České republice je používání feromonových lapačů dáno vyhláškou č. 101/1996 Sb., ve znění vyhlášky č. 236/2000 Sb., a ČSN 48 1000 (Zahradník, 2004).

1.7.6 Typy feromonových lapačů

Nárazový (křížový) lapač

V lapačích tohoto typu narazí přilétávající jedinec do nárazové desky nebo desek a přes trychtýř spadne do sběrné nádoby. Tyto lapače se skládají ze dvou desek uspořádaných do kříže a pod nárazové desky nebo pod střešní kryt se umísťuje odparník. Jsou využívány ke snižování populace podkorního hmyzu jeho kontrole. Moderním typem křížového lapače je například Ecotrap (Fytofarm, Slovensko)

Štěrbínový lapač

Do nárazové desky štěrbinového lapače narazí většina přilétávajících jedinců, kteří přes štěrbinu spadnou do sběrné nádoby. Určitá část jedinců může vletnout do lapače, přímo přes štěrbinu. Tento druh lapače je potřeba orientovat kolmo na směr slunečních paprsků a odparník je umístován dovnitř lapače, aby byl aspoň částečně chráněn před slunečním zářením. Štěrbínový lapač je poměrně kompaktní a nejvíce provozně spolehlivý.

Trubicový lapač

Na rozdíl od předchozích lapačů, není tento lapač nárazový ale přistávací. Tento typ lapače je trubice s vyvrtnými otvory, přes které se přilákání jedinci dostanou do lapače a sběrné nádoby. Odparník je umístěn uvnitř lapače a je chráněn před slunečním zářením. Nevýhoda trubicového lapače je nižší odchyt jedinců v porovnání s nárazovým a štěrbinovým lapačem, také je pozorován nízký odchyt samců.

Trychtýřový

Trychtýřový lapač se skládá z vertikální řady trychtýřů. Nalétávající hmyz, který narazí do stěny trychtýře, propadne do sběrné nádoby, umístěné pod spodním trychtýřem

(Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015; Zahradník, 2004)

1.7.7 Odparníky

Odparník je bodový zdroj semiochemikálií a postupně uvolňuje aktivní látku a zároveň ji chrání před rozkladem, vlivem teplot a slunečního záření. Je více konstrukčních typů odparníků, kterými je možné dosáhnout různé charakteristiky odparu:

- Fóliové odparníky – mají tvar sáčku z polyethylenu nebo PVC. Uvnitř odparníku se nachází obdélník z buničiny, papíru nebo jiného materiálu, který slouží, jako ochrana nebo zásobník účinných látek. Aktivní směs se vypařuje rovnoměrně přes folii, hned po naplnění ale silně závisí na teplotě. Typický odparník tohoto typu je například „Pheroprax“ (BASF, Německo)
- Alufánové odparníky s papírovým knotem – podobají se fóliovým, stěny jsou vyrobené z alufánu, a proto se aktivní směs odpařuje ze zataveného papírového knotu. Uvnitř odparníku se nachází papírový tampón, sloužící jako zásobník aktivních látek. Aktivní směs je uvolňována až po odstřížení zataveného knotu, kdy je odpar poměrně intenzivní, za čas se stabilizuje a později klesá. Teplota nemá vysoký vliv, jako u fóliových odparníků. Typický Alufánový odparník je například IT Ecolure (Fytofarm, Slovensko)
- Ampulkové odparníky – jsou ampulky z umělé hmoty naplněné aktivní směsí, která se vypařuje stěnou ampulky. K vypařování dochází ihned po naplnění a výpar je rovnoměrný a silně závisí na teplotě, stejně, jako u odparníků fóliových. U tohoto typu odparníku je ale velkou výhodou možnost vizuálního sledování obsahu účinné směsi. Příkladem toho typu odparníku je IT Pheroprax Ampulle (BASF, Německo), IT Ecolure tubus (Fytofarm, Slovensko)
- Odparníky v nádobkách – V současnosti se využívají jen při vědeckých experimentech, kdy jsou nádobky ze skla nebo umělé hmoty naplněné aktivní látkou, která se volně odpařuje, hned po naplnění.
- Lahvičkové odparníky s knotem – jsou skleněné lahvičky naplněné aktivní látkou, které mají v uzávěru knot, přes který dochází k výparu, hned po odstranění uzávěru. V současnosti se také využívají jen při experimentech.
- Lineární odparníky – mají podobu dlouhé trubice z umělé hmoty, která je naplněná aktivní směsí, a ta se vypařuje stěnou odparníku. Výpar je rovnoměrný a silně závisí na teplotě, aktivní směs se vypařuje hned po

naplnění. V současnosti se tento typ odparníků využívá při pokusech s antiatraktanty. Příkladem může být například IT Ecolure Extra (Fytofarm, Slovensko). (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

1.8 Feromony

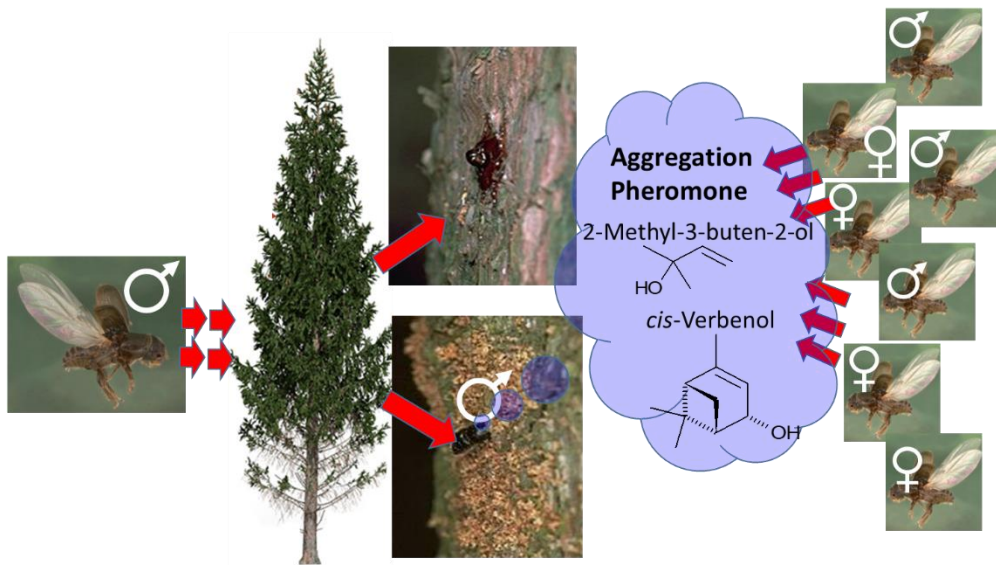
Agregační feromony *Ips typographus* obsahují terpenoidy, které jsou biosyntetizovány ze složek pryskyřice stromu, nebo *de novo* v těle brouků a jsou pro kůrovce mnohem přitažlivější než těkavé složky vypouštěné jehličnatými stromy. (Wermelinger, 2004)

Při GC-MS a GC-FID analýze těkavých látek z extraktů zadního střeva samců *I. typographus*, vrtajících do stromu, bylo při různých fázích napadení prokázáno, že jsou 2-methyl-3-buten-2-ol, ipsdienol, *cis*-verbenol a *trans*-verbenol hlavními složkami zadního střeva a ipsenol, 2-fenylethanol, *trans*-myrtenol a verbenon jsou složky minoritní. Testování různých kombinací těchto semiochemických kandidátů na feromon, vedlo k určení optimální směsi. Výsledky naznačují, že smísení 2-methyl-3-buten-2-olu a *cis*-verbenolu v poměru 10:1 a případně doplněné o ipsdienol významně zvyšuje přitažlivost *I. typographus* (Schlyter a spol, 1981).

V současné době jsou tedy komerčními návnadami pro *I. typographus* v Evropě pouze těkavé látky *cis*-verbenol, 2-methyl-3-buten-2-ol a v dražších přípravcích rovněž nejméně účinný ipsdienol. (Xie, 2013, Zhang 2000)

Aktivitu feromonů mohou zvyšovat tzv. kairomony uvolňované z hostitelských smrků, především alfa-pinene a limonene. Tyto látky ale lýkožrouty nepřitahují samostatně (Erbilgin, 2007) v kombinaci s feromony však dochází k aditivnímu nebo synergetickému účinku. (Zhang, 2000)

Feromony byly do kontrolního programu *I. typographus* v Evropě zavedeny v roce 1978 a po roce 1979 byl zahájen rozsáhlý kontrolní program hromadného odchytu. Od roku 1983 bylo používání pastí proti *I. typographus* široce praktikováno v integrovaném kontrolním systému. (Xie, 2013)

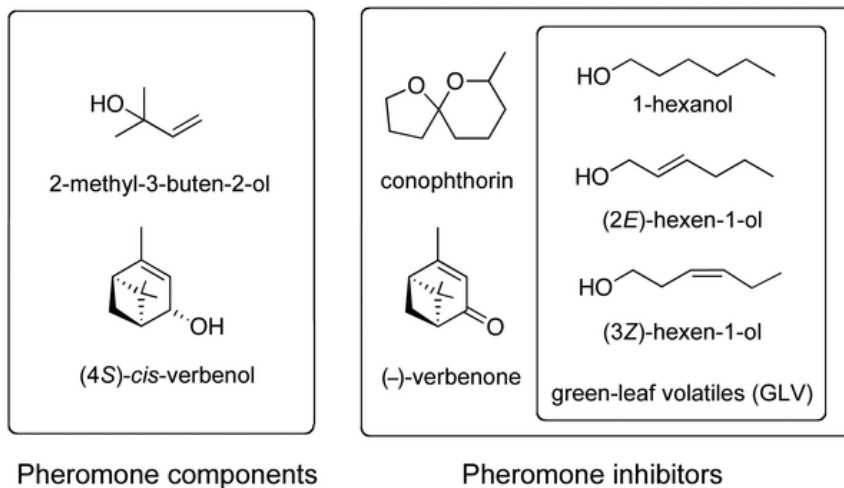


Obrázek 2 Dynamika napadení smrku ztepilého *Ips typographus*

- 2-methyl-3-buten-2-ol je spolu s *cis*-verbenolem primárním agregačním feromonem a bylo zjištěno, že byl v testování pravděpodobně krátkodosahovou orientací a záchytným vodítkem pro *I. typographus*. Verbenol je monoterpenový alkohol, produkovaný ve střevě samcem v době páření a tvorbě snubní komůrky z hostitelského alfa-pinenu. 2-methyl-3-buten-2-ol je produkován samcem *de novo*.
- Ipsdienol a ipsenol byly nalezeny pouze u spářených samců, aktivita ipsenolu může být i odpudivá. (Xie, 2013)
- Verbenon je monoterpenický keton generovaný několika cestami, včetně autooxidace hostitelské sloučeniny α -pinenu a metabolické přeměny na *cis*-verbenol pomocí mikroorganismů, obsažených ve floému napadených smrků (Schiebe). Tato látka je produkována stromy při plném obsazení lýkožrouty, nebo jinými druhy kůrovců a přeměňuje strom na neatraktivní pro další jedince (Jirošová, 2022)

Vztah mezi různými hladinami uvolňování *cis*-verbenolu a 2-methyl-3-buten-2-olu ve směsi feromonů a záchytem různých pohlaví *I. typographus*. Schlyter a kol. (1987b)

studovali chování *I. typographus* v různých fázích útoku a zjistili, že přítomnost samic snižuje produkci feromonů u samců. (Xie, 2013)



Obrázek 3 Vzorce atraktantů a anti-atraktantů (Zhang, 2004)

1.9 Antiatraktanty

Jsou látky původem z přírody, který mají prokazatelně repelentní vliv na kůrovce.

Přibývají důkazy o tom, že kůrovci detekují a reagují na hostitelem produkované kairomony, sloučeniny z hostitelských smrků, ať již s přitažlivými nebo odpuzujícími účinky, ale také vnímají nehostitelské těkavé látky (NHV), produkované stromy listnatými, a vyhýbají se jim. Dnes je již známo, že přitažlivost k feromonům nebo kairomonům u více než 20 druhů Scolytidae napadající jehličnany je inhibována těmito těkavými látkami produkováných listy nehostitelských krytosemenných rostlin. (Zhang 2003)

Kombinace tzv. switch feromonu verbenonu, který je produkován mikroorganismy ve střevě brouků ve fázi napadení, výrazně snižuje počet hromadně napadených hostitelských stromů. (Zhang, 2004, Schiebe 2011)

1.9.1 NHV

Mnoho studií týkajících se kůrovců ukázaly, že nehostitelské těkavé látky (NHV), produkované listnatými stromy snižují přitažlivost k jednotlivým zdrojům feromonů, a díky tomu mohou být k potenciálními anti-atraktanty. Například nedávné elektrofyziologické a behaviorální studie jasně ukazují, že kůrovci obývající jehličnany jsou nejen schopni rozpoznat nehostitelská stanoviště nebo stromy pomocí čichových prostředků, ale také se jim vyhnout. Hlavní sloučeniny řazené mezi NHV jsou kategorizovány, jako alkoholy, aldehydy, aromáty, estery, ketony, pyraziny a terpenoidy. (Zhang, 2004)

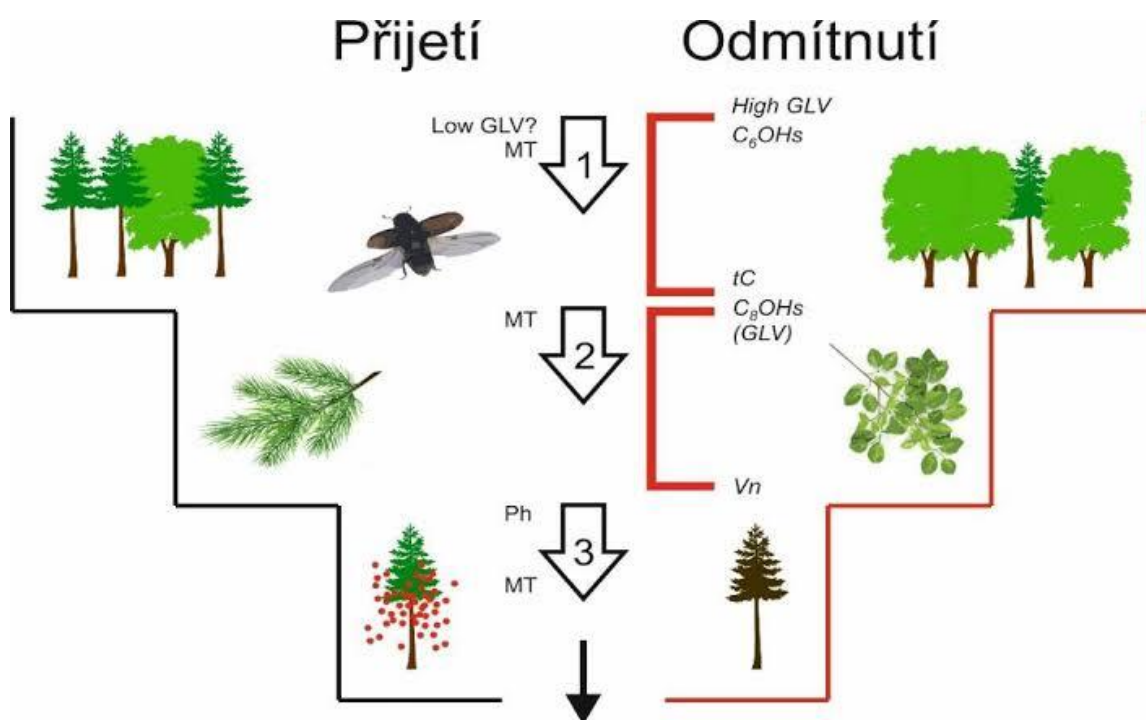
Těkavé látky ze zelených listů (GLV), zejména C₆-alkoholy, z listů a částečně také z kůry nehostitelských krytosemenných stromů, mohou představovat nehostitelské pachové signály na úrovni stanoviště. Specifické těkavé látky kůry, jako je například *trans*-konoforin, C₈-alkoholy a některé aromatické sloučeniny, mohou indikovat nehostitelské dřeviny. Létající kůrovci jsou také schopni určit, zda je možný hostitel nevhodný, a to v podobě reakcí na signály příbuzných jedinců. (Zhang, 2004)

Zatímco u jehličnatých stromů (hostitelé) jsou dominantními těkavými látkami hlavně monoterpenoidy, krytosemenné stromy uvolňují relativně velké množství těkavých látek ze zelených listů. Pro druh *Ips typographus* je antenálně i behaviorálně aktivních několik alkoholů, tři těkavé látky ze zelených listů, 1-hexanol, (Z)-3-hexenol, (E)-2-hexenol, nalezené v nehostitelské bříze bělokoré (*betula pendula*), bříze pýřité (*betula pubescens*) a topolu osice (*populus tremula*) a dva C₈ alkoholy, kterými jsou 3-oktanol, 1-okten-3-ol. (Xie, 2013)

Nehostitelské těkavé látky z kůry a listů nehostitelských stromů, buď jako přírodní materiály, nebo z dávkovačů se syntetickými chemikáliemi mohou narušit reakce kůrovců na feromon a splňují tak definici anti-atraktanu. (Zhang, 2003)

Inhibiční účinky jednotlivých NHV ve směsích, jsou interpretovány spíše jako redundantní a aditivní než synergické. Redundantní účinek znamená, že nahrazení jedné sloučeniny ve směsi, jinou sloučeninou by nevedlo ke změně účinnosti. Naproti tomu k synergii dochází, když je kombinovaný účinek směsi větší než součet účinků jejích jednotlivých složek.

Takový účinek lze statisticky kvantifikovat pomocí statistické metody, zvané ANOVA ve faktoriálním experimentu jako významnou interakci mezi různými sloučeninami nebo signály. Když sloučeniny NHV ve směsích působí synergicky, výsledek (inhibice) těchto NHV by měl být silnější než samostatné účinky každé NHV sloučeniny (nebo signálu), i když je celková rychlost uvolňování udržována konstantní. (Zhang, 2003)



Obrázek 4 Výběr hostitele lýkožroutem smrkovým (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

Zkratky použité v obrázku 4: Low GLV – nízké GLV, High GLV – vysoké GLV,

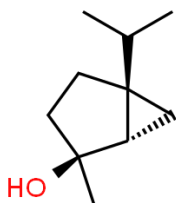
tC – trans-conophthorin, Vn – verbenon, Ph - feromon

1.9.2 *Trans*-4-thujanol

Bicyklický monoterpenoidní alkohol, *trans*-4-thujanol, je vnímán specializovanými neurony čichového receptoru. Vysílají ho mladé stromy, lapáky, stojící stromy vystavené slunečnímu záření a stromy stresované rostlinným hormonem methyljasmonátem. Nejhojněji se vyskytuje u mladých smrků, které jsou nevhodnými hostiteli pro *Ips. typographus*.

Ve smrku množství *trans*-4-thujanolu negativně koreluje s věkem stromu. Hladina *trans*-4-thujanolu proto může být indikátorem vhodnosti hostitelského stromu, protože mladé stromy s tenkou kůrou a floémem nejsou pro kolonizaci brouky optimální. Spolu s dalšími kyslíkatými monoterpenoidy a fenyylpropanoidy tvoří *trans*-4-thujanol část těkavé směsi pocházející ze smrku ztepilého s 3-4 týdenním napadením kůrovcem jako možný produkt oxidace exo-symbiotických hub kůrovcem. Kromě smrku byl ještě nalezen v éterických olejích mnoha dalších rostlin, jako je například (*Origanum* spp., *Origanum majorana*)

Ve výzkumu bylo prokázáno, že *trans*-4-thujanol působí na samice silněji než na samce, protože samice reagují oproti samcům na nižší množství látky. (Jirošová, 2022)

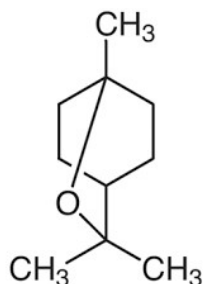


Obrázek 5 *Trans*-4-thujanol (zdroj: <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.9403968.html>)

1.9.3 1,8-cineol

1,8-cineol, často známý také jako eukalyptol je organická sloučenina, která náleží mezi monoterpenoidy. Většinou se jedná o bezbarvou kapalinu, která se vyskytuje například v eukalyptu ale je obsažen také v bobkovém listu, kafrovníku lékařském, bazalce pravé a mnoha dalších aromatických rostlinách. Nachází se také v kůře zdravých ale především napadených stromů, jelikož s mírou jejich napadení, se zvyšuje vylučované množství 1,8-cineolu. Proto čerstvě napadený strom může obsahovat až 4x větší množství 1,8-cineolu, které se postupně během napadení zvyšuje.

Monoterpen 1,8-cineol přitahuje kůrovce k agregačnímu feromonu a na anténách jsou přítomny vysoce specifické ORN pro sloučeninu. Při úplném vyčerpání stromu dojde k vysoké produkci 1,8-cineolu, který má inhibiční účinek pro další kůrovce. (Andresson, 2010, Jirošová 2022)



Obrázek 6 1,8-cineol (1,8-cineol, 2022)

1.9.4 Předchozí vývoj pokusů s anti-atraktanty

Na základě výzkumu prováděného v roce 2021-2022 Bc. Karolínou Erbanovou, který vedl k optimalizaci směsi anti-atraktantů, byla sestavena směs Active – Act, která byla použita v tomto výzkumu.

Z výsledků prováděného výzkumu, bylo zjištěno, že ve složení směsi byly nepostradatelné látky z nehostitelských rostlin a *trans*-4-thujanol. Při odebrání těchto látek docházelo k nejvíce viditelnému snížení cíleného účinku. Bylo dokázáno, že

nejvyšší účinek měla směs, která obsahovala všechny antiatraktanty, tedy – *trans*-4-thujanol, 1,8 cineol, NHV (hexanol, 3-oktanol a 1-okten-3-ol) a *trans*-konoforin. (Erbanová, 2022)“

Metodika

Experiment byl proveden na lesní pasece, která se nachází v lesích města Trutnov. Přesné souřadnice: 50.593199,15.870702 (obrázek 6).

Pokus probíhal v období od 31. 5. 2022 do 30. 8. 2022, kdy byla teplota příznivá pro vylétávání lýkožrouta smrkového a také získání optimálních hodnot pro pokus.

Tato lesní paseka přibližně 200 m dlouhá a 300 m široká vznikla důsledkem kůrovcové kalamity, byla ze tří stran ohraničena smrkovými porosty ve věku cca 80 let a z jedné lesní cestou.



Obrázek 7 Umístění pokusné plochy (Mapy.cz, 2022), pokusná plocha (zdroj: vlastní, 2022)

Metodika experimentu byla podobná, jako metodika pokusu prováděného v roce 2021 Bc. Karolínou Erbanovou. Pokus byl proveden v 8 feromonových lapačích typu Ekotrap od firmy Fytofarm ze Slovenské republiky (obrázek 9), umístěných 20 metrů

od nejvíce vhodné porostní stěny, tvořené smrkem ztepilým. Lapače byly zavěšeny 1,5 metrů vysoko na dřevěných latích ve vzdálenosti 15 metrů od sebe a označeny čísly 1 až 8 (obrázek 7), pro snadnou orientaci při jednotlivých rotacích, prováděných podle randomizačního schématu.

Do střešní části lapačů byl zavěšen kovový drátek, na který byly umístěny jednotlivé látky připevněné lepicí páskou (obrázek 8) z důvodu zabezpečení proti poškození obalů a vlivu počasí. Každá směs látek byla použita vždy do dvou lapačů. Testovány byly varianty směsi oproti feromonu samotnému. Plná směs obsahující *trans*-konoftorin, směs nehostitelských alkoholů 1-hexanolu, 3-oktanolu, 1-okten-3-ol, 1,8-cineolu a *trans*-4-thujanolu (tabulka 1) byla v ostatních směsích modifikována odstraněním *trans*-4-thujnaolu, *trans*-konoftorinu, či 1-okten-3-olu (tabulka 2 a 3).

Účinnost jednotlivých směsí byla zjišťována v kombinaci s feromonem lýkožrouta smrkového oproti feromonu samotnému.

Odparníky byly v lapačích randomizovány dle randomizačního schématu softwarově generovaného Latinského čtverce (tabulka 5), kde jsou jednotlivé varianty označeny písmeny A až H (tabulka 6), a to pro dosažení dostatečného počtu replikací pro statistické zpracování. K rotacím docházelo vždy, když byl v lapačích odchycen optimální počet jedinců lýkožrouta smrkového, tedy minimálně 15 kusů.

K výměně docházelo v průměru po 2-5 dnech, někdy bylo potřeba při nepřízni počasí nebo velice nízkému počtu odchycených jedinců rotaci opakovat a pravidelně doplňovat látky do odparníků, pro zjištění optimálních čísel. Při každé rotaci byli odchycení lýkožrouti uskladnění do lahvíček s ethanolem, pro jejich pozdější sčítání.

V rámci experimentu byl použit 1,8-cineol, *trans*-4-thujanol, *trans*-konoftorin, směs nehostitelských alkohol (NHV)- hexanol, 3-oktanol, 1-okten-3-ol a a feromony pro *Ips typographus* – 2-methyl-3-buten-2-ol a cis-verbenol. Pro každou látku byl vybrán optimální odparník a forma použití. (Erbanová bak. práce FLD, ČZU 2022).

Pro každou směs byly testovány dvě varianty, označené a, b.

Tabulka 1 Označení jednotlivých směsí

A Full a
B Full b
C Act a
D Act b
E Eko a
F Eko b
G Fer a
H Fer b



Obrázek 8 Feromonový nárazový lapač typu Ecotrap (zdroj: vlastní, 2022)

Tabulka 2 Složení a zjištěné odpary směsí Full – obsahovala 6 látek. (Varianty Full a, Full b)

Semiochemikálie	Koeficient odparu [mg/den]		Počet použitých odparníků v polním pokusu	Design experimentálních odparníků
	Nominální hodnota	Laboratorní průměry ± SD		
<i>trans</i> - conophthorin (tC)	0,5	0,5 ± 0,2	1x	Skleněná kapilára 100 µl Microcaps®, na jednom konci utěsněna zubním voskem, naplněná kapalinou až 1 mm pod otevřený mkonec, zavěšená horizontálně
NHV-oly: 1- hexanol (hex), 3- oktanol (3ol), 1- okten-3-ol (oct)	3	3,5 ± 1,3	1x	Otevřená 730 PE lahvička (9730, Kartell, Itálie): ID 6 mm, výška 29 mm, naplněná 0,5 ml směsí alkoholů v poměru 1:1:1 v/v s antioxidanty terc-butyhydrochinon TBHQ 0,5 % v/v, BHT-butylovaný hydroxytoulén 0,5 % v/v
1,8-cineol (Ci)	1	0,7 ± 0,1	2x	Čirá skleněná lahvička autosampler 2 ml, šroubovací uzávěr s PTFE silikonovou přepážkou (Aglient, USA) 2 mm otvor v membráně
<i>trans</i> -4-thujanol (t4ol)	1	1,6 ± 0,3	2x	Celulósová bavlna 2,5 x 5,5 x 0,25 zatavená v PE fólii 0,1 mm, naplněná 200 mg <i>trans</i> -4-thujanolu rozpuštěného v pentanu, uzavřená po odpaření pentanu
<i>feromony lýkožrouta:</i>				
2-methyl-3-buten- 2-ol	100	42,2 ± 20	2x	Uzavřená PE lahvička (731, Kartell, Itálie) s 2 mm otvorem ve víčku

<i>cis</i> -verbenol		1,5 ± 0,8	2x	Uzavřená PE lahvička (731, Kartell, Itálie) s 2 mm otvorem ve víčku
----------------------	--	-----------	----	---

Tabulka 3 Složení a zjištěné odpary směsí Akt – obsahovala 4 látky. (Varianty Akt a, Aktb)

Tato směs obsahuje látky, které v předcházejících testech synergického efektu jednotlivých sloučenin ve směsi (Erbanová bakal. práce FLD, CZU 2022) projevovaly největší účinek

Semiochemikálie	Koeficient odparu [mg/den]		Počet použitých odparníků v polním pokusu	Design experimentálních odparníků
	Nominální hodnota	Laboratorní průměry ± SD		
NHV-oly: 1-hexanol (hex), 3-oktanol (3ol), 1-okten-3-ol (oct)	3	3,5 ± 1,3	1x	Otevřená 730 PE lahvička (9730, Kartell, Itálie): ID 6 mm, výška 29 mm, naplněná 0,5 ml směsí alkoholů v poměru 1:1:1 v/v s antioxidanty terc-butylhydrochinon TBHQ 0,5 % v/v, BHT-butylovaný hydroxytoulén 0,5 % v/v
<i>trans</i> -4-thujanol (t4ol)	1	1,6 ± 0,3	2x	Celulózová bavlna 2,5 x 5,5 x 0,25 zatavená v PE fólii 0,1 mm, naplněná 200 mg <i>trans</i> -4-thujanolu rozpuštěného v pentanu, uzavřená po odpaření pentanu
<i>feromony lýkožrouta:</i>				

2-methyl-3-buten-2-ol	100	42,2 ± 20	2x	Uzavřená PE lahvička (731, Kartell, Itálie) s 2 mm otvorem ve víčku
cis-verbenol		1,5 ± 0,8	2x	Uzavřená PE lahvička (731, Kartell, Itálie) s 2 mm otvorem ve víčku

Tabulka 4 Složení a zjištěné odpary směsi Eko – obsahovala 3 látek. (Varianty Eko a, Eko b). Tato směs neobsahovala nejvíce nákladné látky (Tab. 14)

Semiochemikálie	Koeficient odparu [mg/den]		Počet použitých odparníků v polním pokusu	Design experimentálních odparníků
	Nominální hodnota	Laboratorní průměry ± SD		
NHV-oly: 1-hexanol (hex), 3-oktanol (3ol)	3	3,5 ± 1,3	1x	Otevřená 730 PE lahvička (9730, Kartell, Itálie): ID 6 mm, výška 29 mm, naplněná 0,5 ml směsí alkoholů v poměru 1:1 v/v s antioxidanty terc-butyhydrochinon TBHQ 0,5 % v/v, BHT-butylovaný hydroxytoulén 0,5 % v/v
1,8-cineol (Ci)	1	0,7 ± 0,1	2x	Čirá skleněná lahvička autosampler 2 ml, šroubovací uzávěr s PTFE silikonovou přepážkou (Aglient, USA) 2 mm otvor v membráně
<i>feromony lýkožrouta:</i>				

2-methyl-3-buten-2-ol	100	42,2 ± 20	2x	Uzavřená PE lahvička (731, Kartell, Itálie) s 2 mm otvorem ve víčku
cis-verbenol		1,5 ± 0,8	2x	Uzavřená PE lahvička (731, Kartell, Itálie) s 2 mm otvorem ve víčku

Tabulka 5 Varianty značené Fer a, b – obsahovaly pouze feromony.

Semiochemikálie	Koeficient odparu [mg/den]		Počet použitých odparníků v polním pokusu	Design experimentálních odparníků
	Nominální hodnota	Laboratorní průměry ± SD		
<i>feromony lýkožrouta:</i>				
2-methyl-3-buten-2-ol	100	42,2 ± 20	2x	Uzavřená PE lahvička (731, Kartell, Itálie) s 2 mm otvorem ve víčku
cis-verbenol		1,5 ± 0,8	2x	Uzavřená PE lahvička (731, Kartell, Itálie) s 2 mm otvorem ve víčku

Tabulka 6 Randomizačního schématu, který vygeneroval latinský čtverec, podle tohoto schématu byly prováděny rotace, každý odparník byl označen velkým písmenem A-H pro snadnou orientaci

Rotace	Lapače							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	A	B	H	C	G	D	F	E
2	B	C	A	D	H	F	H	G
3	C	D	B	E	A	F	H	G
4	D	E	C	F	B	G	A	H
5	E	F	D	G	C	H	B	A
6	F	G	E	H	D	A	C	B
7	G	H	F	A	E	B	D	C
8	H	A	G	B	F	C	E	D

1.10 Statistické zpracování

Shapiro-Wilkinson testem bylo zjišťováno normální rozdělení dat. Datové soubory neměly normální rozdělení, a proto byl použit neparametrický test - sign test párové porovnání, výsledky byly zpracovány programem Statistica.

Výsledky

1.11 Absolutní a relativní odchycených brouků

Od každé varianty směsi, včetně kontrolního feromonu byly testovány dvě opakování označené a b.

Tabulka 7 Absolutní počty odchycených *Ips typographus* v jednotlivých rotacích

Číslo odparníku									
Datum	Rotace	1	2	3	4	5	6	7	8
31. 5 - 3. 6.	1	A - Full a 35	B - Full b 42	H - Fer b 1356	C - Act a 62	G - Fer a 1371	D - Act b 43	F - Eko b 77	E - Eko a 93
3. 6. - 8. 6.	2	B - Full b 29	C - Act a 81	A - Full a 26	D - Act b 57	H - Fer b 1450	E - Eko a 240	G - Fer a 1513	F - Eko b 155
24. 6 - 27. 6.	3	C - Act a 129	D - Act b 137	B - Full b 26	E - Eko a 47	A - Full b 27	F - Eko b 43	H - Fer b 1021	G - Fer a 1105
3. 7. - 7. 7.	4	D - Act b 125	E - Eko a 104	C - Act a 71	F - Eko b 51	B - Full b 26	G - Fer a 456	A - Full a 28	H - Fer b 480
23. 7. - 26. 7.	5	E - Eko a 124	F - Eko b 118	D - Act b 179	G - Fer a 1536	C - Act a 187	H - Fer b 1601	B - Full b 97	A - Full a 62
26. 7. - 29. 7.	6	F - Eko b 53	G - Fer a 628	E - Eko a 51	H - Fer b 558	D - Act b 74	A - Full a 29	C - Act a 45	B - Full b 19
21. 8. - 24. 8.	7	G - Fer a 638	H - Fer b 494	F - Eko b 24	A - Full a 26	E - Eko a 37	B - Full b 29	D - Act b 39	C - Act a 52
27. 8. - 30. 8.	8	H - Fer b 489	A - Full a 26	G - Fer a 467	B - Full b 24	F - Eko b 35	C - Act a 23	E - Eko a 33	D - Act b 25

Na samotný feromon se průměrně během experimentu chytilo 948 ± 460 brouků. Průměrný počet absolutních odchytů pro variantu anti-atraktantů Full testovanou společně s feromonem byl 34 ± 19 brouků, pro variantu Eko 80 ± 57 a pro variantu Akt 83 ± 52 brouků.

Minimální počet brouků chycených na všechny testované varianty během experimentu byl 25, což umožnilo statistické zpracování výsledků.

Tabulka 8 Relativní odchvyty brouků na testované varianty, kdy 100% brouků byl součet všech brouků v jedné rotaci.

Rotace	A - Full a	B - Full b	C - Act a	D - Act b	F - Eko b	E - Eko a	H - Fer b	G - Fer a
1	1,1	1,4	2,0	1,4	2,5	3,0	44,0	44,5
2	0,7	0,8	2,3	1,6	4,4	6,8	40,8	42,6
3	1,1	1,0	5,1	5,4	1,7	1,9	40,3	43,6
4	2,1	1,9	5,3	9,3	3,8	7,8	35,8	34,0
5	1,6	2,5	4,8	4,6	3,0	3,2	41,0	39,3
6	2,0	1,3	3,1	5,1	3,6	3,5	38,3	43,1
7	1,9	2,2	3,9	2,9	1,8	2,8	36,9	47,6
8	2,3	2,1	2,0	2,2	3,1	2,9	43,6	41,6
průměr	1.6	1.7	3.6	4.1	3.0	4.0	40.1	42.1
SD	0.6	0.6	1.4	2.6	1.0	2.1	3.0	4.0

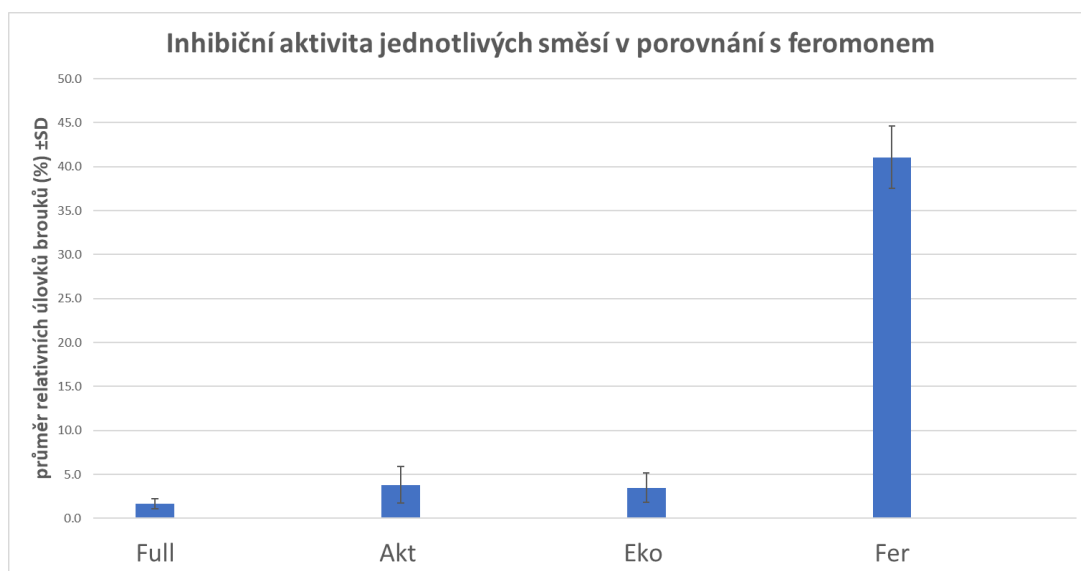
K relativní odchvyty byly spočteny (tabulka 8) pomoci vzorce, kdy každé číslo (počet odchycených brouků) bylo vynásobeno 100 % a vyděleno celkovým počtem chycených brouků za danou rotaci.

Vzorec: Počet brouků*100/celkový počet za rotaci

Například: Relativní odchyt pro Full a v 1. rotaci se vypočítá, jako $35*100/3079$

1.12 Inhibiční účinek testovaných variant anti-atraktantů

Inhibiční účinek je vyjádřený jako snížení odchytů kombinací anti-atraktivních směsí s feromonem vůči feromonu samotnému v procentech.



Graf 1 Porovnává inhibiční aktivitu jednotlivých směsí vůči kontrolnímu feromonu, pro výpočet hodnot pro jednotlivé varianty byly použity data získaná ze dvou opakování pro každou variantu.

Tabulka X. Inhibiční účinek směsi označené Full a obsahující 6 anti-atraktantů (Tab. 2)

Rotace	G - Fer a	A - Full a	Rozdíl Fer vs. Full (%)
1	1 371	35	97,45 %
2	1 513	26	98,28 %
3	1 105	27	97,56 %
4	456	28	93,86 %
5	1 536	62	95,96 %
6	628	29	95,38 %
7	638	26	95,92 %
8	467	26	94,43 %
H - Fer b A - Full b			
1	1 356	42	96,90 %
2	1 450	29	98,00 %
3	1 021	26	97,45 %
4	480	26	94,58 %
5	1 601	97	93,94 %
6	558	19	96,59 %
7	494	29	94,13 %
8	489	24	95,09 %
Průměrný procentuální rozdíl			95,97%
Směrodatná odchylka			±1,5%

Při porovnávání směsi Fer proti směsi Full byl průměrný procentuální rozdíl chycených brouků 96 % ± 1,5 %. Inhibiční aktivita směsi Full byla 96 % ± 1,5 %.

Tabulka X. Inhibiční účinek směsi označené Eko a obsahující 3 anti-atraktanty (Tab. 3)

Rotace	G - Fer a	E - Eko a	Rozdíl Fer vs. Eko (%)
1	1 371	93	93,22 %
2	1 513	240	84,14 %
3	1 105	47	95,75 %
4	456	104	77,19 %
5	1 536	124	91,93 %
6	628	51	91,88 %
7	638	37	94,20 %
8	467	33	92,93 %
H - Fer b E - Eko b			
1	1 356	77	94,32 %
2	1 450	155	89,31 %
3	1 021	43	95,79 %
4	480	51	89,38 %
5	1 601	118	92,63 %
6	558	53	90,50 %
7	494	24	95,14 %
8	489	35	92,84 %
Průměrný procentuální rozdíl			91,32 %
Směrodatná odchylka			4,78 %

Při porovnávání směsi Fer proti směsi Eko byl průměrný procentuální rozdíl chycených brouků $91,3 \% \pm 4,8 \%$, což značí i průměrnou inhibiční aktivitu směsi Eko.

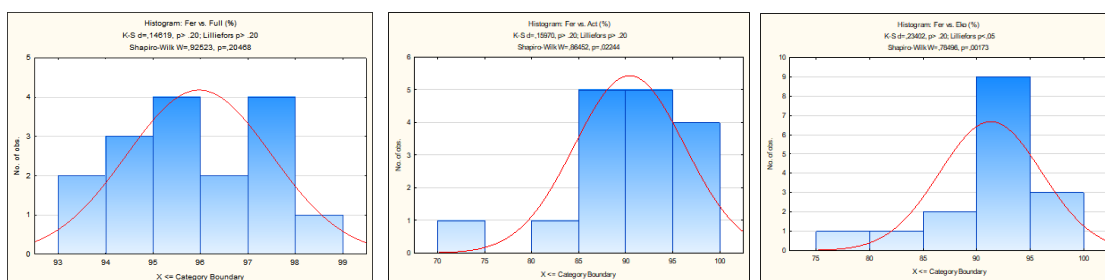
Tabulka X. Inhibiční účinek směsi označené Eko a obsahující 3 anti-atraktanty (Tab. 3)

Rotace	G - Fer a	C - Act a	Rozdíl Fer vs. Act (%)
1	1 371	62	95,48 %
2	1 513	81	94,65 %
3	1 105	129	88,33 %
4	456	71	84,43 %
5	1 536	187	87,83 %
6	628	45	92,83 %
7	638	52	91,85 %
8	467	23	95,07 %
H - Fer b C - Act B			
1	1 356	43	96,83 %
2	1 450	57	96,07 %
3	1 021	137	86,58 %
4	480	125	73,96 %
5	1 601	179	88,82 %
6	558	74	86,74 %
7	494	39	92,11 %
8	489	25	94,89 %
Průměrný procentuální rozdíl			90,40 %
Směrodatná odchylka			5,87 %

Při porovnávání směsi Fer proti směsi Act byl průměrný procentuální rozdíl chycených brouků 90,4 % ± 5,9 %. To znamená, že počet chycených brouků pomocí směsi Full byl průměrně o 90,4 % menší s odchylkou 5,9 %.

1.12.1 Statistické zpracování inhibičního efektu

Z testování normálního rozdělení dat vyšla jako normálně rozdělené pouze data inhibičního efektu směsi Full a proto byl použit neparametrický test párového porovnání. Kdy mezi sebou byly porovnány inhibiční efekty variant“ Full vs Eko, Full vs Akt a Eko vs Akt.



Obrázek X. Histogramy normality dat testovaných souborů

Tabulka X. Neparametrický test - Sign test párové porovnání, Marked tests are significant at $p < .05000$

Pair of Variables	No. of	Percent	Z	p-value
Fer vs. Full (%) vs. Fer vs. Akt (%)	16	6.250000	3.250000	0.001154
Pair of Variables	No. of	Percent	Z	p-value
Fer vs. Full (%) & Fer vs. Eko (%)	16	6.250000	3.250000	0.001154
Pair of Variables	No. of	Percent	Z	p-value
Fer vs. Akt (%) & Fer vs. Eko (%)	16	50.000000	-0.250000	0.802587

Inhibiční efekt obou variant modifikovaných směsí Eko (I.ef. 91,3 % ± 4,8 %) a Akt (I.ef. 90,4 % ± 5,9 %) se signifikantně lišil od původní směsi Full (I.ef. 96 % ± 1,5 %). Eko i Akt měly nižší inhibiční efekt, a byly tudíž méně účinné.

Inhibiční efekt modifikovaných směsí Eko a Akt mezi sebou se ale statisticky nelišil, účinnost obou je tedy podobná.

1.12.2 Porovnání nákladů na jednotlivé varianty anti-atraktivních směsí

Tabulka X. Porovnání nákladů na jednotlivé látky v odparnicích požívaných v testovaných směsích (počítáno na denní odpar mg/den)

Látka	jednotková cena za gram Kč/g	laboratorní odpar z jednoho odparníku mg/den	cena za denní odpar z jednoho odparníku (Kč)	počet použitých odparníků ve směsích	cena zapoužitou dávku testované směsi (Kč)/počítáno na denní odpar
<i>Trans</i> -konophorin	63307	0.5	31.65	1	31.65
1-okten-3-ol	36	1.2	0.04	1	0.04
3-oktanol	63	1.2	0.08	1	0.08
1-hexanol	22	1.2	0.03	1	0.03
1.8-cineol	12	0.7	0.01	2	0.02
<i>Trans</i> -4-thujanol	5224	1.6	8.36	2	16.72

Ceny jsou počítány pro látky dodané v malých množstvích a relativně vysokých analytických čistotách, od dodavatelů, kteří mají zastoupení v ČR. Identifikaci firem záměrně neuvádíme.

Nejnákladnější látkou na gram je *trans*-konophorin a *trans*-4-thujanol.

Tabulka 9 Ceny jednotlivých směsí a procentuálního snížení ceny a aktivity oproti Full verzi.

cena denního odparu varianty (Kč)	Kč	snížení ceny modifikovaných variant oproti variantě Full	snížení inhibiční aktivity modifikovaných variant oproti variantě Full
Full	48.5		
Akt	16.9	65%	4-7%
Eko	0.1	99,7%	4-7%

Směs Full – obsahuje všech 6 látek z tabulky, včetně *trans*-4-konophtorinu a *trans*-4-thujanolu, a její aktivita je ve feromonech lapačích vyšší o 4-7% než modifikované varianty.

Směs Act – obsahuje všechny tři nehostitelské látky a *trans*-thujanol, které v kombinaci vyšly jako nejvíce aktivní v testování synergického efektu (Erbanová, bak práce 2022). Její účinnost je o 4-7% nižší, než plné směsi a její cena je nižší o 65%.

Směs Eko – obsahuje dvousložkové NHV (3-oktanol a 1-hexanol), kterého byla vyřazena látka 1-okten-3-ol, pro toxicitu. A 1,8-cineol. Aktivita směsi je o 4-7% nižší, než směsi Full, a její cena je nižší o 99,7%.

V porovnání cena-inhibiční účinek při testování nižší dávky směsí, vytvořených z látek získaných z maloobchodní sítě dostupné v ČR ve vyšších čistotách ve feromonových lapačích vyšla, na základě výše uvedených tabulek a výpočtů, jako nejoptimálnější z toxikologického a ekonomického hlediska směs Eko

Diskuse

Tato práce se zabývá výzkumem optimalizace směsi antiatraktantů, které má nejen inhibiční účinky na *Ips. typographus*, ale je také ekonomicky dostupná. V rešeršní části je blíže popsána problematika tohoto tématu a čerpá ze studií, jak českých, tak zahraničních autorů.

V metodice je podrobně popsán experiment vykonaný na pokusné ploše ve městě Trutnov, v Královéhradeckém kraji. Kůrovci, byli odchyceni do pastí, které byly navazeny různými druhy směsí antiatraktantů společně s feromony, a také jen samotnými feromony. Brouci byly následně spočítáni a statisticky byla vypočítána účinnost jednotlivých směsí, které byly porovnány z finančního hlediska, aby byl zjištěn poměr účinnosti a ceny. Podle předchozích studií, se dalo očekávat, že nejvyšší inhibiční účinek, bude mít směs, která obsahuje všechny látky (Erbanová, 2022), ta ale není optimální z ekonomického hlediska. Poměrně vysoký inhibiční účinek měla směs Eko, která se jeví, jako neoptimálnější, z testovaných směsí, jak z ekonomického hlediska, tak z hlediska účinnosti. Směs Akt byla sice skoro stejně účinná, jako směs Eko, ale ceny jednotlivých látek, jsou vyšší v porovnání s účinností.

Myšlenka použití přírodních anti-atraktantů při ochraně smrků proti lýkožroutu smrkovému byla nadnesena před více než dvaceti lety. (Jakuš, 2003) Testování různých směsí látek, které byly míchány na základě chemicko-ekologických výzkumů několika světových pracovišť ukazovalo obvykle vysokou aktivitu při inhibici lákání brouků na feromon do feromonových lapačů, ale při ochraně stromů byl jejich účinek nižší. (Schiebe, 2011) Musíme vzít v potaz, že při ochraně smrků těmito směsmi, se brouci orientují nejen podle oné repelentní vůně, ale cítí i vůni hostitelského stromu, a vůni svých soudruhů, či například patogenních hub napadajících strom. (Zhang, 2004) Dále účinnost ochrany stromů pomocí anti-atraktantů závisí na hustotě populace brouků, na meteorologických podmínkách a také na kondici stromů samotných, zda mají dostatečně silnou obranu. (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)

I když z této bakalářské vyplývá, že neoptimálnější složení má směs utvořena z levných komponent Eko, dokud nebudou tyto různé směsi testovány proti sobě na ochranu reálných stromů, nemůžeme uzavřít, že toto velmi zjednodušené složení,

nebude interferovat s olfaktometrickou funkcí ostatních pro brouka aktivních látek z okolí, a že právě chybějící složky nejsou při reálné ochraně klíčové.

Rovněž musíme vzít v potaz, že ekonomická rozvaha byla počítána z maloobchodních cen látek, které byly objednány za vědeckými účely, a že v případě uvedení přípravku do výroby by se ceny pohybovaly mnohem níže. Co ovšem předpokládat lze, že poměr cen jednotlivých směsí by byl podobný.

Závěr

Hlavním úkolem bylo najít ekonomicky a toxikologicky optimální směs z hlediska inhibičních účinků odchyťů *Ips typographus* na jejich feromony. Na základě pokusu je možné říct, že nejúčinnější je směs všech anti-atraktantů Full, testovaných v předchozích pracích (Erbanová, 2022), která byla porovnána se modifikovanými směsmi, které měly optimalizované složení na cenu chemikálií (Eko), nebo nejaktivnější složky ze směsi (Akt). Obě dvě modifikované směsi Eko a Akt měly nižší inhibiční účinek, než směs Full o 4-7%. Směs Eco, obsahující pouze dvousložkové NHV (13-oktanol a 1-hexanol) a 1,8-cineol, byla levnější o 99,7% než směs Full a směs Akt, složená z NHV a trans-4-thujanolu byla o 65% levnější, než směs Full.

Nejvýhodnější je tedy směs Eko. Repelentní přípravek, který vznikne ze směsi Eko by mohl být, jak účinný, tak komerčně dostupný a mohl by najít širokou škálu uplatnění, ale musí být nadále testován k ověření reálného účinku k ochraně smrků před lýkožroutem smrkovým.

Navazující práce, by se mohla zabývat dalšími kombinacemi látek a jejich využitím v praxi.

Seznam literatury a použitých zdrojů

ANDERSSON, Martin, Mattias LARSSON, Miroslav BLAŽENEC, Rastislav JAKUŠ, Qing-He ZHANG a Fredrik SCHLYTER, 2010. Peripheral modulation of pheromone response by inhibitory host compound in a beetle. *Journal of Experimental Biology*. 213(19), 3332-3339. ISSN 1477-9145. Dostupné z: doi:10.1242/jeb.044396.

ERBANOVÁ, Karolína. Optimalizace složení směsi antiatraktantů, látek odpuzujících lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*), Praha 2022, Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze

ERBILGIN, Nadir, et al. A host monoterpene influences *Ips typographus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) responses to its aggregation pheromone. *Agricultural and Forest Entomology*, 2007, 9.2: 135-140.

GRODZKI W. 1997. Changes in the occurrence of bark beetles on Norway spruce in a forest decline area in the Sudety Mountains in Poland. In: GRÉGOIRE J. C., LIEBHOLD A. M., 142.

GRODZKI, W., 1997: *Pityogenes chalcographus* (Coleoptera, Scolytidae) - an indicator of man-made changes in Norway spruce stas; *Biologia Bratislava*, 52(2): 217-220.

JAKUŠ, R.; ŠIMKO, J. The use of dispensers with different release rates at pheromone trap barrier and in single traps [J]. *J. Appl. Entomol*, 2002, 126: 306-311.

JAKUŠ, Rastislav, Jaroslav HOLUŠA, Miroslav BLAŽENEC, et al. *Principy ochrany dospělých smrkových porostů před podkorním hmyzem*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015. ISBN 978-80-213-2605-7.

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*

Schädlingskunde, 76: 89-99. Dostupné z: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0280.2003.03020.x>.

JIROŠOVÁ, Anna, Blanka KALINOVÁ, Roman MODLINGER, Rastislav JAKUŠ, C. Rikard UNELIUS, Miroslav BLAŽENEC a Fredrik SCHLYTER, 2022. Anti-attractant activity of ()- *trans* -4-thujanol for Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus*: Novel potency for females. *Pest Management Science*. 2022(1), 1-8. ISSN 1526- 498X. Dostupné z: doi:10.1002/ps.6819

KAUSRUD, Kyrre, et al. Population dynamics in changing environments: the case of an eruptive forest pest species. *Biological Reviews*, 2012, 87.1: 34-51. Dostupné z <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00183.x>

MADĚRA, Petr a Luboš ÚRADNÍČEK. *Dřeviny České republiky*. Písek: Matice lesnická, c2001. ISBN 80-86271-09-9.

Mapy.cz, z [online], 2023.Trutnov: seznam.cz [cit. 2022-30-03] Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?q=50.593199%2C15.870702%20&x=15.9267450&y=50.5550610&z=11>

NUORTEVA, M. K, NUORTEVA, P., 1968: The infestation of timber by bark Beetles (Col., Scolytiade) and their enemies in different zones of the Finnish south – western archipelago. *Ann. Ent. Fenn.*, 34: 56-65.

PFEFFER, Antonín. *Kůrovcovití (Scolytidae) a jádrohlodovití (Platypodidae)*. Praha: Academia, 1989. Zoologické klíče. ISBN 80-200-0089-5.

SCHIEBE, C.; Blaženec, M.; Jakuš, R.; Unelius, C.R.; Schlyter, F. (2011): Semiochemical diversity diverts bark beetle attacks from Norway spruce edges. *Jornal of Applied Entomology* 135 (10): 726-737, Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2011.01624.x>.

SKUHRAVÝ, Václav. *Lýkožrout smrkový Ips typographus (L.) a jeho kalamity*. Praha: Agrospoj, 2002. ISBN 80-7084-238-5.

SCHLYTER, F.; CEDERHOLM, Ingrid. Separation of the sexes of living spruce bark beetles, *Ips typographus* (L.), (Coleoptera: Scolytidae) 1. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 1981, 92.1-5: 42-47. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1981.tb01650.x>

SCHLYTER, Fredrik; BYERS, John A.; LÖFQVIST, Jan. Attraction to pheromone sources of different quantity, quality, and spacing: Density-regulation mechanisms in bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Chemical Ecology*, 1987, 13: 1503-1523.

ŠVESTKA, Milan, Richard HOCHMUT a Vlastislav JANČAŘÍK, 1996. Praktické metody v ochraně lesa. Druhé, doplněné. Praha: Silva Regina. ISBN 80-902033-0-3.

UHLÍŘOVÁ, Hana a Petr KAPITOLA. *Poškození lesních dřevin*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2004. ISBN 80-86386-56-2.

ÚRADNÍČEK, Luboš. *Dřeviny České republiky*. 2., přeprac. vyd. [Kostelec nad Černými lesy]: Lesnická práce, 2009. ISBN 978-80-87154-62-5.

WERMELINGER, Beat. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—a review of recent research. *Forest ecology and management*, 2004, 202.1-3: 67-82. XIE, S.-A. and Lv, S.-J. (2013), Semiochemical blends on *Ips typographus*. *Entomological Science*, 16: 179-190. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2012.00555.x>

ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK, M. Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.). *Druhé, doplněné vydání. Lesn. práce*, 2007.

ZAHRADNÍK, Jiří. *Hmyz*. Ilustroval František SEVERA. [Praha]: Aventinum, 2004. ISBN 80-86858-01-4.

ZAHRADNÍK, Petr a Marie ZAHRADNÍKOVÁ. *Použití feromonových lapačů v ochraně lesa proti lýkožroutu smrkovému: certifikovaná metodika*. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2016. Lesnický průvodce. ISBN 978-80-7417-103-1.

ZAHRADNÍKOVÁ, Marie a Petr ZAHRADNÍK, 2015. Unconventional methods of forest protection against bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Zprávy lesnického výzkumu*. 37-46.

ZHANG, Q.C., 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. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/j.1461-9555.2004.00202.x>

ZHANG, Q.-H. and Schlyter, F. (2003), Redundancy, synergism, and active inhibitory range of non-host volatiles in reducing pheromone attraction in European spruce bark beetle *Ips typographus*. *Oikos*, 101: 299-310. Dostupné z: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.111595.x>

ZHANG, Qing-He, Fredrik SCHLYTER a Göran BIRGERSSON, 2000. Bark volatiles from nonhost angiosperm trees of spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Scolytidae). *Chemoecology*. 10(2), 69-80. ISSN 0937-7409. Dostupné z: doi:[10.1007/s000490050010](https://doi.org/10.1007/s000490050010)

ZUMR, V. (1985): *Biologie a ekologie lýkožrouta smrkového (Ips typographus) a ochrana proti němu*. Academia, Praha, 124 p.

Seznam obrázku, tabulek a grafů

Seznam obrázků

Obrázek 1 Ips. typographu (zdroj: Jirošová, 2022)	15
Obrázek 2 Dynamika napadení smrku ztepilého Ips typographus	28
Obrázek 3 Vzorce atraktantů a anti-atraktantů (Zhang, 2004)	29
Obrázek 4 Výběr hostitele lýkožroutem smrkovým (Jakuš, Blaženec, Holuša, 2015)	31
Obrázek 5 Trans-4-thujanol (zdroj: http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.9403968.html)	32
Obrázek 6 1,8-cineol (1,8-cineol, 2022)	33
Obrázek 7 Umístění pokusné plochy (Mapy.cz, 2022), pokusná plocha (zdroj: vlastní, 2022)	34
Obrázek 8 Feromonový nárazový lapač typu Ecotrap (zdroj: vlastní, 2022)	36

Seznam tabulek

Tabulka 1 Označení jednotlivých směsí	36
Tabulka 2 Složení a zjištěné odpary směsí Full – obsahovala 6 látek. (Varianty Full a, Full b).....	37
Tabulka 3 Složení a zjištěné odpary směsí Akt – obsahovala 4 látky. (Varianty Akt a, Aktb)	38
Tabulka 4 Složení a zjištěné odpary směsí Eko – obsahovala 3 látek. (Varianty Eko a, Eko b). Tato směs neobsahovala nejvíce nákladné látky (Tab. 14).....	39
Tabulka 5 Varianty značené Fer a, b – obsahovaly pouze feromony.	40
<i>Tabulka 6 Randomizačního schématu, který vygeneroval latinský čtverec, podle tohoto schématu byly prováděny rotace, každý odparník byl označen velkým písmenem A-H pro snadnou orientaci</i>	41

Tabulka 7 Absolutní počty odchycených <i>Ips typographus</i> v jednotlivých rotacích..	42
Tabulka 8 Relativní odchvy brouků na testované varianty, kdy 100% brouků byl součet všech brouků v jedné rotaci.	43
Tabulka 9 Ceny jednotlivých směsí a procentuálního snížení ceny a aktivity oproti Full verzi.	50

Seznam Grafů

Graf 1 Porovnává inhibiční aktivitu jednotlivých směsí vůči kontrolnímu feromonu, pro výpočet hodnot pro jednotlivé varianty byly použity data získaná ze dvou opakování pro každou variantu.	44
--	----