

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Excelentní tým pro mitigaci



Česká zemědělská
univerzita v Praze

**Optimalizace složení směsi antiatraktantů, látek
odpuzujících lýkožrouta smrkového (*Ips
typographus*)**

Bakalářská práce

Autor: Karolína Erbanová

Vedoucí práce: Ing. Anna Jirošová, Ph.D.

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Karolína Erbanová

Lesnictví
Provoz a řízení myslivosti

Název práce

Optimalizace složení směsi antiatraktantů, látek odpuzujících lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*)

Název anglicky

Optimization of anti-attractant mixture composition, compounds with activity to repel European spruce bark beetle (*Ips typographus*)

Cíle práce

Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.) je agresivní druh kůrovce napadající smrk ztepilý, který v současné době způsobuje ve střední Evropě rozsáhlé kůrovcové kalamity. Těkavé látky z jeho ekologické niky, které tento kůrovec vnímá tykadly, slouží k orientaci při nalezení vhodného prostředí pro rozmnožování, včetně zacílení konkrétního hostitelského stromu. Vedle látek atraktivních vnímá kůrovec i látky s odpuzující aktivitou. Takové sloučeniny byly vědci vytipovány v sériích analytických a behaviorálních testů, a použity v pilotních testech na ochranu smrkových porostů. S objevy nových látek vzniká potřeba optimalizovat anti-atraktivní účinnost jejich směsí a synergistický efekt jednotlivých sloučenin ve směsi.

Cílem této bakalářské práce je zjistit synergický efekt látek ve směsi anti-atraktantů skládajících se z *trans*-konoftorinu, ze směsi nehostitelských alkoholů hexanolu, 3-oktanolu, 1-okten-3-ol, 1,8-cineolu a z nově objeveného *trans*-4-thujanolu. Dalším cílem bude shrnout poznatky z vědecké literatury na téma anti-atraktivní látky pro lýkožrouta smrkového.

Metodika

Experiment bude proveden ve feromonových lapačích v porostech školního lesního podniku Kostelec n CL. Metoda bude založena na testování směsí, kdy vždy jedna z látek bude ze směsi vyjmuta. Účinnost směsí bude zjišťována v kombinaci s feromonem lýkožrouta smrkového oproti feromonu samotnému. Odchytní brouci v experimentálních lapačích budou uskladněni pro pozdější evaluaci, návnady v lapačích budou náhodně měněny dle schématu tzv. Latinský čtverec. Brouci budou spočtení a pokus bude statisticky vyhodnocen.

Rozvrh: Květen-červen 2021, polní pokus s feromonovými lapači, červen-červenec 2021, třídění odchytů, zpracování výsledků, září-prosinec 2021, literární rešerše na dané téma. Leden-duben 2022, kompilace bakalářské práce.

Doporučený rozsah práce

40-50

Klíčová slova

Lýkožrout smrkový, anti-atraktanty, ochrana smrku, trans-4-thujanol

Doporučené zdroje informací

- Jakus R et al. (2003) Overview of development of an anti-attractant based technology for spruce protection against Ips typographus: From past failures to future success Anz. Schadlingskd.-Journal Pest Science 76:89-99.
- 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.
- 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, Anderson P (1999) GREEN LEAF VOLATILES INTERRUPT PHEROMONE RESPONSE OF SPRUCE BARK BEETLE , Ips typographus 25:2847-2861
- Zhang. Q.-H. 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 . 101,2, 299-310

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Anna Jirošová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Excelentní tým pro mitigaci

Elektronicky schváleno dne 29. 4. 2021

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 06. 04. 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Optimalizace složení směsi antiatraktantů, látek odpuzujících lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) vypracovala samostatně pod vedením Ing. Anny Jirošové, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Ve Frýdlantu

Dne 10.4.2022

Podpis autora

Poděkování

Ráda bych touto formou poděkovala paní Ing. Anně Jirošové, Ph.D. za odborné vedení a pomoc s vypracováním práce.

Optimalizace složení směsi antiatraktantů, látek odpuzujících lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*)

Abstrakt

Pokus pro podklad patentu proběhl v termínu 14.6.2021 až 28.6.2021 v porostu, který patří ŠLP Kostelec nad Černými Lesy. Byl testován vliv antiatraktantů na odchyt lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*). Celkem bylo použito celkem 7 kůrovcových lapačů, ve kterých se směsi dle randomizačního schématu měnily. Past, ve které byly přítomny všechny látky obsahovala inhibiční látky: *trans*-4-thujanol, 1,8-cineol, *trans*-konoforin, nehostitelské těkavé látky (NHV) -hexanol, 1-okten-3-ol, 3-oktanol a feromony - 2-methyl-3-buten-2-ol a *cis*-verbenol. V dalších pastech vždy některá z látek chyběla, jedna past obsahovala pouze feromon a jedna byla zcela prázdná.

Inhibiční účinek byl potvrzen. Směs, která obsahovala všechny antiatraktanty + feromon snížila odchyt kůrovců oproti pasti pouze s feromonem o 96 ± 2 %. U pokusu, ve kterém byl přítomný feromon ale v pasti chyběl *trans*-4-thujanol došlo ke snížení o 88 ± 4 %. Značný pokles účinnosti po jeho odebrání dokázal, že jeho inhibiční účinek na agregační feromon kůrovců je nezanedbatelný a je třeba jeho přítomnost ve směsi k dosažení cíleného výsledku. Další nezbytnou složkou jsou NHV alkoholy, jejichž odebrání způsobilo snížení odchytu o 84 ± 8 % oproti samotnému feromonu.

Praktické využití směsi lze najít v parcích či arboretech, případně při ochraně málo rozsáhlých porostů. Při použití v hospodářském lese nelze jeho účinnost zaručit.

Klíčová slova: Antiatraktant, *trans*-4-thujanol, NHV, feromon, *Ips typographus*

Optimization of anti-attractant mixture composition compounds with activity to repel European spruce bark beetle (*Ips typographus*)

Abstract

The experiment for the patent was carried out from 14.6.2021 to 28.6.2021 in a stand that belongs to ŠLP Kostelec nad Černými Lesy. The effect of antiattractants was tested on the capture of the spruce bark beetle (*Ips typographus*). A total of 7 bark beetle traps were used where the mixtures were varied according to a randomization scheme. The trap where all substances were present contained inhibitory substances - *trans*-4-thujanol, 1,8-cineol, *trans*-conoforin, Non-host volatiles (NHV) (hexanol, 1-octen-3-ol, 3-octanol) and pheromones - 2-methyl-3buten-2-ol and *cis*-verbenol. In other traps, one of the substances was always missing, one trap contained only the pheromone and one was completely empty.

The inhibitory effect was confirmed. The mixture that contained all antiattractants + pheromone reduced bark beetle trapping by 96±2% compared to the trap with pheromone only. In the experiment where the pheromone was present but the trap lacked *trans*-4-thujanol there was a reduction of 88±4 %. The significant decrease in efficiency after its removal proved that its inhibitory effect is not negligible on the aggregation pheromone of bark beetles and its presence in the mixture is needed to achieve the targeted result. Another essential components are NHV alcohols, their removal caused a reduction in trapping of 84±8% compared to the pheromone alone.

Practical use of the mixture can be found in parks or arboretum, also in the protection of small-scale stands. Its efficiency cannot be guaranteed when used in forests which are used for productional logging.

Key words: Antiattractant, *trans*-4-thujanol, NHV, pheromone, *Ips typographus*

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíle práce	11
3	Lýkožrout smrkový (<i>Ips typographus</i>)	12
3.1	Způsob života.....	12
4	Rozšíření a úroveň kalamity – současný stav	14
5	Obranná opatření a kontrolní metody	16
5.1	Kontrolní metody.....	16
5.1.1	Pochůzková metoda	16
5.1.2	Metoda využívající feromonové lapače	16
5.1.3	Alternativní metody.....	17
5.2	Obranná opatření	18
5.2.1	Lapáky	18
5.2.2	Chemická ochrana	18
5.2.3	Fumigace	19
6	Management ochrany lesa proti lýkožroutu smrkovému.....	20
6.1	Před prvním rojení	20
6.2	Rojení	20
6.3	Po konci rojení	21
7	Feromony.....	21
8	NHV – nehostitelské těkavé látky“	24
8.1.1	<i>Trans</i> -konophorin	25
8.2	Těkavé látky zelených listů.....	25
8.2.1	1-okten-3-ol.....	26
8.2.2	3-oktanol	27
8.2.3	1-hexanol.....	27
9	<i>Trans</i> -4-Thujanol	27
10	1,8-cineol	29
11	Switch efekt	29
12	Push pull strategie.....	31
13	Dřívější vývoj výzkumu repelentních směsí.....	31
14	Metodika.....	33

15	Statistické metody.....	38
16	Výsledky.....	39
17	Diskuse.....	42
18	Závěr.....	44
19	Citace.....	45

1 Úvod

Lýkožrout smrkový (*Ips typographus*, Curculionidae, Scolytinae) je v současné době nejrozšířenějším hmyzím škůdcem. Jedná se o sekundárního škůdce, který za normálního stavu napadá pouze oslabené smrky. K jeho rychlému množení a dosažení kalamitního stavu pomohly suché a teplé roky, které oslabily smrk ztepilý a také nezpracovaná živelná kalamita po orkánu v roce 2017, která posloužila pro vývoj početných generací, jež začaly napadat i stromy zdravé. Roky s vysokými průměrnými teplotami napomohly v určitých místech k vylétnutí i třetí generace kůrovce, a tak i ke zvýšení počtu napadených stromů. Výše kůrovcových těžeb poslední roky strmě stoupají a ubývá tak vysokého lesa staršího více než 60 let, ale díky kalamitnímu stavu dochází i k napadání mladších porostů.

Hlavními metodami pro kontrolu výskytu brouka je aktivní vyhledávání napadených stromů, aby byla zajištěna jejich včasná asanace a snížila se šance napadení stromů v okolí. Další běžně využívanou metodou pro kontrolu stavu populace kůrovce jsou feromonové lapače, ve kterých je umístěna feromonová návnada a počet odchycených brouků nám dá informaci o vývoji a početnosti rojení. Provádějí se taky pokusy s alternativními metodami, jako je vyhledávání napadených stromů pomocí psů či dronů.

Jako obranná opatření proti kůrovci se využívají lapáky – otrávené i neotrávené, insekticidní sítě i chemické postřiky. Alternativní metodou, která byla zkoumána je využití antiaktraktantů, látek odpuzujících lýkožrouta smrkového.

Antiaktraktakční látky, které byly použity v pokusu, který slouží jako jeden z podkladů pro úspěšnou žádost o patentování směsi jsou 1,8-cineol; *trans*-4-thujanol; NHV – hexanol, 3-oktanol, 2-okten-3-ol; *trans*-konoftorin a feromonovou složku, kterou tvoří 2-methyl-3-buten-2-ol a *cis*-verbenol. Směs je unikátní, protože oproti dřívějším pokusům, ve kterých byla používána látka verbenon, tato směs místo ní obsahuje 1,8-cineol a je přidán *trans*-4-thujanol.

2 Cíle práce

Bakalářská práce je zaměřena na téma optimalizace směsi antiatraktantů a terénní výzkum který se k ní váže posloužil jako podklad pro žádost o patent pro danou směs. Předmětem výzkumu je reakce jedinců lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) na různé směsi inhibičních látek v kombinaci s feromonem.

Hlavním cílem je prokázat, synergický účinek látek, které byly klasifikovány jako antiatraktanty pro lýkožrouta smrkového a optimalizovat složení směsi tak, aby byl co nejvíce snížen odchyt kůrovce. Antiatraktanty byly v pastech kombinovány s agregačním feromonem pro lýkožrouta.

Dílčím cílem číslo 1 je zjistit synergický efekt látek ve směsi, ve které byl použit nově objevený *trans*-4-thujanol, dále pak směs NHV složená z hexanolu, 3-oktanolu, 1-okten-3-ol, 1,8-cineolu a *trans*-konoftorinu.

Dílčím cílem číslo 2 je pak shrnutí vědeckých poznatků o antiatraktantech pro lýkožrouta smrkového.

3 Lýkožrout smrkový (*Ips typographus*)

Je hmyzem z čeledi kůrovcovitých (*Scolytidae*) a náleží mezi šestici zástupců rodu *Ips*, kteří se vyskytují na území České republiky. *Ips typographus* je jedním z nejvýznamnějších škůdců starších porostů smrku v Evropě. Výjimku tvoří Britské ostrovy a Středomoří.

Zbarven je do lesklé tmavě hnědé až černé barvy se zlatavými chloupky. Velikost se pohybuje okolo 4,5 mm. Má tělo s useknutou zádí krovek, charakteristické je také uspořádání zoubků na zádi.

Lýkožrout smrkový je řazen mezi sekundární škůdce. Při stavu, kdy nehrozí jeho přemnožení napadá hlavně nedávno odumřelé stromy (dřevo z těžeb nebo vývraty a zlomy) a také stromy odumírající z důsledku sucha a jiných příčin.

Z hlediska poškození stromů se jedná o fyziologického škůdce, který žírem v oblasti floému způsobuje odumření napadeného jedince. Poškození ale při včasném zpracování napadených stromů nemá vliv na kvalitu dřeva. (Wermelinger, 2004)

3.1 Způsob života

V jednom roce dochází ke dvěma rojením. V nižších polohách může za příznivých podmínek docházet až ke třem, kdy ve třetím rojení zůstává vývoj nedokončen a brouci se vyrojí až následující jaro. K prvnímu rojení dochází na přelomu dubna a května. Při příznivých teplotách může ale započnout už na začátku dubna, ve vyšších polohách je pak začátek posunut vlivem nízkých teplot převážně na konec května. Ke druhému rojení dochází mezi polovinou června až začátkem srpna, tedy 8-10 týdnů po jarním rojení. Případné třetí rojení je datováno na začátek září.

Současně s každým generačním vylétnutím dochází k sesterskému rojení. Samice přelétají po 2-3 týdnech od začátku rojení na jiný strom, kde provedou generační žír. V kladení vajíček pokračují v novém požerku již bez kopulace a není vytvářena snubní komůrka.

Na oslabený strom nalétávají jako první samečci, kteří začnou produkovat agregační feromony. V případě překonání obranyschopnosti smrku tyto feromony způsobí nálet brouků na napadený strom. Sameček se ve většině případů rozmnožuje s jednou až třemi samicemi. Po kopulaci, která probíhá ve snubní komůrce, každá samička vyhlodá matečnou chodbu, do které po stranách naklade vajíčka (okolo 60ks). Tato činnost trvá 7-10 dní. Larvy se líhnou po 6-18 dnech a jejich vývoj probíhá 7-50 dní. Délka vývoje je ovlivněna teplotními podmínkami. Po dokončení vývoje se larvy zakuklí v průměru na 8 dní a po vylíhnutí mají bílou barvu. Vylíhnutí jedinci postupně přechází z bílé barvy do žluté, poté do světle hnědé a s pohlavním dozráváním dále tmavnou. Pohlavní zrání trvá 2-3 týdny a jedinci v tomto období provádějí zralostní žír. Poměr pohlaví vylíhnutých jedinců v rámci požerku je 1:1.

Zimování je závislé na počasí a probíhá ve stádiu larvy, kukly i dospělce. Larvy se mohou vyvíjet i kolem teploty 7° C a proto při jarním rojení jsou jedinci převážně ve stádiu imága. Zimování je závislé na dokončeném vývoji a na počasí, proto někteří jedinci zimují v hrabance a někteří pod kůrou stromů. (Křístek, 2013)

4 Rozšíření a úroveň kalamity – současný stav

Za rok 2020 došlo při nahodilé těžbě způsobené hmyzem k celkovému vytěžení 26 243 tisíc m³ bez kůry (b.k.).

Mezi lety 2003-2016 docházelo k poškození ročně 0,2–1,4 % smrkových porostů vlivem lýkožrouta smrkového. Avšak v letech 2017 až 2019 se míra poškozování zvýšila na 3,1–5,4 % za jeden rok, což vyvolalo kalamitní stav. Do roku 2017 docházelo k množení kůrovců vlivem větru i sucha. Po tomto roce se však vliv větru dostal do pozadí a vysokou míru oslabení stromů zapříčinilo sucho.

K nárůstu množství dřeva (viz. Tabulka č.1), které bylo vytěženo kvůli napadení stromu hmyzem začalo docházet v roce 2015 a v roce 2017 došlo ke strmému nárůstu. Jednou z příčin byl extrémně suchý a teplý rok 2015, kdy došlo



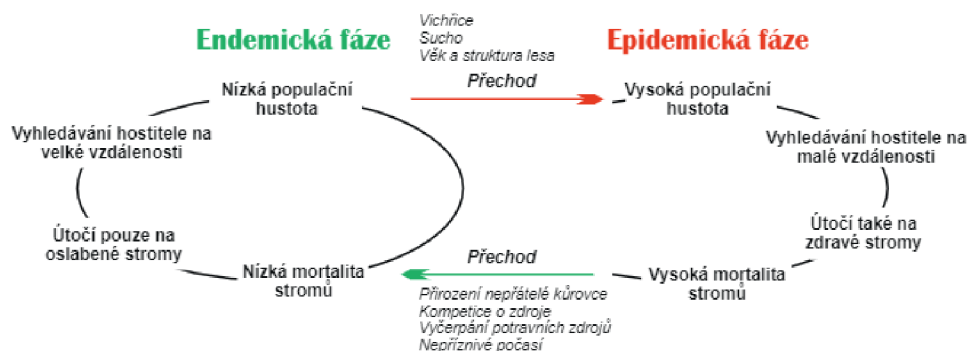
Graf č.1 Výše nahodilých těžeb způsobených hmyzem (Těžba dřeva podle druhů dřevin a typu nahodilé těžby, 2021)

k namnožení kůrovce na zlomených a vyvrácených stromech, které nebyly včas zpracovány po orkánech v předešlých letech. Následující suché roky s mírnou zimou zapříčinily, že došlo k rozvoji kůrovcové kalamity a byl vyhlášen kalamitní stav. (Hlásny, 2021a)

Stav lýkožrouta smrkového je určován dle vyhlášky Ministerstva zemědělství ČR č. 101/1996 Sb., v § 3 podle které je řazen mezi kalamitní škůdce. Příloha č.2 stanovuje, že pro kalamitní stav je třeba, aby v předchozí roce objem kůrovcového

dřeva přesáhl hodnotu 5 m³ na 5 ha porostů *Picea abies* a je způsobováno rozsáhlé poškození lesních porostů. (Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 101/1996 Sb., kterou se stanoví podrobnosti o opatřeních k ochraně lesa a vzor služebního odznaku a vzor průkazu lesní strážce, 1996)

Přemnožení se kůrovce je cyklický jev, ve kterém dochází v kratších obdobích ke kalamitě (fáze epidemická) která střídá dlouhá období normálního stavu (endemická). Hlavním faktorem pro dosažení epidemických hodnot je dostatek vhodných stromů pro napadení stromu.



Obr.č.1: Fáze stavu populací kůrovce (Hlásný, 2019)

Do budoucna je předpoklad častějších výskytů epidemické fáze, hlavně ve střední Evropě. Postupem času i v přirozených polohách smrku, tedy v Alpách. Oteplování vede k nárůstu výskytu kůrovce a je předpoklad zvýšení až na pětinašobek vytěženého kůrovcového dříví, než bylo mezi lety 1990–2004. Nárůst bude způsoben dlouhými obdobími sucha a horka i celkovou změnou klimatu, jelikož zvýšení teploty umožňuje vylétnutí více generací v jednom roce. (Hlásný, 2019)

5 Obranná opatření a kontrolní metody

5.1 Kontrolní metody

5.1.1 Pochůzková metoda

Přímo v porostech zjišťujeme výskyt kůrovce vyhledáváním napadených stromů. V případě nálezu je třeba napadené stromy co nejrychleji vytěžit a odvézt. Místo nálezu je poté v dalších měsících třeba častěji kontrolovat, zda se neobjeví napadení okolních stromů. (Zahradník, 2004)

5.1.1.1 *Projevy napadení stromu*

U napadeného stromu dochází k viditelnému smolení, kdy smůla zalévá závrtové otvory kůrovce. Ronění ustává ve chvíli, kdy je překonána obranyschopnost stromu. Kontrola se provádí vyhledáváním dosud nezalitých závrťů a výletových otvorů. V další fázi lze u kořenů, pod šupinkami stromů, ale i v jeho nejbližším okolí pozorovat drtinky. Pod kůrou jsou pak viditelné typické požerky, které tvoří matečné (6–12 cm) a larvové (6 cm) chodbičky. Matečné vedou rovnoběžně s osou kmenu, larvové jsou k nim kolmé.

Dalším znakem, vyskytujícím se v pokročilejší fázi, který indikuje napadení stromu lýkožroutem smrkovým je změna barvy jehličí do rezavých odstínů, opad stálezeleného jehličí a loupání kůry v místě primárního náletu brouka. (Lubojacký, 2018)

5.1.2 Metoda využívající feromonové lapače

Využívá se pro kontrolu hustoty populace kůrovce u smrkových porostů straších 60 let. Využívány jsou lapače nárazové – bariérové, štěrbinové nebo přistávací – trubicové. Umísťují se na nejohroženější místa – porostní stěny, holiny, v počtu nejméně 1 lapač na 5 hektarů, kdy vzdálenost od porostu nesmí klesnout pod 10 metrů. Na základě odchyty se následně přistupuje k obranným opatřením. (Zahradník, 2004)

Lapače jsou umísťovány do porostů před začátkem předpokládaného rojení (nejpozději 14 dnů předem) a sáčky s feromonem se vyvěšují při začátku rojení. Obsažený agregační feromon láká obě pohlaví. Lapače se kontrolují po 10 dnech.

Bariérové a štěrbinové lapače mají větší účinnost než trubicové, vliv na odchyt má také barva lapače. Používaná černá se ukázala jako nejspolehlivější, s největším odchytom. Vysoké počty mají také červená a zelená barva pastí. Naopak bílé či žluté nemají vysokou účinnost. Ideální výškou pro umístění lapačů je pak 1,5 metru nad zemí. V podstatně nižší či vyšší výšce dochází k nižšímu odchytu. Nejideálnější vzdáleností od porostu je pak hodnota 20 metrů, která zajišťuje nejvyšší hodnoty odchytu. (Chen, 2010)

5.1.3 Alternativní metody

5.1.3.1 Vyhledávání psem

Psi, kteří projdou náležitým výcvikem jsou schopní nalézt napadený strom ještě před vylíhnutím potomstva. Lze tedy zajistit včasnou asanaci a zabránit šíření lýkožrouta. Výcvik probíhá mimo kůrovcovou sezónu v laboratoři, kde jsou psi učeni rozpoznat čtyři druhy feromonových sloučenin. V sezóně jsou pak schopni napadený strom rozpoznat v jednotkách hodin od napadení do vzdálenosti ≥ 100 metrů. (Johansson, 2019)

5.1.3.2 Vyhledávání dronem

Vyhledávat napadené stromy je možné také bezpilotními letadly – drony. Zaznamenaný obraz je rozložen na pixely a analyzovány dle prahových pravidel. Systémem je jednotlivým pixelům přiřazena barva podle fáze napadení – zdravá, bez napadení (zelená), raná fáze (žlutá), pozdní fáze (červená) a mrtvá (bezlistá). Předností této metody je velké množství plochy, kterou je možno zkontrolovat. (Schaeffer, 2021)

5.1.3.3 Antiatraktanty

Využití specifických látek, které lýkožrouta odpuzují -např. signál že strom je již vyčerpán, nebo obranné látky samotného smrku, dále jsou využívány některé

C6 a C8 alkoholy a další nehostitelské těkavé látky, jako jsou látky z listnatých stromů.

5.2 Obranná opatření

5.2.1 Lapáky

Pokud je možné dodržet předepsanou vzdálenost 10 metrů od porostu lze použít stromové lapáky. Kůrovci jsou k lapáku přitahováni potenciálními primárními atraktanty (uhlovodíkové terpeny), které vylučují vadnoucí stromy. Pro lapáky jsou využívány vývraty či cíleně pokácené stromy. Atraktivita využitého stromu se zvyšuje podložením kmene, nebo zakrytím po celé délce větvemi. Míra napadení je průběžně kontrolována tak, aby byla zajištěna včasná asanace lapáku. (Švestka, 1996). Nejvhodnější pro zabezpečení vysokého odchytu je tvorba 3-4 metrových "roštů z kulatiny". Tato metoda není náročná pro dopravu materiálu ani na ostatní výdaje, jako jsou například chemická ošetření či feromonové návnady. (Lindmark, 2022)

Možností je také využití otrávených lapáků, kdy je kůra lapáku ošetřena insekticidním postřikem a zároveň je umístěna feromonová návnada. Při náletu jedince a jeho pokusu o napadení kmene dojde k úhynu. Pokud se na lapáku objeví závrtý je třeba lapák odstranit nebo opakovaně ošetřit insekticidní jíchou. (Zahradníková, 2015)

5.2.2 Chemická ochrana

Je možná pouze povolenými přípravky, které jsou každoročně zveřejňovány v "Seznamu povolených přípravků na ochranu lesa" který vydává MZe ČR. Využívá se předepsaných koncentrací doplněné barevným smáčedlem, které zvyšuje účinnost a umožňuje kontrolu ošetření. Dřevo je ošetřováno na skládkách, kde je třeba, aby postřik pokryl maximální část povrchu kůry. Využívá se také pro tvorbu otrávených lapáků. Využívané insekticidy nemají penetrační vlastnost – nehubí vývojová stadia pod kůrou. Účinné jsou až na dospělé při opouštění kmene. (Zahradník, 2004)

Využívány jsou také insekticidní sítě Storanet. Na skládkách dřeva jsou hráně překryty sítí a u země upevněny těžebními zbytky. Síť obsahující kontaktní insekticid usmrcuje brouky, kteří na ní přistanou zvenku, ale i ty, kteří se ze dřeva pokusí vylétnout. Jedná se o metodu s nejnižším dopadem na necílové druhy. Účinnou látkou, kterou je síť ošetřena je alpha-cypermethrin. (Zahradníková, 2015)

Na ochranu hrání je používána také technologie MERCATA. Dřevo je naskladněno na netkanou textilií a poté je skládka ošetřena povoleným insekticidem. Na závěr se skládka textilií překryje. Uzavření dřeva uvnitř snižuje množství výparu látky a zaručuje tak lepší účinnost insekticidu. Kladem je také nemožnost lýkožrouta vylétnout do okolí. (Zahradníková, 2018)

5.2.3 Fumigace

Dne 1.3.2021 bylo povoleno při ochraně lesa proti lýkožroutu využití fumigace. Použitým přípravkem je EDN (ethandinitril). Použití je omezeno na dobu od 1. 3. 2021 do 28. 6. 2021 (120 dní). Metoda je využívána při velkých objemech dřeva na lesních skládkách či na jiných vhodných plochách kde je dřevo soustředováno. Ošetření je prováděno jako fumigace pod plachtou a je prováděno přímo zaměstnanci výrobce. (Hnatek, 2021)

6 Management ochrany lesa proti lýkožroutu smrkovému

6.1 Před prvním rojení

Způsoby ochrany lesa jsou definovány v ČSN 4448 1000. Podle normy jsou definovány počty a druhy odchyťových zařízení, způsoby asanace a jsou zde také definovány pojmy využívané v lesnické praxi i v zákonech a vyhláškách.

Základem ochrany lesa proti kůrovci je stanovení kalamitního základu. Kalamitní základ je definován jako "Objem včas zpracovaného kůrovcového dříví za období od 1.8. do 31.3." (ČSN 48 1000, 2004). Podle velikosti kalamitního základu je určen počet odchyťových zařízení, která jsou umísťována v porostech na ohrožená místa. Pokud je stav lýkožrouta smrkového zvýšený či kalamitní, je třeba vypočítávat počet obranných opatření pro každé ohnisko zvlášť.

Pro jarní rojení se výpočet množství obranných opatření, která mají umístěna do porostů stanoví pomocí kalamitního základu a je roven 1/10 objemu kůrovcového dříví, které bylo zpracováno včas. K číslu přičteme jedno odchyťové zařízení za každý započatý 1m³ dříví, který je lýkožroutem opuštěn, a to zcela i částečně. Odchyťová zařízení je možno v ohniscích kombinovat a je třeba je umístit před počátkem rojení. (ČSN 48 1000, 2004)

Na lapáky je možnost využití stromů poškozených při živelné kalamitě v zimním a jarním období. Na stojící lapáky je ve výšce 2 metrů připevněna feromonová návnada. Účinnost se postupem času snižuje a je třeba lapák pravidelně kontrolovat a při napadení kůrovcem včas asanovat.

6.2 Rojení

Základem je aktivní vyhledávání napadených stromů. Při začátku prvního rojení se jako primární znak napadení objevují drtinky na kmenech stromů, v pozdějším stádiu dochází k opadu jehličí a kůry. Je třeba napadené stromy včas vytěžit a asanovat. Místo výskytu kůrovce je následující měsíce častěji kontrolováno, aby bylo včas zjištěno, zda nedošlo k nalétnutí na okolní stromy. Asanace probíhá buď

přímo v porostu – odkorněním, nebo na skládce dřeva – chemickou asanací nebo jsou hráně zakryty insekticidní sítí. Možností je také okamžitý převoz k odběrateli, kdy je třeba záruka odkornění na pile, aby nedošlo k rozšiřování kůrovce do dalšího okolí.

6.3 Po konci rojení

Po skončení rojení, tedy v podzimním a zimním období, se vyhledávání týká už stromů, ve kterých vývoj neprobíhá a jejich zpracování nemusí být tedy okamžité. Stromy, které byly napadeny, se poznají podle loupající kůry či změny ve zbarvení jehličí. Lýkožrout zimuje v kůře stromů nebo v hrabance a je tedy třeba takovéto stromy odvézt z lesa, zpracovat a případně asanovat, pokud by měly na skládce zůstat delší dobu, aby na nich nedošlo v jarním období k vývoji nové generace. (Valeria, 2016)

7 Feromony

Feromony jsou látky vylučované jedincem, které vyvolávají specifickou reakci u jiného jedince stejného druhu a patří mezi semiochemikálie (molekuly, které přenášejí signály mezi organismy) a u hmyzu jsou klíčovým komunikačním systémem v rámci druhu. Vnímání feromonů může být ovlivněno inhibičním či repelentním účinkem určitých látek.

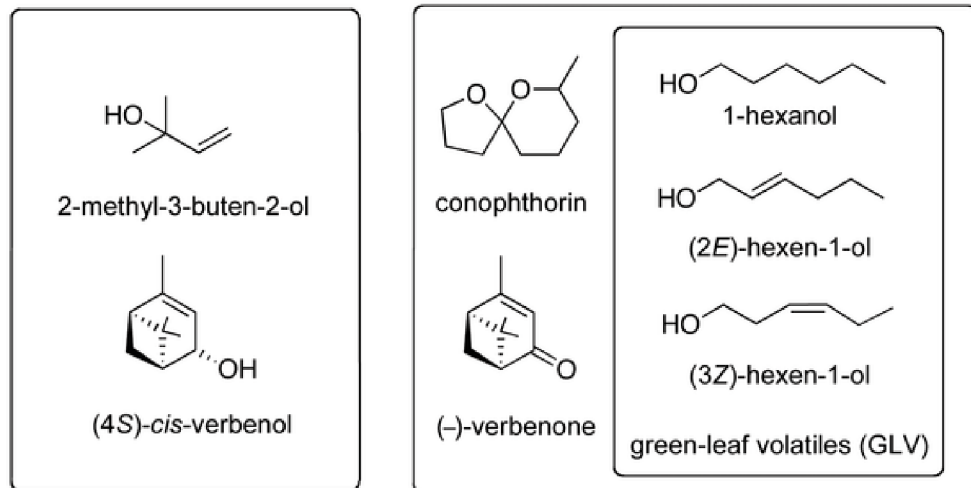
Kůrovci při napadení hostitelského stromu umí přeměňovat terpen α -pinen na produkt *cis*-verbenol. Ve střevech pak tvoří další složku agregačního feromonu a tou je 2-methyl-3-buten-2-ol (Ramakrishnan, 2022) Pokud jsou hostitelské kairomony (chemické látky uvolňované z jednoho organismu, které vyvolávají adaptačně příznivou reakci jedince jiného druhu) uvolňovány současně v kombinaci s těmito feromony, dochází k synergickému nebo aditivnímu účinku. (Zhang, 2000)

Hlavní roli při výběru cílového stromu hraje čich. Čich zprostředkovávají specifickými čichovými sensorickými neurony, které jsou soustředěny v tykadlech.

Citlivost pro feromony a pro antagisty se může lišit u jednotlivých pohlaví, například samci rodu *Ips* jsou obecně více inhibovány antagonisty než ženy. (Binyameen, 2014) α -pinen je monoterpen, který vylučují smrky a který, při přidání do feromonových pastí, zvyšuje množství odchyty brouka. Ovšem v rané fázi napadení může vysoká hodnota monoterpenů naopak snížit přitažlivost kůrovce k již vylučovaným feromonům. (Erbilgin, 2007)

Strategie útoku kůrovce je také spojená s fytopatogenními houbami z rodů *Endoconidiophora*, *Ophiostoma* a *Grosmannia*, které metabolizují chemické obranné látky stromů a blokují transport vody v bělovém dřevě. (Hlásny, 2021b) Houby spojené s kůrovcem vytváří značné množství 2-methyl-3-buten-2-olu, avšak v delším časovém horizontu. (Zhao, 2015) Dva z nejběžnějších houbových symbiontů Lýkožrouta smrkového, *Grosmannia penicillata* a *Endoconidiophora polonica* produkují velké nekrotické léze ve floému napadeného smrku ztepilého a mohou účinně metabolizovat chemickou obranu smrku, protože některé pryskyřice a fenoly obsažené se smrku jsou toxické pro různá životní stádia kůrovců. Houba *E. polonica* využívá fenolů v kůře produkovaných stromem na obranu proti kůrovci, které metabolizuje a využívá je pro svou výživu. Plísňový symbiont mohou také poskytovat výhody z nutričního hlediska pro larvy kůrovce, a to zvýšením hladin dusíku ve floému. Dále také vyčerpávají obranyschopnost stromů a brání stromům ve vytváření obrany (např. pryskyřice). Preferenci kůrovce ve výběru stromů také ovlivňuje přítomnost těchto symbiotických hub, stromy osídlené houbou jsou napadány dříve. (Tanin, 2021)

Ve směsích používaných pro odchyt *Ips typographus* jsou základními používanými látkami 2-methyl-3-buten-2-ol a *cis*-verbenol (Obr.č.2), které jsou agregačními feromony kůrovce. 2-methyl-3-buten-2-ol, je produkován zadní částí střeva samců při iniciaci útoku a přitahuje samice. (Xie, 2013)

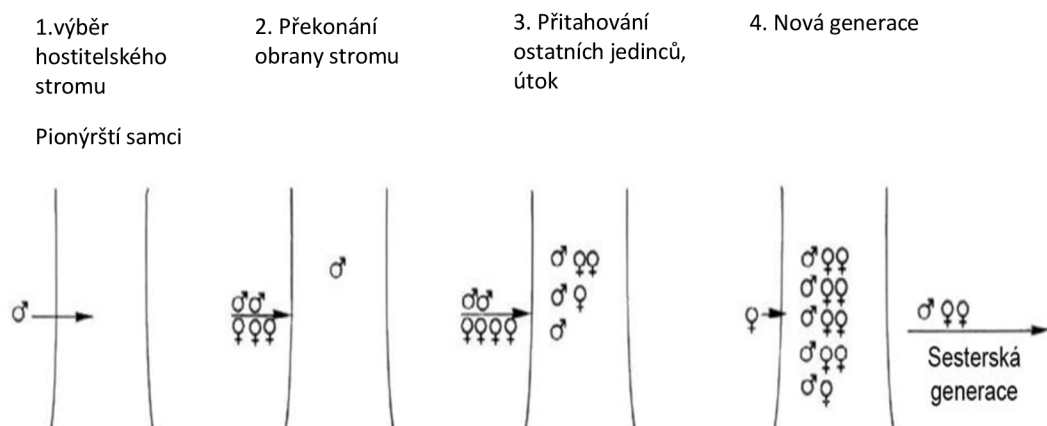


Pheromone components

Pheromone inhibitors

Obr.č.2: Vzorce atraktantů a atraktantů pro *Ips typographus* (Unelius, 2014)

Smrk ztepilý produkuje při napadení monoterpeny, které vyhledávají další jedinci *Ips typographus*. Při jejich indikaci dojde k napadení stromu velkým množstvím zástupců rodu. Při samotném útoku jsou uvolňovány kůrovcové feromony, jako 2-methyl-3-buten-2-ol, *cis*-verbenol a ipsediol. Po vyčernání stromu a konci toku pryskyřice dojde k produkci antiatraktantů – verbenonu a ipsenolu (obr.č.3).



Obr.č.3: Dynamika útoku a vylučované látky (EXTEMIT-K, 2022)

Sloučeniny hostitelského stromu Monoterpeny	Sloučeniny hostitelského stromu + agregační feromon kůrovce: 2-methyl-3-buten-2-ol (S)-cis-verbenol Ipsediol	Strom je vyčerpán Antiatraktanty: Verbenon Ipsenol
--	---	---

2-Methyl-3-buten-2-ol a *cis*-verbenol jsou monoterpenové alkoholy, nacházející se v zadní části střeva samců *Ips typographus*, které jsou produkovány při synchronizaci náletu nebo tvorbě snubní komůrky. Jsou označovány jako primární agregační feromony a pro zvýšení účinku feromonových pastí je možné použití sloučenin synergických s touto směsí. Využitá směs přitahuje více samce než samice. 2-methyl-3-buten-2-ol iniciuje přistání kůrovce, má tedy orientační funkci a jeho množství se po páření snižuje. (Ramakrishnan, 2022) Produkují ho také brouci ve střevě, nalézají se v jehličích některých druhů borovic ze Severní Ameriky i v kůře břízy či osiky a jsou schopné produkovat i některé druhy hub. (Zhao, 2015)

8 NHV – nehostitelské těkavé látky

Jsou látky, které obsahují rostliny, na které není cíleno napadení. Pro lýkožrouta se jedná především o listnaté stromy, především *Betula pendula* nebo rod *Alnus*. Nachází se například v listech nebo kůře. Kombinované signály NHV ve směsích vykazovaly jak redundanci, tak synergismus ve svých inhibičních účincích. Koexistence redundance a synergismu v negativních signálech NHV může značit například nehostitelská stanoviště či nevhodné hostitele v procesu výběru napadení či osídlení cílového druhu. Nebyly zjištěny žádné významné rozdíly v síle odpovědí podle pohlaví na NHV.

U jehličnanů (hostitelé) jsou dominantními těkavými látkami hlavně monoterpenoidy, zatímco krytosemenné stromy uvolňují relativně velké množství těkavých látek ze zelených listů (GLV). Hlavní sloučeniny řazené mezi NHV jsou kategorizovány jako alkoholy, aldehydy, aromáty, estery, ketony, pyraziny a terpenoidy. Ve vztahu strom-hmyz se pak nejčastěji vyskytují alkoholy, aldehydy a ketony $\leq C_{16}$, kyseliny a estery $\leq C_{14}$, fenylypropanoidy $< C_{12}$ a terpenoidy $\leq C_{15}$, jelikož semiochemické vonné látky, které hmyz detekuje, jsou obecně omezeny na sloučeniny s molekulovou hmotností < 250 a body varu < 340 °C. Rychlost emisí

těkavých látek je ovlivněna mnoha denními i sezónními proměnnými, včetně vlivů teploty, intenzity světla a zralosti listů.

V případě *Ips typographus* čidla v tykadlech konzistentně reagují na *trans*-konofthorin, 1-hexanol (*Z*)-3-hexenol, 3-oktanol a 1-okten-3-ol. Tyto látky indikují výskyt nehostitelských stromů, na které kůrovci nedosedají. Vnímáním těchto sloučenin může kůrovec zamezit vlétnutí na stanoviště, kde není dominantní hostitel a tedy snížit pravděpodobnost neúspěchu osídlení cílového stromu a minimalizovat predační tlak, kterému je během přeletu vystaven. (Zhang, 2004)

8.1.1 *Trans*-konofthorin

Sloučenina se vzorcem (E)-7-methyl-1,6-dioxaspiro[4.5]dekan, která se nachází v kůře listnatých stromů, ve větší koncentraci hlavně v bříze. (Unelius, 2014). Mimo *Ips typographus* vyvolal *trans*-konofthorin anténní odezvy i u pěti druhů severoamerických kůrovců, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins, *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins, *Dendroctonus rufipennis* Kirby, *Ips pini* (Say) a *Dryocoetes confusus* Swaine. Působí synergicky se směsí aktivních GLV alkoholů a verbenonu a působí jako obecný varovný zápach. (Zhang, 2004)

8.2 Těkavé látky zelených listů

V angličtině označovány zkratkou GLV – Green leaf volatiles. Jsou skupinou těkavých šesti uhlíkových alkoholů, acetátů nebo také aldehydů, produkovaných rostlinami v důsledku oxidační degradace povrchových lipidů, které ovlivňují behaviorální chování určitých hmyzích druhů. Těkavé látky rostlin mohou mít také inhibiční nebo repelentní účinky, které přerušují reakce hmyzu na feromony a přitahují predátory a parazitoidy k druhům, které napadají rostlinu po jejím poranění. Například rostlina napadená mšicemi uvolní methylsalicylát, který přiláká predátory, kteří se mšicemi živí. U mnoha druhů Coleoptera a Lepidoptera také dochází ke stimulaci uvolňování feromonů těkavými látkami rostlin.

GLV mohou také vést k synergismu. Určité druhy hmyzu reagují na pohlavní feromony uvolňované ve spojení s hostitelskou rostlinou. Při smíšení feromonů a rostlinných těkavých látek dochází k větší odezvě což může vést k pozitivnímu vlivu na chování hmyzu. Synergismus mezi rostlinnými semiochemikáliemi a feromony vede k úspěšnějšímu hledání partnera, a proto hraje důležitou roli v reprodukci.

Hostitelské sloučeniny, kromě jejich působení jako primární atraktanty, feromonové prekurzory a feromonový synergisté, mohou mít také inhibiční nebo repelentní účinek. Napadení rostliny může být způsobeno také nedostatečným repelentním účinkem. V mnoha případech těkavé sloučeniny emitované z listů v důsledku poškození hmyzem, umožňují hmyzím parazitoidům a predátorům rozlišovat mezi napadenými a nenapadenými rostlinami, a proto pomáhají lokalizovat hostitele nebo kořist.

GLV obsažené v nehostitelských rostlinách mohou působit jako signály negativního stanoviště pro kůrovce, kteří jsou specializováni na jehličnaté stromy. Pro tyto brouky je výhodnější, když jsou schopni rozpoznat a vyhnout se obecnému těkavému signálu, který běžně vysílá široká škála nehostitelských listnatých dřevin než rozpoznávat přesné druhově specifické těkavé látky pro každý nehostitelský druh. Vnímáním částečně se překrývajících směsí běžných těkavých sloučenin se mohou snadno vyhnout mnoha druhům nehostitelských dřevin. (V.P.Reddy, 2004)

Těkavými látkami GLV, kterým se *Ips typographus* přirozeně vyhýbá jsou *trans*-konophorin, 1 – okten-3-ol; 3-oktanol a 1-hexanol, které se nachází ve vyšší koncentraci v nehostitelské dřevině *Betula pendula*. Bříza je jednou z nejběžnějších příměsí ve smrkovém lese, je tedy třeba aby lýkožrout dřevinu rozeznal od cílového stromu a nedocházelo tak k pokusům o napadení nehostitelského stromu, které by mělo za následek vyčerpání či úhyn jedince. (Zhang, 2000)

8.2.1 1-okten-3-ol

Je součástí kairomonové složky (kairomony = chemické signály, které zprostředkovávají mezidruhové interakce prospěšné pro organismy, které detekují

podněty (Ayelo, 2021)), která se vyskytuje u mouchy tse-tse, u dřevokazných brouků a u mykofágního hmyzu. Dále se vyskytuje v listech a v kůře rodu *Betula* a v nižší koncentraci u *Populus tremula*. V kombinaci s 3-oktanolem jsou hlavními těkavými složkami mnoha druhů hub a plísní a také jsou součástí agregační feromonové složky u zástupců čeledi *Cucujidae*. (Zhang, 2000) 1-okten-3-ol je také produkován některými kůrovci a zjevně slouží jako antiagregační signál. (Zhang, 2004)

8.2.2 3-oktanol

Stejně jako 1-okten-3-ol se vyskytuje v listech a kůře rodu *Betula* a u *Populus tremula* a u mnoha druhů hub a plísní a také u čeledi *Cucujidae*. Kromě toho je také feromonovou složkou mandibulárních žláz u mravenců rodu *Myrmica*. (Zhang, 2000)

8.2.3 1-hexanol

Při využití jako antiatraktant lýkožrouta smrkového je možné využitím pouze 1-hexanolu nahradit dosud používanou tříložkovou směs slouženou z látek 1-hexanol, (3Z)-hexen-1-ol a (2E)-hexen-1-ol. (Unelius, 2014)

9 *Trans*-4-Thujanol

Je bi-cyklický monoterpenoidní alkohol se vzorcem $C_{10}H_{18}O$ (Obr.č.4) a molární hmotností 154,2493g/mol.

Jeho přítomnost můžeme najít ve druzích rostlin, které mají léčivý význam např. majoránka zahradní (*Origanum majorana*) a zároveň olej z ní působí jako fungicid. Hojný je výskyt také u smrku ztepilého (*Picea abies*). Je potvrzeno, že mladší stromy – do věku 40 let, obsahují podstatně větší množství *trans*-4-Thujanolu, který působí pro

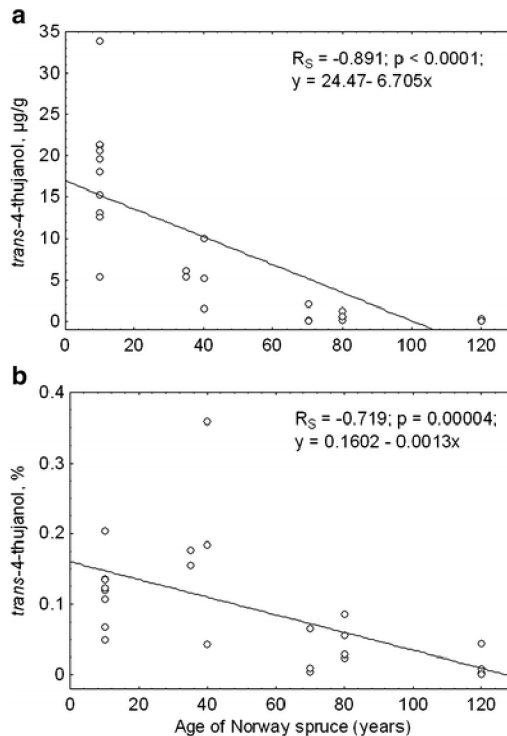


Obr.č. 4: Vzorec *trans*-4-Thujanol
(*Trans*-4-Thujanol, 2021)

lýkožrouta smrkového jako antiatraktant. U stromů starých 10 let bylo množství *trans*-4-Thujanolu $18,1 \pm 2,4 \mu\text{g/g}$, což je 3x více než u stromů starých 35-40 let ($5,6 \pm 1,4 \mu\text{g/g}$). U stromů starých 120 let je pak rozdíl větší 200krát.

Výzkum prokázal, že samice reagují už na nižší množství obsažené látky než samci, což může mít také následky při preferenci výběru napadení stromu. Pionýrský samec obsadí strom a začne uvolňovat feromony. V případě, že samice indikuje větší množství *trans*-4-Thujanolu, tak na strom nenalétává a obsazení stromu je neúspěšné. Opačný efekt je u látky 1,8-cineol, na který samice reagují méně.

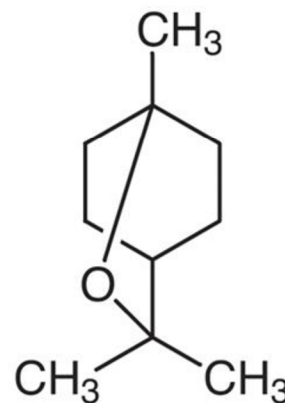
Olej z bylin, který obsahuje jmenovanou látku působí také jako fungicid, je tedy předpoklad, že tak působí i u smrku. Jelikož je při kladení vajec samicemi kůrovce třeba, aby houba pod kůrou vyživovala nakladená vajíčka, tak stromy s vyšším obsahem *trans*-4-Thujanolu nejsou pro napadení vhodné. Vzhledem k vyšší citlivosti samic, dochází k výběru stromů starších, s nižším obsahem látky, a tedy vhodnějších pro rozmnožení (Obr.č.5.). (Jirošová, 2022)



Obr.č.5: Vztah mezi stářím smrku ztepilého a koncentrací ($\mu\text{g/g}$ sušiny kůry), jakož i relativním množstvím (%), vztaženým na 13 monoterpenů *trans*-4-thujanolu (Blažytě-Čereškienė, 2016)

10 1,8-cineol

Tekutá látka se vzorcem C₁₀H₁₈O (Obr.č.6), jiným názvem označována také jako Eukalyptol. Nachází se v mnoha aromatických rostlinách, jako je rozmarýn či eukalyptol. Jedná se o těkavý monoterpen se silnými inhibičními účinky pro lýkožrouta smrkového. Látka se nachází v kůře napadených i zdravých stromů. Rozdíl je tedy v množství. Se zvyšující se mírou napadení stromu dochází ke zvýšení vylučovaného



Obr.č.6: 1,8-cineol (1,8-cineole, 2022)

množství 1,8-cineolu. Čerstvě napadený strom má až 4x vyšší množství 1,8-cineolu a poměr se s postupem napadení stále zvyšuje. Po napadení *Picea abies* kůrovcem *Ips typographus* má 1,8-cineol inhibiční účinek pro další kůrovce a ve vysokém množství značí, že došlo k úplnému vyčerpání stromu. Napadený strom tedy ztratí na atraktivitě. Ke zvýšení obsahu látky v kůře vede také infikování smrku patogenní houbou *Heterobasidion parviporum*. (Andersson, 2010) K vyššímu obsahu látky v kůře vede také úspěšné přežití útoku, kdy strom sice napaden byl, ale nebyl kolonizován. (Blažytě-Čereškienė, 2016)

11 Switch efekt

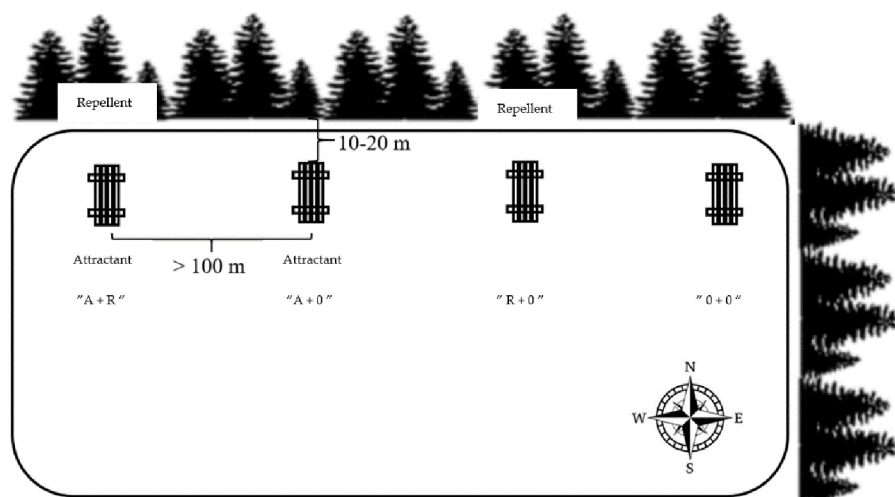
Při kalamitním stavu napadá *Ips typographus* nejenom poškozené či oslabené stromy, ale i ty zdravé. Nálet je řízen agregačními feromony, které zaměřují kolonizaci na jednotlivé stromy, které jedinci vylučují. Při napadení pak dochází i ke "switch efektu", kdy kůrovci napadnou i nenapadené stromy (příjemce) v nedalekém okolí. Útok se tedy přesune na sousední stromy a s ním i agregační ohnisko.

Při větru dochází k rozšíření agregačního feromonu i o několik desítek metrů dál. To může způsobit napadení stromů v delší vzdálenosti od původního ohniska i v nitrech porostů, které kůrovec za normální situace nevyhledává. Například samice přistávají dále od ohniska ve směru větru. Samci jakožto pohlaví iniciující útok, je třeba, aby zabránili konkurenci o zdroj floému a maximalizovali tak šanci kolonizace stromu. Hlavní roli při switch efektu hrají antiagregační feromony, které způsobí, že brouci nedosedají na vyčerpané stromy, ale na ty, které jsou vhodné k útoku. Například verbenon má prokazatelný vliv na zvýšení switch efektu. Působí primárně na samce, jelikož samice jsou méně inhibovány verbenonem. Inhibitory podporují přesun útoků z ohniska na strom příjemce, ale současně snižovat útoky a pravděpodobnost úspěšné kolonizace stromu příjemce. (SALLÉ, 2007)

Verbenon je terpen, který se přirozeně vyskytuje v rostlinách. Ve smrku ztepilém vzniká oxidací α -pinenu. Rozkladem α -pinenu, který získají kůrovci z pozřené floému při osazení stromu a z par, které vdechují z okolí při tvorbě komůrky. Samci poté přeměňují oxidací (S)-(+)- α -pinen na (S)-*cis*-verbenol nebo (R)-(+)- α -pinen na (1R,4S,5R)-(+)-*trans*-verbenol, vlivem toho, zda je prekurzor S nebo R chirality. Ze vzniklých verbenolů po určité době dochází ke vzniku (S)-(-)-verbenonu nebo (R)-(+)-verbenonu (obr.č.4.), které signalizují, že strom je již plně vyčerpan. (Bakke, 1977) Pokusy s využitím aplikace verbenonu na stromy s cílem je ochránit měly nejednoznačné výsledky. Nedostatečná účinnost mohla být způsobena složitostí procesů hledání a výběru hostitele, které zahrnují řadu dalších podmětů vlivem hostitele, nehostitelů i konkurenčních druhů hmyzu, které jsou často ignorovány. To znamená, že různorodá řada chemických podnětů a signálů může narušit hledání a/nebo selekci hostitele více než jedna semiochemická látka nebo směs látek, které napodobují jeden typ signálu, jako je právě verbenon. (Progar, 2003) Verbenon může snížit napadení ošetřených stromů až o 78%, na neošetřené však takový vliv nemá → dojde ke switch efektu. (Fettig, 2020)

12 Push pull strategie

Při této strategii dochází k plnému využití znalostí o atraktantech a antiatraktantech pro vybraný druh hmyzu. Základem je využití feromonu (pull) a látek s repelentními účinky (push), jakou jsou například NHV. Pomocí antiatraktantů ochrannou linii, nejčastěji okolo porostní stěny, do které



Obr.č.7: Využití strategie push pull. Atraktant je umístěn na kládách ve vzdálenosti 10-20m od porostu, Repelent přímo na stromech (Lindmark, 2022)

nechceme, aby se kůrovec dostal. V blízkosti porostu, na vhodném místě, umístíme lapáky či lapače s feromonovou návnadou (Obr.č.7). Útok je tedy soustředěn na plochu s feromonem a odpuzován od vybrané části porostu. Dochází tedy k ovlivnění a usměrnění náletu brouka. Je prokázána však nízká účinnost u heterogenních porostů. Nelze tedy tímto způsobem ochránit celý porost, avšak účinek pro jednotlivé stromy prokázán byl. Pro hospodaření v lesních porostech tedy není nejvhodnější metodou, své uplatnění ale může nalézt například v arboretech či parcích. (Lindmark, 2022)

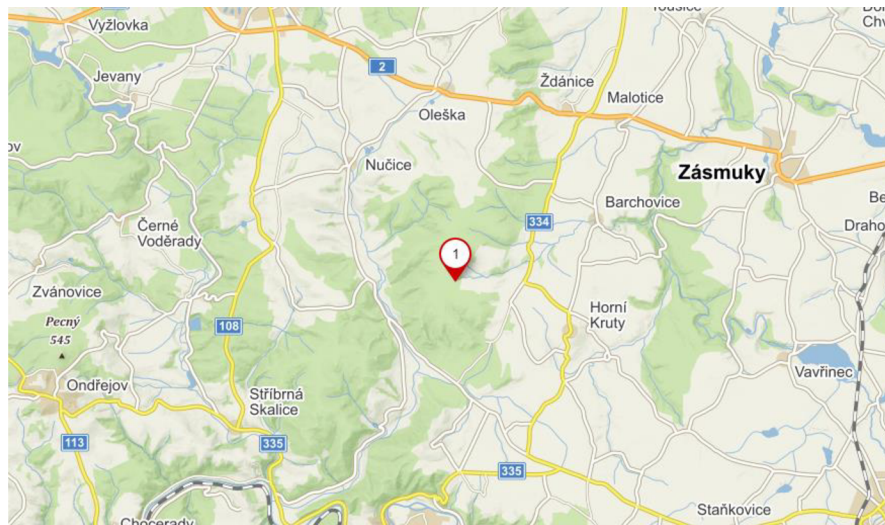
13 Dřívější vývoj výzkumu repelentních směsí

V začátcích výzkumu možností ochrany jehličnatých stromů pomocí antiatraktantů bylo využito několika způsobů. Prvním z nich, v roce 1995, byla aplikace samotného verbenonu na kůru oslabeného stromu (polomy) a později i na dominantní stromy v porostní stěně. Avšak účinek látky na zabránění napadení stromu byl žádný či zanedbatelný. Stejný výsledek byl i při pokusu vývoje

odparníku pouze pro verbenon. Mezi roky 1997-1999 bylo testováno přidání látky *trans*-konoftorin k verbenonu, kdy výrazně došlo ke snížení napadení stromů, na kterých byl odparník umístěný. Na ležících stromech však tak vysoký účinek směs neměla. K pokusům s přidáním NHV do směsi došlo mezi lety 2000 a 2001, konkrétně se jednalo o C6-alkoholy, 1- hexanol, *trans*-2-hexen-1-ol a *cis*-3-hexen-1-ol smíchané v poměru 1:1:1 a C8- alkoholy: 3-oktanol a 1-okten-3-ol v poměru 1:1. Experimenty jednoznačně ukázaly antiatraktantní účinek pro *Ips typographus*. Ochrana ležících stromů byla u všech pokusů zanedbatelná. Pozitivní výsledky ale měla ochrana stojících okrajů porostů – snížení úspěšných náletů brouka až o 60 %. (Jakus, 2003)

14 Metodika

Experiment probíhal na pokusné ploše (Mapa č.1) v lesích Školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy, nedaleko obce Krymlov, 436 m.n.m. Přesné souřadnice umístění plochy jsou 49.9305436N, 14.9205050E. Pokus byl prováděn v termínu 14.6.2021 až 28.6.2021. V tomto období přesahovaly denní teploty 20°C, což je hodnota příznivá pro vylétávání kůrovce a tedy i pro pokus. Při nižších teplotách je letová aktivita kůrovce omezena a výsledky by mohly být neprůkazné.



Mapa č.1: Umístění zkusné plochy (Mapy.cz, 2022)

Zkusnou plochou pro experiment byla holina vzniklá v předchozím roce (2020) při kůrovcové kalamitě, která byla ze všech stran, kromě jedné obklopena starými smrkovými porosty v přibližném věku 70 let. Poslední hrana byla tvořena polem. Vzniklá plocha byla široká přibližně 100 m a dosahovala délky 300 m.

Na holinu jsme umístili křížové lapače (Obr.č.8) Ekotrap od firmy Fytofarm ze Slovenské republiky, které byly postaveny ve vzdálenosti 30 metrů od porostní stěny tvořené smrkem ztepilým, ve vzdálenostech 15 metrů od sebe a zavěšeny ve výšce 1,5 metrů na dřevěných tyčích. Celkem bylo umístěno 7 lapačů.



Obr.č.8: Křížový lapač (Autor)

Směs agregačního feromonu byla složena z přípravku Pheagr Extra (SciTech s.r.o. ČR) a feromonové dávky. Směs byla do lapačů umísťována s různými kombinacemi antiatraktantů, jejichž design je popsán v tabulce číslo 1. Látky byly umísťovány na kovový drátek a zavěšeny pod střešní část lapače a upevněn páskou, aby byl minimalizován vliv počasí a nedošlo k porušení obalů.

Návnady se v lapačích měnily dle randomizačního schématu softwarově generovaného Latinského čtverce, kde jsou jednotlivé varianty označeny písmeny A až G a kdy jeden lapač byl vždy prázdný a jeden obsahoval pouze feromon, viz Tabulka č.2. Ke změně pořadí docházelo, pokud byl počet jedinců lýkožrouta smrkového v lapači vyšší nebo roven 15. K výměně docházelo v průměru za 2-5 dní. Poté došlo k rotaci a zachycení lýkožrouti byli uloženi do lahviček s ethanolem, aby došlo k jejich pozdějšímu přepočítání.

Pro pokus byl použit *trans*-konophorin, 1,8-cineol, *trans*-4-thujanol, nehostitelské těkavé látky (NHV)- hexanol, 3-oktanol, 1-okten-3-ol a feromony pro *Ips typographus* – 2-methyl-3-buten-2-ol a *cis*-verbenol. Pro každou látku byla zvolena optimální forma použití a design odparníku (Tabulka č.1).

Design odparníků pro jednotlivé látky byl vyvinut pro určenou nominální hodnotu. V laboratoři pak bylo gravimetrickou metodou zjištěn skutečný koeficient odparu.

Tabulka č.1: Přesný design použitých látek

Semiochemické látky	Rychlost uvolňování (mg/den)		Složení testovaných návnad		
	Nomi-nální	Laboratoř střední ± SD			
<i>Trans</i> Conophthorin (tC)	0,5	0,5±0,2	Microcaps® utěsněná na jednom konci zubním voskem, naplněná kapalinou 1 mm od otevřeného okraje, zavěšená vodorovně		
NHV alkoholy: hexanol (Hex), 3-oktanol (3ol), 1-okten-3-ol (Oct)	5	5,1 ± 1,6	otevřená 730 PE lahvička 9730, (Kartell, Itálie): 6 mm ID, 29 mm výška, naplněná 0,5 ml směsi alkoholů 1:1:1 v/v s antioxidanty terc-Butylhydrochinon TBHQ 0,5 % v/v, BHT - butylovaný hydroxytoluen 0,5 % obj./obj		
1,8-Cineol (Ci) (Sigma Aldrich)	1	0,7±0,1	čirá skleněná lahvička autosampleru 2ml šroubovací uzávěr s PTFE silikonovou přepážkou (Agilent USA) 2 mm otvor v přepážce		
Trans-4-thujanol (t4ol) (Sigma Aldich)	1	1,6±0,3	Celulózní houba čtvercová 2,5x5,5x0,25 cm zatavená v PE fólii, tloušťka 0,1 mm, naplněná 200 mg trans-4-thujanolu rozpuštěného v pentanu, uzavřená po odpaření pentane		
Feromon <i>Ips typographus</i> :	100				
2-Methyl-3-buten-2-ol				42,2±20	uzavřená PE lahvička (731,Kartell , Itálie) s 2mm-OD otvorem ve víku
Cis-verbenol				1,5±0,8	uzavřená PE lahvička (731,Kartell , Itálie) s 9mm-OD otvorem ve víku
Pheagr It Extra; SciTech sro (CZ)				55±15	ipsdienol + (S)-cis-verbenol 4 + 42 g/kg v rozpouštědle 2-methyl-3-buten-2-ol/ průnik přes PE membránu

Randomizační schéma bylo vytvořeno pro 7 lapačů, viz. Tabulka č.3. V každé z pastí se současně nacházel jiný druh směsi, ve které vždy jedna, či více látek chybělo, aby byl prokázán jejich společný účinek. Jedna past byla vždy prázdná, aby docházelo ke kontrole. Inhibiční vlastnost návnad s různými kombinacemi byl porovnán s návnadou, která obsahovala pouze feromon. Prázdná past byla použita pro kontrolu, zda nedochází k náhodnému padání kůrovců do nálevky lapače.

Tabulka č.2: Složení směsi v jednotlivých lapačích

	Uvolnění rychlost (mg/den)		Složení testované návnady						
			A	B	C	D	E	F	G
	Reálná rychlost odparu	Střední rychlost ± SD	All AAs ⁺⁺	-Ci ⁺⁺	-NHV-oly ⁺⁺	-tC ⁺⁺	-t4ol ⁺⁺	PherH ⁺⁺	Prázdne ⁺⁺
- Conophthorin (tC)	0,5	0,6±0,2	X	X	X	-	X	-	-
NHV alkoholy : hexanol (Hex), 3-oktanol (3ol), 1-okten-3-ol (Oct)	3	3,4±1,1	X	X	-	X	X	-	-
1,8-Cineol (Ci)	2	2x 0,9±0,4	X	-	X	X	X	-	-
<i>Trans</i> -4-thujanol (t4ol)	10	2x 9,4±5,5	X	X	X	X	-	-	-
<i>Ips typographus</i> feromon :	100								
2-Methyl- 3-buten-2-ol		62±15	X	X	X	X	X	X	-
<i>Cis</i> -verbenol		1,2 ± 0,2	X	X	X	X	X	X	-

Pheagr It Extra; SciTech sro (CZ)		55±15 †	X	X	X	X	X	X	-
-----------------------------------	--	---------	---	---	---	---	---	---	---

† rychlost uvolňování všech sloučenin

†† **All AAs:** plná směs, všechny antiatraktanty kombinované s feromony; - **Ci** ; - **NHV** - **oly** ; -**tC** ; -**t4ol** ; uvedené sloučeniny byly odečteny z plné směsi v kombinaci s feromonem, **Pher H** : feromon *Ips typographyus* , **Prázdny**: prázdné pasti

Tabulka č.3: Randomizační schéma pokusu

Poloha pasti	I	II	III	IV	V	VI	VII
Otáčení							
1	F	G	C	B	E	D	A
2	B	A	F	C	G	E	D
3	D	B	E	F	A	C	G
4	C	D	A	E	B	G	F
5	E	F	G	A	D	B	C
6	G	C	B	D	F	A	E
7	A	E	D	G	C	F	B

15 Statistické metody

Inhibiční účinky pro jednotlivé varianty, které obsahovali antiatraktantní látky k feromonu byly statisticky zpracovány a porovnány. K vypočtení rozdílů průměrných odchytů testovaných variant byly použity souhrnné směrodatné odchylky, ze kterých byla vypočítána "velikost účinku" a "Hedgesova korigovaná velikost účinku h" neboli Hedges h, která se vypočítá:

$$h = \frac{M1 - M2}{SD} \times \left(\frac{N - 3}{N - 2,25} \right) \times \sqrt{\frac{N - 2}{N}}$$

Kdy:

M1-M2 označuje rozdíl v průměrech

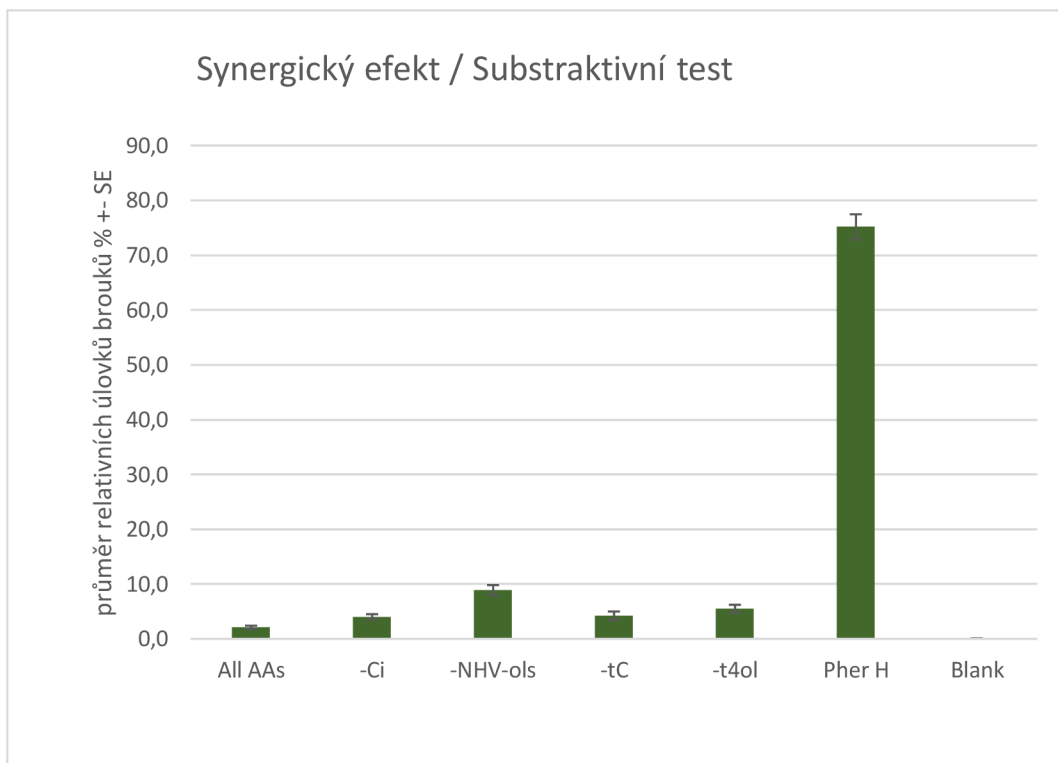
SD = sdružená a vážená standardní odchylka

Tento vzorec je využíván u malých vzorků (<50). Malý efekt, který nelze rozeznat pouhým okem je roven 0,2; střední účinek označuje hodnota 0,5 a velký efekt je nad hodnotu 0,8. (Hedges, 1981)

16 Výsledky

V pokusu na zkusné ploše patřící ŠLP Kostelec nad Černými lesy bylo v 7 opakováních, která proběhla, odchyceno celkem 8 266 jedinců *Ips typographus*. Z celkového počtu bylo $1\,102 \pm 1\,281$ (průměr \pm směrodatná odchylka SD). Vypočítání relativních úlovků bylo provedeno jako podíl ulovených brouků z konkrétní návnady k celkovému počtu všech brouků ze 7 pastí během jedné rotace.

Graf č.2: Synergický efekt – relativní úlovky *Ips typographus* k různým experimentálním úpravám



Nejvyšší odchvy byly zaznamenány v pasti se samotným feromonem, naopak nejnižší byly v lapači prázdném. Nezanedbatelné snížení odchvy lze pozorovat u všech směsí obsahující antiatraktanty, nejnižší hodnota odchvy je u směsi, ve které jsou antiatraktanty obsaženy všechny. Past, která neobsahovala nehostitelské alkoholy (3-oktanol, 1-okten-3-ol a hexanol) má vyšší počet úlovků

než ostatní směsi (kromě čistého feromonu), což dokazuje důležitost přítomnosti NHV v repelentní směsi.

Nejvyšší inhibiční účinek vůči odchyťům v pasti pouze s feromony měla směs, která obsahovala kromě feromonu i kombinaci všech antiatraktivních látek. Tedy směs označovaná "**All AAs**". Tato kombinace vykazovala odchyt nižší o 96 ±2% než pro samotný feromon, hodnota Hedges h byla -8,7.

Směs, ze které byl odebrán *trans*-4-thujanol, označovaná jako **-t4ol** měla nižší inhibiční účinek, ale ukázala se jako druhá nejúčinnější. Odchyt pro směs feromonu s antiatraktanty bez *trans*-4-thujanolu měla výsledky odchytu nižší o 88±4% oproti lapači pouze s feromonem. Hedges h se rovná 2,5.

Odchyty pro směs, která neobsahovala 3 nehostitelské alkoholy se zkratkou **-NHV-oly** dosahovaly podobné hodnoty jako směs s označením -t4ol. Odchyty pro -NHV-oly v kombinaci s feromonem byly nižší o 84±8% než pro samotný feromon. Výsledkem je, že Hedges h je rovno 2,4.

Tabulka č.4: Porovnání velikosti účinku inhibičních účinků směsí s odečtenými složkami ke směsi s plným zastoupením atraktantů

Pokus	Znamená relativní úlovek (%)	SD	Průměrný rozdíl	SD sdružené	Nekorigované velikosti účinku	ES korr · Hedges h	95 Interval spolehlivosti h		% p pro CI nezahrnující 0
							LCI	UCI	
		1.					-	-	
<u>All AAs</u>	2.3	6	-67,6	7.1	-9.5	-8.7	12.4	6.8	***
<u>Směs neobsahuje :</u>									
		1.							
- Ci	4.8	9	2.5	1.8	1.4	1.3	0,1	- 6	*
		4.							
- NHV-oly	10.8	4	8.4	3.3	2.6	2.4	0,9	- 8	**
		3.							
- tC	4.0	0	1.7	2.4	0,7	0,6	0,5	- 8	"NS"

		2.						4.	
-t4ol	8.1	5	5.7	2.1	2.7	2.5	1,0	- 0	**

Kontrolní pasti

		1				
		0,	N/A	N/A	N/A	N/A
Feromon	70,0	0				
		0,				
Prázdný	0,0	0	N/A	N/A	N/A	N/A

Nejvyšší efekt na odebrání měli pokusy -t4ol a -NHV-oly, u kterých se intervaly spolehlivosti Hedges h překrývaly. U směsi bez *trans*-4- thujanolu bylo $h=2,5$ a u směsi bez nehostitelských alkoholů byl $h=2,4$ viz. Tabulka č.4.. Ukázali se tedy jako nejdůležitější v inhibiční směsi. Přítomnost *trans*-4-thujanolu podstatně zvyšuje inhibiční účinek pro agregační feromon lýkožroutů a je tedy nezbytné ho v pastech zachovat.

17 Diskuse

Tato práce se zabývá optimalizací složení směsi, která má inhibiční účinky pro lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*). Rešeršní část čerpá ze studií českých, ale především zahraničních autorů. V této části je blíže popsána bionomie kůrovce, jeho současný stav v České republice a také přiblíženy obranná a kontrolní opatření využívaná v praxi. Dále se zde práce věnuje bližšímu popsání původů a vlastnosti jednotlivých použitých látek. Vysvětluje pojem switch efekt i strategii Push Pull, závisící na společném využití atraktantů i antiatraktantů.

V metodice je podrobně popsán pokus vykonaný na zkusné ploše na Školním lesním podniku v Kostelci nad Černými lesy. Kůrovci, byli odchyceni do pastí, které obsahovali různé kombinace antiatraktantů s feromonem, byly následně spočítány a statisticky byla vypočítána účinnost jednotlivých směsí.

Změnou oproti používaným směsím je přidání *trans*-4-thujanolu. Po identifikaci pohlaví odchycených kůrovců se zjistilo, že má silnější vliv na samice než na samce. Důvodem může být jeho přirozený výskyt v mladých smrkových porostech, který se k rozmnožování nevhodný a samice je tedy nevyhledávají. Dalším hlediskem může být vyšší citlivost samic na zmíněnou látku. V pokusu došlo také k nahrazení verbenonu, který má silné inhibiční účinky, ale problém byla jeho iniciace switch efektu. *Trans*-4-thujanol, který jej nahradil prokázal stejné inhibiční účinky, avšak bez nežádoucí vlastnosti efektu.

Z výsledků vyplývá, že ve složení jsou nepostradatelné látky z nehostitelských rostlin a *trans*-4-thujanol. Při jejich odebrání dochází k nejznatelnějšímu snížení cíleného účinku.

Bylo dokázáno, že nejvyšší účinek měla směs, která obsahovala všechny antiatraktantní látky, tedy – *trans*-4-thujanol, 1,8 cineol, NHV (hexanol, 3-oktanol a 1-okten-3-ol) a *trans*-konoftorin. Při odebrání *trans*-4-thujanolu ze směsi došlo k poklesu účinnosti antiatraktantu o v průměru 10%. Vnímavost na tuto látku byla dokázána již ve studii (Blažytě-Čereškienė, 2016), kdy byla zachycena odpověď na tykadlech kůrovce. Pro koeficienty odparu ostatních složek byla využita studie

(Schiebe, 2011). V našem pokusu se vnímavost na *trans*-4-thujanol potvrdila a byla prokázána nutnost jejího obsahu v repelentní směsi. Ostatní směsi, kde vždy určitá látka chyběla měli nižší inhibiční účinnost. Kompletní směs je tedy nejúčinnější variantou pro aplikaci do praxe. Praktické využití v lesnické provozu v hospodářském lese je však v tuto chvíli pouze teoretické. Je třeba dalšího výzkumu a vývoje pro použití pro ochranu celých porostních stěn, jako je to již možné u jiných druhů kůrovců.

18 Závěr

Primárním cílem byla optimalizace směsi. Na základě pokusu je možné říci, že nejúčinnější je směs všech antiatraktantů s důrazem na důležitost obsahu *trans*-4-thujanolu, který účinek znatelně zvyšuje. Při pokusu se 7 lapači, při kterém byla v každé pasti jiná kombinace látek byla tato směs hodnocena jako ta s nejvyšší účinností. Sekundárním cílem bylo vytvoření rešerše, která obsahuje údaje o použitých látkách.

Repelentní přípravek, který vznikne z této směsi by mohl najít uplatnění například v arboretech, parcích ale i při ochraně jednotlivě stojících stromů či u maloplošných zbytků porostů, například s vysokou genetickou hodnotou.

Navazující práce by se mohla zabývat právě konkrétními využitími v praxi a potvrzením praktického účinku na jednotlivých případech.

19 Citace

1,8-cineole, 2022. In: *MERCK* [online]. Darmstadt: Merck KGaA [cit. 2022-03-03]. Dostupné z:

https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en/product/sial/00020590?gclid=CjwKCAiAyPyQBhB6EiwAFUuaktZb7zjTNosxE9gHAsj-SY-hfTJNQNiu0XI2t4tN-_EYwPZ7m15T0BoCD28QAvD_BwE

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

AYELO, Pascal, Christian PIRK, Abdullahi YUSUF, Anaïs CHAILLEUX, Samira MOHAMED a Emilie DELETRE, 2021. Exploring the Kairomone-Based Foraging Behaviour of Natural Enemies to Enhance Biological Control: A Review. *Frontiers in Ecology and Evolution*. **9**. ISSN 2296-701X. Dostupné z: doi:10.3389/fevo.2021.641974

BAKKE, A., P. FROYEN a L. SKATTEBOL, 1977. Field response to a new pheromonal compound isolated from *Ips typographus*. *Naturwissenschaften*. **64**(2), 98-99. ISSN 0028-1042. Dostupné z: doi:10.1007/BF00437364

BINYAMEEN, Muhammad, Júlia JANKUVOVÁ, Miroslav BLAŽENEC, Rastislav JAKUŠ, Liwen SONG, Fredrik SCHLYTER, Martin ANDERSSON a Charles FOX, 2014. Co-localization of insect olfactory sensory cells improves the discrimination of closely separated odour sources. *Functional Ecology*. **28**(5), 1216-1223. ISSN 02698463. Dostupné z: doi:10.1111/1365-2435.12252

BLAŽYTĚ-ČEREŠKIENĚ, Laima, Violeta APŠEGAITĚ, Sandra RADŽIUTĚ, Raimondas MOZŪRAITIS, Vincas BŪDA a Dalė PEČIULYTĚ, 2016. Electrophysiological and behavioural responses of *Ips typographus* (L.) to trans-4-thujanol—a host tree volatile compound. *Annals of Forest Science* [online]. **73**(2), 247-256 [cit. 2022-03-01]. ISSN 1286-4560. Dostupné z: doi:10.1007/s13595-015-0494-5

ČSN 48 1000, 2004. *Ochrana lesa proti kůrovcům na smrku*. 2004. Praha 1: Český normalizační institut.

ERBILGIN, Nadir, Paal KROKENE, Torstein KVAMME a Erik CHRISTIANSEN, 2007. A host monoterpene influences *Ips typographus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) responses to its aggregation pheromone. *Agricultural and Forest Entomology*. **9**(2), 135-140. ISSN 1461-9555. Dostupné z: doi:10.1111/j.1461-9563.2007.00329.x

EXTEMIT-K, 2022. *Chemical ecology*. ČZU.

FETTIG, Christopher a A. MUNSON, 2020. Efficacy of verbenone and a blend of verbenone and nonhost volatiles for protecting lodgepole pine from mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae). *Agricultural and Forest Entomology*. **22**(4), 373-378. ISSN 1461-9555. Dostupné z: doi:10.1111/afe.12392

HEDGES, Larry V., 1981. Distribution Theory for Glass's Estimator of Effect size and Related Estimators. *Journal of Educational Statistics*. **6**(2), 107-128. ISSN 0362-9791. Dostupné z: doi:10.3102/10769986006002107

HLÁSNÝ, T., S. ZIMOVÁ, K. MERGANIČOVÁ, P. ŠTĚPÁNEK, R. MODLINGER a M. TURČÁNI, 2021a. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management*. **490**. ISSN 03781127. Dostupné z: doi:10.1016/j.foreco.2021.119075

HLÁSNÝ, Tomáš, Louis KÖNIG, Paal KROKENE et al., 2021b. Bark Beetle Outbreaks in Europe: State of Knowledge and Ways Forward for Management. *Current Forestry Reports*. **7**(3), 138-165. ISSN 2198-6436. Dostupné z: doi:10.1007/s40725-021-00142-x

HLÁSNÝ, Tomáš, Paal KROKENE, Andrew LIEBHOLD et al., 2019. Život s kůrovcem: Dopady, výhledy a řešení. *From Science to Policy*. Evropský lesnický institut, **2019**(8), 1-52. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.36333/fs08

HNATEK, Jonas, Vaclav STEJSKAL, Tomas VENDL, Radek AULICKY, Jarmila MALKOVA a Miloslav ZOUHAR, 2021. Fumigation of Insect-Infested Wooden Logs by EDN Using Two Scenarios of Plastic Tent-Tarpaulin Sealing: Wooden Logs Stacks Placed on Bottom Plastic Sheets or Directly on Underlying Soil. *Sustainability*. **13**(23). ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su132313377

CHEN, Guofa, Qing-He ZHANG, Yanjun WANG, Guang-Tian LIU, Xiaoming ZHOU, Jingfu NIU a Fredrik SCHLYTER, 2010. Catching *Ips duplicatus* (Sahlberg) (Coleoptera: Scolytidae) with pheromone-baited traps. *Pest Management Science*. **66**(2), 213-219. ISSN 1526498X. Dostupné z: doi:10.1002/ps.1867

JAKUS, R., F. SCHLYTER, Q.-H. ZHANG et al., 2003. Overview of development of an anti-attractant based technology for spruce protection against *Ips typographus*: From past failures to future success. *Journal of Pest Science*. **76**(4), 89-99. ISSN 1436-5693. Dostupné z: doi: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

- JOHANSSON, Annette, Goran BIRGERSSON a Fredrik SCHLYTER, 2019. Using synthetic semiochemicals to train canines to detect bark beetle–infested trees. *Annals of Forest Science*. **2019**(58). Dostupné z: doi:<https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s13595-019-0841-z>
- KŘÍSTEK, Jaroslav a Jaroslav URBAN, 2013. Lesnická entomologie. *Lesnická entomologie*. Vyd. 2., upr. Praha: Academia, s. 384-386. ISBN 978-80-200-2237-0.
- LINDMARK, Matilda, Erika WALLIN a Bengt-Gunnar JONSSON, 2022. Protecting forest edges using trap logs – Limited effects of associated push-pull strategies targeting *Ips typographus*. *Forest Ecology and Management*. **505**. ISSN 03781127. Dostupné z: doi:[10.1016/j.foreco.2021.119886](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119886)
- LUBOJACKÝ, Jan, Miloš KNÍŽEK a Jan LIŠKA, 2018. Symptomy napadení stromů kůrovci ve smrkových porostech. *Lesnická práce: Lesní ochranná služba*. **2018**(2018), 1-4.
- Mapy.cz* [online], 2022. Praha: seznam.cz [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.9101196&y=49.9368969&z=12>
- PROGAR, R.A., 2003. Verbenone Reduces Mountain Pine Beetle Attack in Lodgepole Pine. *Western Journal of Applied Forestry*. **18**(4), 229-232. ISSN 0885-6095. Dostupné z: doi:[10.1093/wjaf/18.4.229](https://doi.org/10.1093/wjaf/18.4.229)
- RAMAKRISHNAN, Rajarajan, Jaromír HRADECKÝ, Amit ROY et al., 2022. Metabolomics and transcriptomics of pheromone biosynthesis in an aggressive forest pest *Ips typographus*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. **140**. ISSN 09651748. Dostupné z: doi:[10.1016/j.ibmb.2021.103680](https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2021.103680)
- SALLÉ, AURÉLIEN a KENNETH F. RAFFA, 2007. Interactions among intraspecific competition, emergence patterns, and host selection behaviour in *Ips pini* (Coleoptera: Scolytinae). *Ecological Entomology*. **32**(2), 162-171. ISSN 03076946. Dostupné z: doi:[10.1111/j.1365-2311.2006.00833.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00833.x)
- SCHAEFFER, S., Manuel JIMÉNEZ-LIZÁRRAGA, Sara RODRIGUEZ-SANCHEZ, Gerardo CUELLAR-RODRÍGUEZ, Oscar AGUIRRE-CALDERÓN, Angel REYNA-GONZÁLEZ a Alan ESCOBAR, 2021. Detection of bark beetle infestation in drone imagery via thresholding cellular automata. *Journal of Applied Remote Sensing*. **15**(01). ISSN 1931-3195. Dostupné z: doi:[10.1117/1.JRS.15.016518](https://doi.org/10.1117/1.JRS.15.016518)
- SCHIEBE, C., M. BLAŽENEC, R. JAKUŠ, C. R. UNELIUS a F. SCHLYTER, 2011. Semiochemical diversity diverts bark beetle attacks from Norway spruce edges. *Journal of Applied Entomology*. **135**(10), 726-737. ISSN 09312048. Dostupné z: doi:[10.1111/j.1439-0418.2011.01624.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2011.01624.x)

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

TANIN, Sifat, Dineshkumar KANDASAMY a Paal KROKENE, 2021. Fungal Interactions and Host Tree Preferences in the Spruce Bark Beetle *Ips typographus*. *Frontiers in Microbiology*. **12**. ISSN 1664-302X. Dostupné z: doi:10.3389/fmicb.2021.695167

Těžba dřeva podle druhů dřevin a typu nahodilé těžby, 2021. In: *Český statistický úřad* [online]. Na padesátém 3268/81 100 82 Praha 10: Český statistický úřad [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/tezba-dreva-podle-druhu-drevin-a-typu-nahodile-tezby>

Trans-4-Thujanol, 2021. In: *National Institute of Standards and Technology* [online]. Gaithersburg: HEADQUARTERS [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=R208067>

UNELIUS, C., Christian SCHIEBE, Björn BOHMAN, Martin ANDERSSON, Fredrik SCHLYTER a Cesar RODRIGUEZ-SAONA, 2014. Non-Host Volatile Blend Optimization for Forest Protection against the European Spruce Bark Beetle, *Ips typographus*. *PLoS ONE*. **9**(1). ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0085381

V.P.REDDY, Gadi a Angel GUERRERO †, 2004. New Pheromones and Insect Control Strategies. *Trends in Plant Science*. **2004**(5), 493-519. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.03.009>.

VALERIA, Montano, Bertheau CORALIE, Doležal PETR, Krumböck SUSANNE, Okrouhlík JAN, Stauffer CHRISTIAN a Moodley YOSHAN, 2016. How differential management strategies affect *Ips typographus* L. dispersal. *Forest Ecology and Management*. **360**, 195-204. ISSN 03781127. Dostupné z: doi:10.1016/j.foreco.2015.10.037

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 101/1996 Sb., kterou se stanoví podrobnosti o opatřeních k ochraně lesa a vzor služebního odznaku a vzor průkazu lesní stráže, 1996. In: . Sněmovní 4, 118 26, Praha 1 - Malá Strana: Sbírka zákonů, ročník 1996, částka 22, číslo 101.

WERMELINGER, Beat, 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. ISSN 03781127. Dostupné z: doi:10.1016/j.foreco.2004.07.018

XIE, Shou-An a Shu-Jie LV, 2013. Effect of different semiochemicals blends on spruce bark beetle, *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae). *Entomological Science*. **16**(2), 179-190. ISSN 13438786. Dostupné z: doi:10.1111/j.1479-8298.2012.00555.x

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

ZAHRADNÍKOVÁ, Marie, Petr ZAHRADNÍK a Hubert PLAČEK, 2018. *Asanace skládek kůrovcového dříví technologií MERCATA* [online]. 12. Strnady: Lesnická práce, 1-20 s. [cit. 8.4.2022]. Lesnický průvodce. ISBN 978-80-7417-175-8. ISSN 0862-7657.

ZAHRADNÍK, Petr, 2004. *Ochrana smrčín proti kůrovcům*. 1.vydání. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. ISBN 80-863-8648-1.

ZHANG, Qing-He a Fredrik SCHLYTER, 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, 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

ZHAO, Tao, Karolin AXELSSON, Paal KROKENE a Anna-Karin BORG-KARLSON, 2015. Fungal Symbionts of the Spruce Bark Beetle Synthesize the Beetle Aggregation Pheromone 2-Methyl-3-buten-2-ol. *Journal of Chemical Ecology*. **41**(9), 848-852. ISSN 0098-0331. Dostupné z: doi:10.1007/s10886-015-0617-3