

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Excelentní tým pro mitigaci



EXTEMIT-K

**Ověření stability vzorků feromonu
Ips typographus různého stáří přímou
pachovou detekcí pomocí psů**

Diplomová práce

Autor: Bc. Kateřina Zimanová

Vedoucí práce: Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

Konzultant: Ing. Nicol Vošvrdová

2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Kateřina Zimanová

Lesní inženýrství

Lesní inženýrství

Název práce

Ověření stability vzorků feromonu *Ips typographus* různého stáří přímou pachovou detekcí pomocí psů.

Název anglicky

Stability verification of *Ips typographus* pheromone of different ages by direct scent detection using snifferdogs.

Cíle práce

K výcviku psů detekujících stromy napadené lýkožroutem smrkovým jsou používány tamponky napuštěné feromonem (Johansson et al. 2019). Tyto tamponky je nutné v pokročilejší fázi výcviku ponechat na vybraném stromě několik dní před vlastním hledáním, aby zmizely pachové stopy kladeče, kterými by se pes mohl orientovat (Thesen et al., 1993). Otázkou je, zda se koncentrace cílové látky, a tedy možnost identifikace psem, s časem nemění. Cílem diplomové práce je vyhodnotit identifikaci a fikační schopnost psů detekovat hlavní složku feromonu lýkožrouta smrkového 2-metyl-3-buten -2-ol v různou dobu po vyndání z pachové konzervy.

Metodika

Tampony pro pokus budou napuštěny látkou 2-metyl-3-buten -2-ol (MB), vypařováním 10 µl MB v čisté uzavíratelné skleněné nádobě po dobu 30 min. Pro simulaci různě starého vzorku budou vatové tyčinky umístěny na stojánky do místnosti se stálou teplotou 18°C, a v intervalu 1 den budou tampony odebírány, uloženy do uzavíratelných zkumavek a skladovány při maximální teplotě 0°C. Celkem bude vytvořeno 8 variant vzorků (stáří 0–7dní). Společně s cílovými vzorky budou do klimatizované místnosti umístěny i kontrolní vatové tyčinky bez přítomnosti specifického pachu, a také tyčinky obsahující minimálně 20 doplňkových látek necílových pachů, které jsou přítomny v lesním prostředí (Havlíček 2019). Pro zjištění schopnosti odlišit různě staré vzorky MB bude použita standardní olfaktorická metoda pachových řad (Johnen et al., 2017). V jedné řadě bude použito 10 pachových postů, z nichž bude jeden cílový s MB, jeden s kontrolní tyčinkou a zbývající budou klamné vzorky necílových pachů. Pro zamezení vlivu na rozhodování psa bude použita double blind method (Moser and McCulloch, 2010), tzn. během experimentu nebude žádný z osob přítomných v místnosti vědět, kde se cílový vzorek nachází. Aby bylo zjištěno, zda pes v experimentu dobře pracuje, bude v prvních 2 řadách umístěn cílový odparník 0 dnů starý, tzn. čerstvě vyndaný z pachové konzervy. Pokud pes správně detekuje tento odparník, bude puštěn dále do experimentu s odparníky 1-7 dnů starými. Pokus bude proveden s více jedinci detekčních psů.

Harmonogram:

červen až prosinec 2020 – základní výcvik psa na pachové práce a identifikace feromonu lýkožrouta smrkového

leden až duben 2021 – výcvik identifikace látek v pachové řadě

květen až prosinec 2021 – provedení pokusu

leden až duben 2022 – zpracování dat, vyhotovení práce

Doporučený rozsah práce

40-70 stran

Klíčová slova

lýkožrout smrkový, ochrana lesa, pachová detekce, feromony, výcvik psa

Doporučené zdroje informací

- Birgersson, G., Schlyter, F., Lofqvist, J., Bergstrom, G., 1984. Quantitative Variation of Pheromone Components in the Spruce Bark Beetle *Ips typographus* from different attack phases. *Journal of Chemical Ecology* 10, 1029–1055. <https://doi.org/10.1007/BF00987511>
- Havlíček, J., 2019. Detekce různých složek feromonu lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) pomocí olfaktorické schopnosti psů. Diplomová práce. ČZU v Praze. 46 s.
- Johansson, A., Birgersson, G., Schlyter, F., 2019. Using synthetic semiochemicals to train canines to detect bark beetle–infested trees. *Annals of Forest Science* 76. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0841-z>
- Moser, E., McCulloch, M., 2010. Canine scent detection of human cancers: A review of methods and accuracy. *Journal of Veterinary Behavior* 5, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2010.01.002>
- Wermelinger, B., 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – A review of recent research. *Forest Ecology and Management* 202, 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.018>
-

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

Garantující pracoviště

Excelentní tým pro mitigaci

Konzultant

Ing. Nicole Vošvrdová

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2020

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 05.04.2022

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „*Ověření stability vzorků feromonu Ips typographus různého stáří přímou pachovou detekcí pomocí psů*“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Romana Modlingera, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma že zveřejněním diplomové 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.

V..... dne.....

Podpis autora

Tímto bych velmi ráda poděkovala mému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Romanu Modlingerovi, PhD. za odborné vedení práce, ochotu, a pomoc se statistickým zpracováním dat. Dále děkuji své konzultantce Ing. Nicole Vošvrdové za pomoc s výcvikem psa, věcné připomínky při cvičení, a možnost uskutečnění pokusu. V neposlední řadě mému příteli Ing. Janu Fiedlerovi za psychickou podporu, pevné vedení, a nespočet cenných připomínek.

Abstrakt

Téma: Ověření stability vzorků feromonu *Ips typographus* různého stáří přímou pachovou detekcí pomocí psů.

Na území České republiky v laboratořích České zemědělské univerzity, byly zkoumány odlišné reakce psů na vzorky agregačního feromonu 2-metyl-3-buten-2-ol (MB) lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.). Psi, kteří byli v testování používáni, byly před samotným pokusem cvičeni na testovacích vzorcích, kde byl kladen důraz na preciznost a důslednost při vyhodnocování pomocí pachové detekce. Základem pro výcvik psa byla pozitivní motivace, která jedince vedla k dobrovolnému, nenucenému hledání cílových, předem označených vzorků. Následně byla pomocí výcviku zvyšována přesnost určování vzorků. Jakmile byla schopnost psa provádět pachovou detekci na dostatečné úrovni, byl výcvik daného jedince dokončen a bylo přistoupeno k vyhodnocování vzorků v laboratorních podmínkách, bez působení okolních vjemů a podnětů. Hodnocena byla procentuální úspěšnost identifikace agregačního feromonu různého stáří, tedy různé koncentrace. Čerstvý vzorek psi dokázali identifikovat s průměrnou přesností 95 %. Výsledky poukazují na to, že s klesající intenzitou koncentrace feromonu, klesá i úspěšnost psů v jeho identifikaci. U starších vzorků se pohybovala průměrná úspěšnost v rozmezí 50 až 70 %. Nejúspěšnější jedinec byla ve svém hledání 4letá fena belgického ovčáka Malinois. Podklady, které z tohoto výzkumu vyplývají, lze uplatnit při výběru psa pro výcvik v pachové detekci a rovněž i v lesnické praxi, v probíhající kůrovcové kalamitě. Pes dokáže, při vyhledávání počátečních ohnisek, usnadnit práci lesnickému personálu a předejít tak jejich rozšíření.

Klíčová slova: lýkožrout smrkový, ochrana lesa, pachová detekce, feromony, výcvik psa

Abstract

Topic: Stability verification of *Ips typographus* pheromone of different ages by direct scent detection using snifferdogs.

In laboratory of Czech University of Life Sciences, Czech Republic, research was conducted regarding different reactions of snifferdogs to aggregation pheromone of Bark beetle *Ips typographus* (L.), 2-methyl-3-buten-2-ol (MBO). The dogs used in research were trained with test samples beforehand, with emphasis on accuracy and consistency. The training method used was positive motivation, which led to voluntary search of the target samples marked beforehand. Then using training, accuracy of sample determination was refined. When the dogs ability to detect odor was high enough, the training was terminated and sample evaluation in laboratory conditions, without external stimulus begun. Percentage success of aggregation pheromone identification of different age of the sample (concentration) was evaluated. Fresh sample was detected with 95 % success rate. The results suggest that the identification success rate by the dogs decrease with decreasing concentration of the pheromone. The average success rate with older samples was between 50 to 70 %. The most successful individual was 4 years old female dog Malinois, Belgian shepherd. Results of this study can be used for picking the right dog for the scent detection training and in practice, current bark beetle calamity. The dog can search for initial foci and thereby make the work easier for forestry staff and prevent expansion of the Bark beetle.

Klíčová slova: bark beetle, forest protection, scent detection, pheromones, dog training

1	Úvod.....	8
2	Cíle práce.....	10
3	Literární rešerše	11
3.1	Bionomie lýkožrouta smrkového	11
3.1.1	Rozšíření	11
3.1.2	Morfologie	12
3.1.3	Vývoj.....	12
3.2	Způsoby komunikace hmyzu	14
3.2.1	Komunikace lýkožrouta smrkového	14
3.2.1.1	Akustická	14
3.2.1.2	Vizuální.....	15
3.2.1.3	Chemická	15
3.2.1.3.1	Agregační feromony	15
3.2.1.3.2	Anti-agregační feromony	16
3.3	Lesnický význam lýkožrouta smrkového	16
3.3.1	Aktuální stav	18
3.3.2	Legislativa v ochraně lesa	21
3.4	Ochrana lesa	22
3.4.1	Přirození nepřátelé lýkožrouta smrkového.....	22
3.4.2	Přirozená obrana smrku ztepilého.....	24
3.5	Pachová detekce a výcvik psů.....	25
3.5.1	Způsob výcviku psů pro pachovou detekci	25
3.5.2	Praktické použití detekčních psů.....	28
3.5.2.1	Hledání pohřešovaných osob	29
3.5.2.2	Kynologie Horské služby.....	29
3.5.2.3	Rozpoznání nemocí pomocí pachové detekce	30
3.5.2.3.1	Rakovina.....	30
3.5.2.3.2	Covid-19	30
3.5.2.4	Policejní a vojenská kynologie	30
3.5.2.5	Detekce bezobratlých.....	32
3.5.2.5.1	Štěnice	32
3.5.2.5.2	Tesařící	32
3.5.2.5.3	Termiti	32
3.5.2.5.4	Nosatec	33

3.5.2.5.5	Polník jasanový	33
3.5.2.5.6	Kůrovec	33
3.5.2.5.7	Bekyně velkohlavá	33
3.5.2.5.8	Bzučikoviti	34
4	Metodika	35
4.1	Výcvik psa.....	35
4.2	Vzorky.....	36
4.3	Samotný experiment.....	37
4.3.1	Měření	37
4.3.2	Zpracování dat.....	39
5	Výsledky	40
6	Diskuze	43
7	Závěr	467

Seznam obrázků

<i>Obr. 1. Mapa území mimořádně zasažená kůrovcem (MZe 2020).</i>	20
<i>Obr. 2. Mapa katastrálních území mimořádně zasažená kůrovcem (MZE 2021).</i>	21
<i>Obr. 3. Schéma psychologické strategie S-R.</i>	26
<i>Obr. 4. Identifikace schovaného vzorku.</i>	35
<i>Obr. 5. Zkušební pole tréninku.</i>	35
<i>Obr. 6. Příprava na trénink.</i>	35
<i>Obr. 7. Správné označení cílového vzorku.</i>	36
<i>Obr. 8. Schématický zakres o provedeném měření a umístění vzorků.</i>	38
<i>Obr. 9. Krabicový graf podílu správně identifikovaných vzorků podle jejich stáří. Horizontální linie uvnitř krabicového grafu představuje medián, konec svislé linie, pokud je přítomný, vyjadřuje 1,5 násobek interkvartilového rozpětí.</i>	41
<i>Obr. 10. Krabicový graf podílu správně identifikovaných vzorků podle subjektů. Horizontální linie uvnitř krabicového grafu představuje medián, konec svislé linie, pokud je přítomný, vyjadřuje 1,5 násobek interkvartilového rozpětí.</i>	41
<i>Obr. 11. Krabicový graf podílu správně identifikovaných vzorků podle jejich stáří v kombinaci se subjekty. Horizontální linie uvnitř krabicového grafu představuje medián, konec svislé linie, pokud je přítomný, vyjadřuje 1,5 násobek interkvartilového rozpětí.</i>	42

Seznam tabulek

<i>Tab. 1. Počet řad realizovaných jednotlivými psi pro všechna v pokusu zjišťovaná stáří vzorku.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 2. ANOVA tabulka pro model binomial GLM logit(Označil;Neoznačil) ~ Stáří vzorku * Pes.</i>	<i>40</i>

Seznam použitých zkratk a symbolů

OSNs	čichových sensorických neuronů
IR	ionotropní receptory
IT	lýkožrout smrkových (<i>Ips typographus</i>)
MB	2-metyl-3-buten-2-ol
cV	cis-verbenol
ČR	Česká republika
ZZ	Zelená zpráva
FCI	Mezinárodní kynologická federace (Fédération Cynologique Internationale)
FCI I	Plemena ovčácká, pastevecká a honácká
FCI VI	Honiči a barváři
FCI VII	Ohaři
FCI VIII	Slídiči, retrívři a vodní psi

zkratky dřevin jsou použity podle přílohy č. 4 k vyhlášce č. 84/1996 Sb., o lesním hospodářském plánování

1 Úvod

Přetrvávající klimatická změna v kombinaci s monokulturním, jednoetážovým pěstováním smrku ztepilého *Picea abies* (L.) v Evropě má za následek oslabení těchto porostů. S klesající mírou průměrných ročních srážek a rostoucí průměrnou teplotou na území České republiky, potažmo Evropy (PRETEL et. al 2011), schopnost smrku ubránit se biotickým činitelům klesá (STADELMANN et. al 2013; TEMPERLI et. al 2013; SEIDL et. al 2017, HLÁSNÝ et al 2021b). Takto stresovaní jedinci jsou náchylnější k napadení kalamitními škůdci lýkožroutem smrkovým *Ips typographus* (L.) a lýkožroutem lesklým *Pityogenes chalcographus* (L.), což má za následek vznik kůrovcových ohnisek a jejich následné rozšíření (KNÍŽEK, ZAHRADNÍK 2004; RAFA et. al 2008). L. smrkový je nejvýznamnější hospodářský škůdce ve smrkových porostech ve věku nad 60 let na území střední Evropy a Skandinávie. V první řadě napadá čerstvě vytěžené smrkové dříví, polomy a fyziologicky oslabené stojící stromy, kde je snížena schopnost zasmolení závrtu. V kalamitním stavu již nenalézá dostatek vhodného materiálu pro založení potomstva a napadá také zdravé smrky (ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007, MZE 2020; HLÁSNÝ et. al 2021a; HROSSO et. al 2021). Současná kůrovcová kalamita klade na vlastníky lesů, při jejím zvládnutí, zcela nové požadavky. Rychlé vyhledání počátečních ohnisek, flexibilitu při zpracování a důslednou asanaci. Právě rychlost vyhledání dokáže zlepšit metoda pachové detekce specializovaně vycvičených psů.

Cvičení psi se svou výraznou pachovou citlivostí a schopností lokalizace extrémně široké škály pachů, mohou být součástí metody detekce kůrovcových stromů (JOHANSSON et. al 2019). Čich je založen na schopnosti specializovaných buněk reagovat na chemické látky v prostředí vznikem nervového vzruchu (BROWNE et. al 2006). Psi dokáží označit místa s únikem plynu, místa kontaminovaná rtutí a v tomto případě i identifikovat stromy napadené l. smrkovým. Vysokou důležitostí při vyhledání napadeného stromu je stanovení cílové chemické látky, kterou vylučuje biotický činitel při napadení hostitele v tomto případě agregačního feromonu.

Výcvik psů v lovecké kynologii v kombinaci se studiem na fakultě lesnické a dřevařské a mém budoucím uplatnění v oboru mne přivedl k myšlence tato témata

spojit. Díky již probíhajícímu výzkumu v programu EXTEMIT-K a zapojení psů v detekci kůrovcových stromů, o jehož existenci informovali přední čeští i zahraniční reportéři, bylo motivující na tuto studii navázat řešením diplomové práce. Na rozdíl od předchozích studií byl výcvik psa směřován do okrajově používaného plemene loveckého psa, Dalmatina. Zvolený jedinec měl výborné předpoklady pro úspěšné provedení výcviku v rámci již splněných zkoušek poslušnosti v kombinaci s barvářskými zkouškami, jejíž základ spočívá ve správném určení pachu, intenzity a zdroje.

2 Cíle práce

K výcviku psů detekujících stromy napadené lýkožroutem smrkovým jsou používány tamponky napuštěné feromonem (JOHANSSON et al. 2019). Tyto tamponky je nutné v pokročilejší fázi výcviku ponechat na vybraném stromě několik dní před vlastním hledáním, aby zmizely pachové stopy kladeče, kterými by se pes mohl orientovat (THESEN et al. 1993). Otázkou je, zda se koncentrace cílové látky, a tedy možnost identifikace psem, s časem nemění. Cílem diplomové práce je vyhodnotit identifikační schopnost psů detekovat hlavní složku feromonu lýkožrouta smrkového 2-metyl-3-buten-2-ol v různou dobu po vyndání z pachové konzervy.

3 Literární rešerše

3.1 Bionomie lýkožrouta smrkového

Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) patří do řádu brouků *Coleoptera* (Linnaeus, 1758), podčeledi kůrovci *Scolytinae* (Latreille, 1804). Je jedním ze šesti zástupců tohoto rodu u nás (ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007). Je typickým sekundárním škůdcem, který v první řadě napadá čerstvě vytěžené dříví smrku ztepilého *Picea abies* (Linnaeus, 1881) H. Karst., polomy a vývraty, a jinak fyzicky oslabené stromy – imisemi, suchem, václavkou smrkovou *Armillaria ostoyae* (Romagnesi, 1973) Herink, či jiným biotickým nebo abiotickým činitelem. Teprve v kalamitním stavu a jeho přemnožení napadá i zdravé stromy (PFFEFER 1955; HROŠŠO et. al 2020).

Lýkožrout smrkový má v našich podmínkách v nižších polohách nejčastěji dvě generace do roka, ve vyšších polohách jednu generaci. Při příznivém, teplém průběhu počasí může mít celkově o jednu generaci více (PFFEFER 1955; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007; ZAHRADNÍK, GERÁKOVÁ 2010; KNÍŽEK, ZAHRADNÍK 2004). PRETEL et. al (2011) ve svých předpokladech uvádějí postupnou tendenci zvyšování průměrných ročních teplot o 1° v letech 2010 až 2039. Tento trend postupného oteplování, v kombinaci s periodicky se opakujícími roky se sníženým srážkovým úhrnem, výrazně pomáhá ve zvýšení početních stavů kůrovců, především l. smrkového a lýkožrouta lesklého *Pityogenes chalcographus* (Linnaeus, 1761; RAFFA et. al. 2008). V těchto obdobích může dojít k úplnému dokončení tří generací l. smrkového ve všech nadmořských výškách, které může nastat v období na přelomu srpna a září (ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007; ZAHRADNÍK, GERÁKOVÁ 2010).

3.1.1 Rozšíření

L. smrkový obývá obrovský areál rozšíření zahrnující, s výjimkou Velké Británie celou Evropu, severní Asii, zasahuje přes severní Čínu až do Japonska (ZUMR 1985; SEIDL et. al 2017; Kůrovcové info 2020). Vyjma rozpinání se z Německa, Rakouska, Česka, Švédska a Norska, se rozmohl i ve Francii, Švýcarsku, severní Itálii, Srbsku, Bosně a Hercegovině, Rumunsku, dále na

Ukrajíně, v pobaltských republikách, na severu Evropy v rozsáhlé oblasti Ruska od 55° do 63° severní šířky, po Ural a v západní i východní části Sibiře (ZUMR 1985; SKUHRAVÝ 2002). Původně horský druh můžeme dnes nalézt i v nížinných polohách a pahorkatinách, kde kopíruje výskyt smrku ztepilého v závislosti na jeho rozšíření (ZUMR 1985; SKUHRAVÝ 2002).

3.1.2 Morfologie

Dospělec je válcovitý, 4,0-5,5 mm dlouhý, černohnědý, lesklý brouk. Po celém těle má dospělec dlouhé, odstálé, řídké, žluté ochlupení. Oproti jiným zástupcům rodu *Ips* se liší především počtem zoubků na krovkách a matným leskem (PFEFFER 1955; SCHLYTER, CEDERHOLM 1981; PFEFFER 1989; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007).

Hlava je kulovitá, zepředu uťatá, v zadní části shora je schovaná pod štítem. Na hlavu nasedají dvě žlutavá, zalomená tykadla zakončená kulovitou paličkou tvořenou třemi články. Na čele mají obě pohlaví uprostřed malý hrbolek. Samička má čelo a přední okraj štítu hustěji ochlupené a středový hrbolek na čele je menší. Krovky jsou válcovité, prohlubenina v zadní zkosené části krovek je matná, jemně tečkovaná, po stranách se čtyřmi páry zoubků; horní dva jsou malé, třetí je největší, před špičkou rozšířený a čtvrtý opět malý. Mezirýží na krovkách jsou netečkovaná. Ojediné tečky se objevují pouze na stranách krovek. V zadní části krovek je zadeček zkosený (PFEFFER 1955; SCHLYTER, CEDERHOLM 1981; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007).

3.1.3 Vývoj

Lýkožrout smrkový se zpravidla vyvíjí na smrku ztepilém, výjimečně napadá i modřín opadavý *Larix decidua* (Miller, 1768) a pouze velmi vzácně také borovici lesní *Pinus sylvestris* (Linnaeus, 1758) a ostatní jehličnany (ZUMR 1985; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007).

Jarní rojení začíná v bezvětrných teplých odpoledních hodinách na přelomu dubna a května. Takto brzký nástup rojení je typický především pro oblasti nížin. V horských oblastech se může v důsledku snížených teplot opozdit až o měsíc (PFEFFER 1955). Letní rojení začíná 8–10 týdnů po jarním rojení, v závislosti na

teplotních podmínkách, což vychází na období od poloviny června do srpna (ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007; ZAHRADNÍK, GERÁKOVÁ 2010).

Jako první nalétávají na strom samečci. U stojících stromů upřednostňuje I. smrkový nálet na kmen v místě nasazení koruny (PFFEFER 1955; ZAHRADNÍK, GERÁKOVÁ 2010). Teprve po obsazení střední části kmene obsazují noví jedinci kmen dále směrem k patě a vrcholu. Vršky pod 10 cm tloušťky většinou nenapadá (příp. je ve slabším materiálu limitován výskytem jiných druhů kůrovců jako například I. lesklým). V oddenkové části zůstává bez napadení pouze nejspodnější část u paty kmene (PFFEFER 1955; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007). Takové stromy ztrácejí zelenou barvu jehličí až na jaře, spodní část kmene bývá postupně osidlována dalším dřevokazným hmyzem jako je lýkohub obecný *Hylurgops palliatus* (Gyllenhal, 1813), kůrovec pařezový *Dryocoetes autographus* (Ratzeburg, 1837), lýkožrout modřínový *Orthomicus laricis* (Fabricius, 1792) a dřevokaz čárkovaný *Xyloterus lineatus* (Olivier, 1759; PFFEFER 1955; BYRS 2004).

Po náletu se samečci I. smrkového provrtají pod kůru, a vytvoří místo pro spáření se samičkou, tzv. snubní komůrku. V každé komůrce se sameček opakovaně páří s 1 až 3 samičkami. Oplodněná samička poté hlodá matečnou chodbu, na jejíž boky, do zářezů klade vajíčka. Vzhledem jsou oválná, lesklá, bílá, v průměru 0,6–1,0 mm dlouhá. Během svého života samička naklade 20–100 vajíček, v průměru je možno počítat 60 vajíček na samičku. (PFFEFER 1955; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007).

Po 2–3 týdnech doprovází základní rojení tzv. sesterské rojení. Nastává v důsledku vnitrodruhové konkurence o lýko. Část samic může ještě před naklazením vajíček opustit plně obsazený strom a založit novou matečnou chodbu v nových hostitelských stromech (MARTÍNEK 1956). K přerojení samic dochází minimálně u 10 % z populace. Tyto samice dále pokračují v žíru, a bez další kopulace kladou vajíčka (PFFEFER 1955; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007; ZAHRADNÍK, GERÁKOVÁ 2010).

Lýkožrout smrkový potřebuje pro vývin larev vždy silnější vrstvu lýka. Vyskytují se proto spíše na vzrostlých stromech tzn., že se nejčastěji vyskytuje

ve smrkových porostech starších 60 let, a to především v osluněných porostních stěnách (nejčastěji jižní až jihozápadní expozice; PFEFFER 1955; ZUMR 1985; NIHOUL, NEF 1992; JAKUŠ et. al 2003). Vývoj trvá od 6 do 18 dní v závislosti na průměrné denní teplotě. Larva je beznohá, rohlíčkovitě zahnutá, bělavá, s hnědavou silně chitinizovanou hlavou. Čerstvě vylíhlá larva je necelé 2 mm dlouhá. V posledním třetím instaru je 5–7 mm dlouhá. Po vylíhnutí vytváří pod kůrou chodby kolmo na matečnou chodbu, dlouhé až 6 cm. Hlavní období výskytu larev je od května do srpna (PFEFFER 1955; ZUMR 1985; PFEFFER 1989 ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007). Vývoj larev trvá v závislosti na teplotě 7–50 dní ((PFEFFER 1955; ZUMR 1985; PFEFFER 1989; ZAHRADNÍK, GERÁKOVÁ 2010).

Kukla je 5-6 mm dlouhá, bílá, volného typu (jsou na ní patrné všechny budoucí vnější orgány), na konci zadečku se dvěma krátkými trny. Hlavní období, kdy se dá nalézt je přelom června a července, a od poloviny srpna do konce září (PFEFFER 1955; ZUMR 1985; PFEFFER 1989; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007; ZAHRADNÍK, GERÁKOVÁ 2010).

Od konce září, s klesajícími průměrnými denními teplotami, se zastavuje vývoj kukleného stádia a dospělce. Část dospělců přezimuje mimo kůrovcové aktivní strom v hrabance, a to hlavně v případech, kdy dojde k odloupení borky a jejímu opadu ze stojícího stromu. Není to však více než polovina celkové populace (HRASOVEC et. al 2011). Přezimující larvy v teplotách nad 7 °C postupně dokončují svůj vývoj až do stádia imága (ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007).

3.2 Způsoby komunikace hmyzu

3.2.1 Komunikace lýkožrouta smrkového

3.2.1.1 Akustická

Lýkožrout smrkový využívá různé typy akustických signálů, které slouží k rozličným účelům. Nejčastěji je využívána k vzájemné komunikaci mezi samcem a samicemi v požerku. Díky této komunikaci dochází k uspořádání matečných chodeb a rozložení vajíček (RUDINSKY 1979).

Ably mohly samice takto komunikovat slouží jim k tomu jeden z determinačních znaků – gula. Jsou to hřebínkovité útvary na hrudi. Samec má na

místě guly jen drobné prohlubně. Toto ústrojí je tak silné, že samice dokáže komunikovat i s dalšími brouky v jiných požercích (RUDINSKY 1979; SKUHRAVÝ 2002).

3.2.1.2 Vizuální

Zrak lýkožroutů hraje roli při přistávání na stromu. Kvůli malému počtu omatidií (100–240) mají lýkožrouti zrak relativně slabý, ale realizovaných pokusech se chytilo více brouků do pastí s feromonem, umístěných vedle siluety stromu, než do pastí umístěných do volného prostoru (BYERS 2004).

3.2.1.3 Chemická

Chemická komunikace je u hmyzu základním orientačním smyslem. Díky dostatečně vyvinutému čichovému aparátu mohou rozlišit různé chemické sloučeniny i při nízké koncentraci. Chemická komunikace probíhá pomocí směsí těkavých látek a hostitelských monoterpenů. Aby hmyz věděl směr, kterým se vydat, detekuje molekuly pachu pomocí citlivých a specifických čichových senzoričkových neuronů (OSNs). U hmyzu jsou OSNs seskupeny do čichových senzil umístěných hlavně na tykadlech (BINYAMEEN et al. 2014; MORI 2005). Čichová senzila kůrovce je přítomna ve třech oblastech (nebo pásmech) na tykadle (ANDERSSON 2012). Tam jsou ligandované iontové kanály, které zprostředkovávají chemickou komunikaci mezi neurony v synapsích. Nedávno byla navržena alternativní podrodina iGluR, ionotropní receptory (IR) pro detekci těkavých chemických látek v čichových řasínách (ABUIN et al. 2011).

3.2.1.3.1 Agregáčn  feromony

Samec l. smrkového pou žív a při kolonizaci agregáční feromon, kter m l k a ostatní l. smrkov  ze svého okolí např. když samec přistane na vhodn m hostiteli, d v a signál ostatním jedincům jeho druhu, že zde mohou také přistát. Tento feromon také r d  p aření kůrovců (PHILLIPS, CROTEAU 1999; SKUHRAVÝ 2002). Feromon vzniká, při hlouben  snubní komůrky, kdy se do zaživacího traktu samečka dost v a lýko. Za iv n  brouka je opatřeno mikroorganismy, které pom h j  při tr ven  celulozy, hemicelulozy, a současn  tak přeměňují α -pinen obsažený v l ku na složit j i sloučeniny. Množství a složení α -pinen v zadním střevě jednotlivých samců l. smrkového koreluje s množstvím a složen m

monoterpenů v okolním smrkovém floému (BIRGERSSON et. al 1988). Primární složky agregačního feromonu jsou metylbutenol (2-metyl-3-buten-2-ol; MB) a *cis*-verbenol (cV). *Cis*-verbenol je pro brouky atraktivní na velké vzdálenosti, zatímco metylbutenol působí pouze v nejbližším okolí a zajišťuje tak lokalizaci správného stromu (ANDERSSON 2011; JAKUŠ et al. 2015). Po přiletu samic následuje pozvolný pokles agregačního feromonu v důsledku spáření samce se samicemi, kdy klesá jeho produkce agregačního feromonu (BIRGERSSON et. al 1988; ANDERSSON 2012). Množství a kvalita feromonů vysílaných samcem se v průběhu času mění. Největší množství vyprodukuje samci s již vytvořenou snubní komůrkou, kteří se však ještě nespáří se samicí. Po spáření se množství začíná snižovat, až téměř na úroveň, kdy přiletěl na strom (BIRGERSSON et al. 1984; BIRGERSSON et al. 1988).

Smíšením feromonů *cis*-verbenol a metylbutenol vzniká fenolová sloučenina ipsdienol (2-methyl-6-methylen-2,7-octadien-4-ol), kterou se zvyšuje atraktivita především samic (SCHLYTER et. al 1987a).

3.2.1.3.2 Anti-agregační feromony

Z verbenolu vznikají poté (S)-(-)-verbenon a R^{\oplus} --(+)-verbenon, které slouží jako antiagregační feromony modulující hustotu napadení smrku škůdcem, a odpuzují další brouky, kteří by případně také chtěli kolonizovat na hostiteli. Produkují ho samice, a tím regulují hustotu osídlení stromu (PHILLIPS, CROTEAU 1999). Nálet brouků musí zachovat prostor pro vývoj larev a je takto zastaven. Současně vzniká ipsenol (2-methyl-6-methylen-7-octan-4-ol), který má také antiagregační účinky (SCHLYTER 1987b).

3.3 Lesnický význam lýkožrouta smrkového

Některé druhy kůrovců jsou známy jako škůdci hospodářských dřevin a kulturních rostlin. Při jejich žíru vznikají fyziologická poškození pletiv a napadené stromy rychle odumírají. V lesním hospodářství se mnohé druhy kůrovců přemnoží při polomech způsobených větrem, sněhem, nebo námrazou, oslabených václavkou smrkovou, požáry, imisemi, a pak napadají i zdravé stromy v okolních porostech. Z vážných lesních škůdců na smrku náleží mezi nejdůležitější l. smrkový (ZUMR 1985; PFEFFER 1989).

Význam tohoto škůdce je spojen se zdravotním stavem porostů, s dostupným materiálem pro jeho namnožení, a s průběhem počasí (ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007). Škoda na stromu vzniká během vývinu kůrovce nebo během úživného žíru. Vlastní larvální vývoj nemusí rostlinu nijak poškozovat (PFEFFER 1989).

Poškozování porostů způsobuje odumírání některých orgánů stromů, následně celého stromu. Dochází také k technickému poškození dřevní hmoty, kdy spolu s l. smrkovým napadají spodní části stromů dřevokazní brouci, jejichž zásah do dřevní hmoty je v průmyslu nežádoucí. Největší škody vznikají při napadení jehličnaté kulatiny dřevokazem čárkovaným *Trypodendron lineatum* (Olivier, 1795; PFEFFER 1955; ZUMR 1985). Mnohdy se připojuje i nepřímé poškození dřeva, kdy v okolí požerků kůrovců se rozrůstá podhoubí (PFEFFER 1955).

Lýkožrout smrkový patří ve střední Evropě mezi nejvýznamnější hospodářské škůdce. Tuto skutečnost je možné dokladovat objemem napadeného dříví, který v osmdesátých a devadesátých letech dosáhl celkové výše téměř 14 mil. m³ (ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007). Znamé jsou rozsáhlé kalamity v posledních třech desetiletích ze Skandinávie, pobaltských zemí, v Bělorusku, které dosáhly desítek mil. m³. Jen ve střední Evropě dosáhl objem napadeného dříví za období 2006–2009 přibližně 43 mil. m³. Zahradník, Geráková (2010) ve svém článku také publikují objem napadeného dříví za posledních 30 let zhruba 29 mil. m³. Na tomto faktu lze pozorovat prudký nárůst, který dokazují data ze Zelené zprávy (MZe 2020), kdy jen v roce 2020 těžba nahodilá – hmyzová dosahovala 26,24 mil. m³.

Při poškození celých porostů dochází k ekonomickým škodám v lesním hospodářství. Při napadení neodkorněného dřeva, vývrátů, polomů nastává určité znehodnocení povrchu běle a dřevo po vývoji lýkožrouta ztrácí na jakosti. Dále nastávají škody houbou *Ceratocystis pilifera* (Fries, 1952) C. Moreau, kterou lýkožrout přenáší, a která způsobuje zamodránění dřeva, což také snižuje jakost (ZUMR 1985). Při napadení porostů smrku ztepilého, které ještě nedosáhly věku obmýtí, vzniká škoda z předčasného smýcení porostu. Jedná se o ztrátu na hmotě, která se rovná rozdílu mezi objemem a hodnotou stromů odumřelých a objemem

a hodnotou, kterou by tyto porosty měly, kdyby dosáhly v době obmýtí (ZUMR 1985; MZE 1999).

Na rozdíl od těžeb úmyslných, stanovených ročním etátem, jsou těžby nahodilé náročné na nerovnoměrné rozložení pracovních sil. V probíhající kalamitě je nutné soustředit dostatečný počet kapacit do období rojení lýkožrouta smrkového a včasně asanovat nově vzniklá kůrovcová ohniska. V důsledku přehlcení trhu kůrovcovým dřívím jsou tyto těžby často neekonomické. Vlastníkům zároveň vznikají náklady s následnou pěstební činností při zalesňování vzniklých holin (ZUMR 1985).

3.3.1 Aktuální stav

Za současnou situaci mohou především klimatické změny (TEMPERLI et. al 2013; SEIDL et. al 2017; Lesnická práce 2019a). Sucho a horko podpořilo hromadné rozmnožování a následnou aktivitu hmyzích škůdců lesa, především l. smrkového a l. lesklého. Tato situace byla ještě více umocněna následky větrných kalamit na území české republiky Kyrill 2007 – 6 mil. m³; Emma 2008 – 2 mil. m³; Herwart 2017 – 1,7 mil. m³; Eberhard 2019 – 1,0 mil. m³; Sabine 2020 – 0,95 mil. m³ (PRETEL et. al 2011; CEJCHAN 2019; ŘEZÁČ 2019; HLÁSNÝ et. al 2021a, HLÁSNÝ et. al 2021b, HROSSO et. al 2021).

Kůrovcová kalamita není jen záležitost České republiky. V létě roku 2019 stouply počty kůrovcového dříví ve státních lesích Saská natolik, že vláda pověřila a vyškolila jak lesní dělníky, tak armádu pro vyznačování stromů a jejich následné zpracování (CEJCHAN et al. 2019). Svobodný stát Sasko je ze všech spolkových zemí kůrovcem postižen nejvíce. Mimo dlouhodobého sucha a lesních požárů byly saské lesy oslabeny také orkánem Friederike z ledna roku 2018. V některých částech země jsou následky stále zřetelné (CEJCHAN 2019). Ležící dřevo z polomů a vývrátů představuje lákavé podmínky pro kůrovce (HROSSO et. al 2021). Důležitým úkolem bylo především dostat co nejvíce kůrovcového dříví z lesa. Účinnou pomoc si lesní správy slibují nejen od posílení lidských zdrojů, ale také od těžké techniky, kterou sami nemají k dispozici – odklízečí tanky a obrněná vozidla, řetězové dopravní prostředky, nouzové zdroje proudu aj. Zájem o podporu armády

mají podle aktuálních zpráv v tisku i Braniborsko, Meklenbursko-Přední Pomořansko, Bavorsko a Severní Porýní-Vestfálsko (CEJCHAN 2019).

Díky dlouhodobému suchu, které působí oslabení stromů, a připravuje vhodné podmínky pro množení kůrovce, se i v Německu potýkají s velkými škodami způsobenými právě l. smrkovým. Za rok 2018 a 2019 se v Německu vytěžilo přes 100 mil. m³. Napadené stromy se co nejrychleji pokácí a z lesa odstraní. Méně častěji využívanou metodou bývá odkorňování, a zcela výjimečně jsou nasazeny insekticidy. Ve středoněmeckém pohoří Harz již byly po vzoru Saska povoláni vojáci na pomoc v boji proti kůrovci (LESNICKÁ PRÁCE 2019a).

Jako další stát sousedící s ČR, který má vážný problém s kůrovcem je Rakousko. V roce 2018 zde bylo vytěženo 4,3 mil. m³ kůrovcového dřeva. Nejsilněji zasaženými regiony jsou oblasti Waldviertel na severozápadě Dolních Rakous a Mühlviertel na severu Horních Rakous. Oba tyto regiony sousedí s Českou republikou, a v roce 2018 na ně připadaly dvě třetiny škod způsobené v Rakousku kůrovcem (LESNICKÁ PRÁCE 2019a).

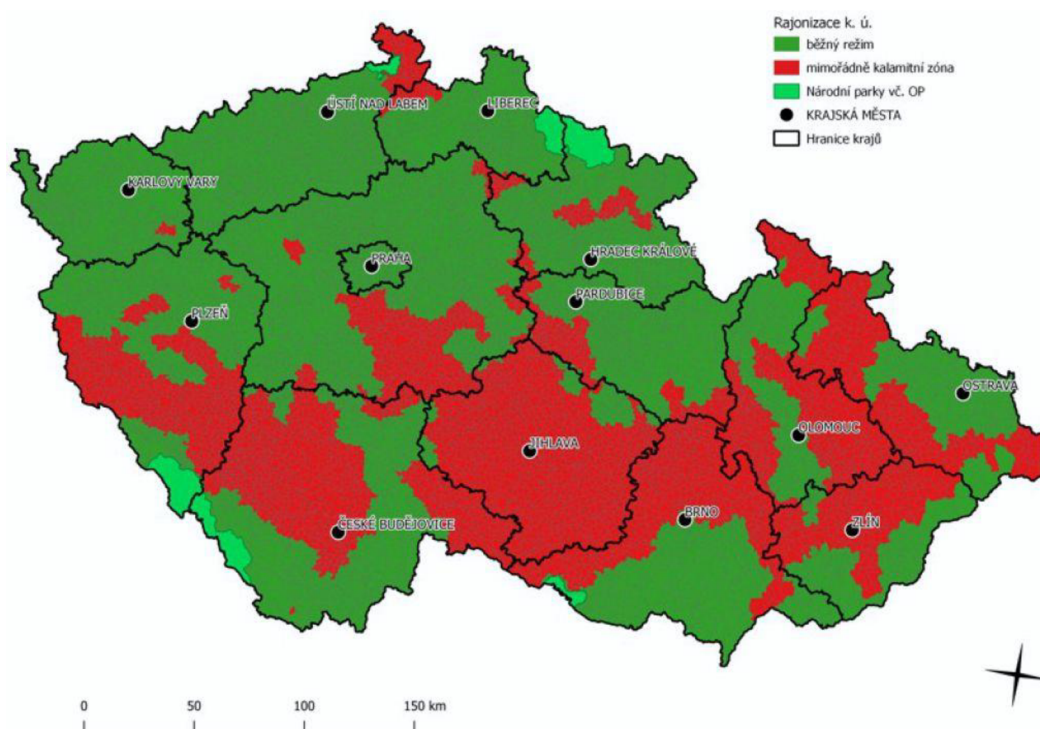
Kůrovcová kalamita zasáhla většinu krajů České republiky a škody se počítají na miliardy. Trh se dřevem se zhroutil a majitelé lesů se potýkají s nedostatkem finančních prostředků k budoucí obnově lesa. Stav českých lesů patří k nejhorším v Evropě. Z dostupných informací od Asociace lesnických a dřevozpracujících podniků (ALDP) lze vyvodit, že stupeň postižení je v přilehlých státech přibližně stejný, nicméně k problému přistupují zodpovědněji než Česká republika (CEJCHAN 2019).

Podle evidence Českého statistického úřadu dosáhly nahodilé (hmyzové) těžby v roce 2020 svého dosavadního vrcholu s objemem 26,24 mil. m³. Nárůst je ve srovnání s rokem 2018 zhruba dvojnásobný, jedná se tedy o výrazné zhoršení situace (MZe 2020). V letošním roce (2022) se dovršení kůrovcové kalamity odhaduje na Vysočině společně s kulminací na severu Čech v Ústeckém a Libereckém kraji. Státní podnik LČR, s.p. odhaduje letošní pokles těžby o na úroveň 90 % loňského objemu, tedy zhruba 10,2 mil. m³ (LESY ČR 2022).

V roce 2020 proběhla většinou pouze dvě rojení, která byla značně rozvleklá. Zcela výjimečně proběhlo v nejnižších a teplých polohách i slabé třetí rojení.

Sucho a kůrovec mají dopad na krajinu, les i vlastníky, přesto se dají považovat také za příležitost pro urychlení změny druhové skladby ve prospěch lesů smíšených s vyšším zastoupením listnatých dřevin, přírodě bližších a odolnějších proti výkyvům počasí a změnám klimatu. Podíl listnatých dřevin při obnově lesů v ČR se neustále zvyšuje (MZe 2020).

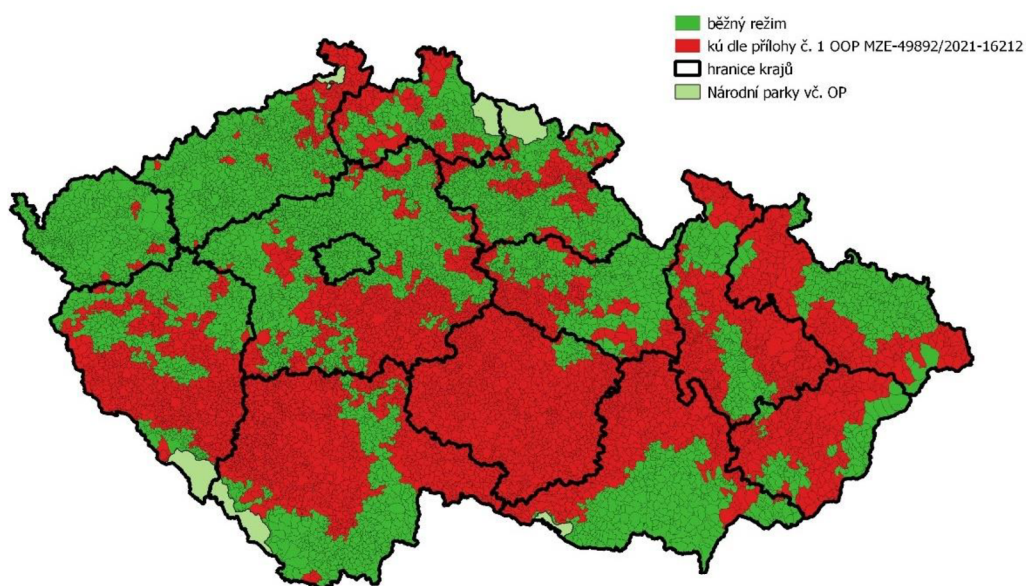
V dubnu roku 2020 Ministerstvo zemědělství znovu rozšířilo počet území mimořádně zasažených kůrovcem v České republice viz. Obr. 1. Nejvíce se kůrovec rozšířil na Českomoravské vrchovině, v jihozápadních a středních Čechách a také ve Šluknovském výběžku.



Obr. 1. Mapa území mimořádně zasažená kůrovcem (MZe 2020).

Červené zóny značí lokality, kde lesníci mohou omezit obranná opatření, aby mohli včas zpracovat a asanovat napadené dříví. Zároveň můžou zalesnění kalamitních holin odložit až na pět let od jejich vzniku a také uvolnění pravidel přenosu sadebního materiálu při zalesňování (MZE 2020).

Dne 14. 9. 2021 nabylo účinnosti OOP č.j. MZE-49892/2021-16212, kterým se mění a doplňuje opatření OOP č. j. 17110/2020-MZE-16212 ze dne 2. 4. 2020. Ministerstvo zemědělství opět rozšířilo území červené zóny lesů viz. obr. 2.



Obr. 2. Mapa katastrálních území mimořádně zasažená kůrovcem (MZE 2021).

Červená zóna se novým opatřením obecné povahy rozšiřuje o další katastrální území, což je 50 % z jejich celkového počtu v České republice. V lesích zařazených do červené zóny mají vlastníci lesů možnost zcela ustoupit od používání obranných opatření, jako jsou např. lapače nebo lapáky, aby mohli včas zpracovat a asanovat napadené dříví. V případě kalamitních holin nad dva hektary můžou ponechat nezalesněné pruhy v šířce až pět metrů v rozestupech minimálně 20 metrů od sebe. Případně mohou ponechat nezalesněné pruhy v šířce až pět metrů na rozhraní lesa a nelesní půdy pro vytvoření porostního pláště (MZE 2021).

3.3.2 Legislativa v ochraně lesa

Při monitoringu sledovaného hmyzu určujeme základní, zvýšený a kalamitní stav. Základní stav je takový početní stav l. smrkového, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku nedosáhl 1 m^3 na 5 ha SM porostů, a nedošlo k vytvoření výskytu ohnisek lýkožrouta. Zvýšený stav je, když objem kůrovcového dříví z předchozího roku se pohybuje v průměru mezi $1\text{--}5 \text{ m}^3$ na 5 ha SM porostů, a došlo k vytvoření ohnisek výskytu. Kalamitní stav nastává, když je překročen objem 5 m^3 kůrovcového dříví na 5 ha, a došlo k rozsáhlým poškozením lesních porostů (MZE 1996).

3.4 Ochrana lesa

3.4.1 Přirození nepřátelé lýkožrouta smrkového

Ačkoli se v dnešní době proti kůrovci bojuje především pomocí chemie, a stoupá obliba vytváření otrávených lapáků v porostu, je dobré myslet na přirozené nepřátele tohoto škůdce (WERMELINGER et. al 2012). Otrávené lapáky je vhodné používat zejména na nepřístupných lokalitách, kde by nebylo možné pravidelně kontrolovat lapáky či feromonové lapače. Z ekologického pohledu je tato metoda nejméně vhodná, neboť při ní dochází k významnému hubení predátorů kůrovců, a znamená větší zátěž pro životní prostředí (KNÍŽEK, ZAHRADNÍK 2004; GRODZKI, SKRZECZ 2017). Rovněž dochází k vyššímu úhynu predátorů a dalšího necílového hmyzu (ZAHRADNÍK, GERÁKOVÁ 2010).

K přirozeným nepřátelům lýkožrouta smrkového, kteří se vyskytují v přírodě, a mohou se podílet na snižování jeho populační hustoty, patří dravci (predátoři), kteří napadají hlavně larvy a kukly lýkožroutů, a cizopasnici (parazitoidi), kteří se vyvíjejí buď uvnitř těla larev, kulek i dospělých brouků l. smrkového (endoparazitoidi), nebo mimo tělo hostitele (ektoparazitoidi; SKUHRAVÝ 2002). Řada dravých druhů hmyzu loví lýkožrouta smrkového pouze příležitostně, je-li zrovna dostupnou potravou (např. po odkornění jsou larvy masově likvidovány vosami, mravenci a různými druhy střevlíků; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007).

Mezi nejvýznamnější a současně nejznámější specializované predátory l. smrkového patří brouk pestrokrovečník mravenčí *Thanasimus formicarius* (Linnaeus, 1758; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007) a méně často pestrokrovečník *Thanasimus femoralis* (Zetterstedt, 1828; SKUHRAVÝ 2002).

Pestrokrovečník mravenčí se za teplých dnů při rojení l. smrkového pohybuje po kmenech napadených stromů a živí se dospělými brouky. Cílové stromy dokáže vyhledat díky své schopnosti detekce agregačního feromonu l. smrkového (HULCR et. al 2006; HOFSTETTER et. al 2012). Zde následně klade vajíčka, z nichž se líhnou larvy a ty žijí v chodbách lýkožrouta a živí se jeho larvami a kuklami. Jsou červenožluté, a tedy velmi nápadné. Má jednu generaci v roce. Dospělí brouci se líhnou na jaře (SKUHRAVÝ 2022).

Druhý významný predátor je kornatec dlouhý *Nemozoma elongatum* (Linnaeus, 1761). V chodbách kůrovců žijí jak larvy, tak i dospělí brouci (SKUHRAVÝ 2022).

Nemalý význam mají i některé entomopatogenní houby, např. různé druhy rodu *Beauveria*: *Beauveria bassiana* (Balsamo.-Criv., 1912) Vuillemin, *Beauveria densa* (Link, 1914) F. Picard, či jiné mikroorganismy, např. hromadinka *Gregarina typographi* (Fuchs, 1915) nebo haplosporidie *Haplosporidium typographi* (Weiser, 1954; ZAHRADNÍK, KNÍŽEK 2007).

Bohužel tyto metody, které jsou občas propagovány, současně i s využitím antiferomonů nebo odkorněním stromů nastojato, nejsou buď dostatečně odzkoušeny, a jejich účinnost je více než diskutabilní, nebo jsou ekonomicky velmi nákladné, časově náročné a také ne zcela účinné (KNÍŽEK, ZAHRADNÍK 2004).

3.4.2 Přírozená obrana smrku ztepilého

L. smrkový obsazuje pro svůj vývoj určitou část dřeviny do níž přednostně nalétává, a kde probíhá jeho další vývoj. První nálet na místa staršího, silnějšího kmene, kde suché větve koruny přecházejí ve větve zelené (ZUMR 1985).

Jehličnaté stromy si vytvořily velmi účinný obranný systém, díky kterému odpuzují nebo zabíjí podkorní hmyz, a brání se jak fyziologicky, tak chemicky (BONELLO et al. 2006). Kůrovci na jehličnanech lokalizují své hostitele pomocí čichových signálů, jako jsou feromony, chemické sloučeniny hostitele a sloučeniny jiné než hostitelské (BYERS 2004). Stejně jako většina hmyzu, lokalizují l. smrkovi své hostitele hlavně pomocí impulzů aktivovaných čichovými receptory (ANDERSSON 2012). Hmyz obvykle napadá oslabené stromy produkující nižší koncentrace monoterpenů než stromy zdravé (DVOŘÁKOVÁ et al. 2011). Pro úspěšné napadení kůrovcem je rozhodující vnímavost a obranné mechanismy hostitelských stromů. Riziko napadení souvisí především s expozicí porostu, jeho stářím a zásobou stromů živinami a vodním režimem. Dynamika ohnisek závisí na množství hmyzu, náchylnosti stromů, povětrnostních podmínkách a lidských opatřeních (WERMELINGER 2004). Každý strom disponuje vlastními fyziologickými mechanismy chránící před kolonizací stromu herbivory a patogeny. Hlavní složkou obrany jehličnanů je pryskyřice, její součástí jsou látky nazývané terpeny a terpenoidy. Jedná se o složitou směs monoterpenů, seskviterpenů a diterpenických kyselin. Při poškození kanálek vytéká pryskyřice pod tlakem do rány, dezinfikuje ji, a po odpaření monoterpenů a seskviterpenů tvrdne, a tvoří izolační bariéru. Monoterpeny jsou sekundární metabolity, látky strukturně odvozené od izoprenu. Skládají se ze dvou izoprenových jednotek, vyskytují se ve všech organismech. Dokáží je syntetizovat pouze rostliny, bakterie a některé druhy hmyzu. Je popsáno více než tisíc druhů monoterpenů (LANGE 2000).

Princip obrany smrku spočívá ve spuštění obranných mechanismů u stromů v době napadení. Pryskyřice obsahuje mimo jiné toxické látky jako je pinosylvin, ale i další monoterpenické látky jako alpha-pinene, které jsou pro herbivory toxické, a proto zvyšují obranyschopnost stromu. Je zřejmé, že kůrovci využívají jak atraktanty, tak antiatraktanty, které vycházejí

z hostitelských i nehostitelských rostlin, jakož i z jedinců podkorního hmyzu, kůrovce nevyjímaje (KRAJNC 2009).

3.5 Pachová detekce a výcvik psů

Psi domácí *Canis lupus familiaris* (Linnaeus, 1758) jsou spolehlivé a účinné detektory pachů. Cvičení psi mohou výrazně snížit množství času stráveného hledáním cílového předmětu, chemikálie nebo živočišného druhu. Psi, kteří jsou často citlivější, spolehlivější a praktičtější než elektronická zařízení na detekci pachů, lze také snadno a levně vycvičit a uvést do činnosti (WILLIAMS, JOHNSTON 2002; BROWNE et al. 2006). Existují však velké rozdíly ve výkonu (JAMIESON et al. 2017).

Když pracujeme se psy, hodí se nezapomínat na to, co pes zdědil od vlka. Volně žijící tvor se primárně snaží přežít, tedy sehnat co nejvíc bílkovin a zároveň na jejich sehnání nevykládat zbytečné množství energie. Nejdříve se orientuje pomocí zraku. Hned na to spoléhá na svůj dobře vyvinutý sluch, a když tyto smyly nevedou ke kýženému výsledku, zapojí čich. První, co v takovém případě udělá, je větření proti větru, pokud ani to nevyjde přiloží čumák k zemi. Toto je dobré si pamatovat, pokud chceme, aby pes řešil úlohu nosem. Nesmí se dát vyřešit zrakem, ani sluchem (KVAM 2012). Proto je dobré psu výcvikem tyto jeho přirozené vlastnosti vštěpovat a usměrňovat je (EIS 2018).

Nikdy by se neměl začínat trénink, aniž by se stanovil plán (KVAM 2012).

3.5.1 Způsob výcviku psů pro pachovou detekci

Metody výcviku nejčastěji vychází z teorie učení, která se nazývá behaviorismus. Bývá také nazýván S-R psychologie (obr. 3), kde je S podnět, stimul či spouštěč, a R reakce, odpověď. Organismus je zde studován ke zjištění, jak odpovídá na stimuly, a jak je možné stimuly nebo reakce měnit prostřednictvím promyšlené edukace (podmiňování). Reakce na stimul může být reflektivní, kdy je fyziologicky daná odpověď organismu na dráždění receptorů nervové soustavy (JANČAŘIKOVÁ 2019). Například u výcviku mladých služebních psů pro pachovou detekci je využívána chuťově dráždivá metoda. Ta spočívá v prokrmování psa za dobře odvedenou práci. Výhodou je rychlost a efektivnost, s jakou je možné psa

naučit novým věcem. Nevýhodou je, když se pes nasytí, ztrácí zájem o odměnu, a tím se zmenšuje jeho snaha pracovat (HARTL 1979). Druhým způsobem může být přirozená neboli operativní reakce, která je spontánním projevem chování. Třetím



Obr. 3. Schéma psychologické strategie S-R.

způsobem může být nepřirozená neboli instrumentální reakce. Ta je často nově naučená, je to vytvořené nové chování, které vede k cíli (JANČAŘÍKOVÁ 2019).

Důležité při pachových pracích je, aby se pes cítil komfortně, a nebyl na něj vyvíjen zbytečný tlak. Pes pak může ztratit chuť k práci, nebo odmítne dál pracovat. Proto je pro výcvik detekčních psů využívána pozitivní metoda výcviku (KVAM 2012).

V dnešní době je pozitivní metoda mezi psovody stále oblíbenější. Také na základě dlouhodobých pozorování se ukazuje, že výcvik pozitivní metodou působí blahodárně na intelekt cvičených zvířat. Zvířata, i v pokročilém věku, jsou stále hravá, zvědavá, a se svým cvičitelem mají mimořádný vztah, oproti jiným metodám výcviku (JANČAŘÍKOVÁ 2019). Při výcviku pozitivní metodou pes s psovodem pracuje, protože si to přeje. Při tomto tréninku dochází k metodě pozitivního posílení, kdy za správně splněný úkol, pes dostane něco, co má rád. Naopak v okamžiku, kdy pes nevykoná cvik správně nebo vůbec, je využit negativní trest a pes ztrácí, co má rád (KVAM 2012).

Pro trénink je nejdůležitější, aby předpoklady splňoval psovod, ne pes. Psovod musí mít především trpělivost, musí být dostatečně systematický, a hlavně cílevědomý. U psa, pokud není nemocný, pokud nemá zranění, které ho omezuje, můžeme vždy dosáhnout výsledku. Ovšem musíme počítat s různou kvalitou výsledku a rychlostí, jakou jsme výsledku dosáhli, protože každý pes je originál, a je odlišný na základě plemene, věku, či fyzických možností (KVAM 2012, EIS

2018). Pokud začínáme s výcvikem již od štěněte je důležité začít postupně podle jeho chápání. Nejdříve se učí hygieně psa, po té poslušnost, u loveckých psů přinášení, a pak teprve hledání. Z počátku můžeme učit psa stopovat svého pána, vracení se po stopě pro zapomenuté předměty, až k vyhledávání různě umístěných předmětů v okolí (KROUTIL 1949).

Nejdůležitější je psovi vysvětlit, jaký pach ho má zajímat. Toho můžeme docílit metodou imprintingu, tedy vtiskávání pachu (DOSTÁLOVÁ 2018). Ukázalo se, že jsou psi schopni učit se ve věku pouhých 9 dnů. Někteří trenéři detekčních psů zavádějí cílové pachy budoucím psům pro hledání narkotik, kteří jsou pouze 10 dnů staří, ačkoli 9 až 10 týdnů je pravděpodobně častější (ENSMINGER 2012). Také Eis (2018) potvrzuje, že je nejvhodnější začít s výcvikem od štěněte. I přes to nemůžeme očekávat, že se postupuje vřed bez překážek. Musí se počítat s tím, že se čas od času tým (psovod a pes) ocitnou na mrtvém bodě (KVAM 2012). Vzorek pachu, který chceme od psa vyhledávat položíme před odloženého psa na malou vzdálenost a vrátíme se k němu. Vypouštěcím povelům psa uvolníme ve směru ke vzorku. Hned jak pes přičichne ke vzorku či předmětu psa odměníme. Postupně se prodlužuje vzdálenost. Odměňujeme co nejbližší vzorku, ale ne tak, abychom se ho dotýkali (DOSTÁLOVÁ 2018). Psi se učí asociací. To znamená, že spojí to, co se děje s něčím jiným. Např. hodně psů dokáže rozeznat jakou bundu si psovod obléká na venčení, a kterou do práce, podobně si dokáží spojit vyhledávání předmětu s odměnou (KVAM 2012).

V roce 1907 německý psycholog Oskar Pfungts provedl experiment s koněm a trenérem. Všiml si, že koně nedokáží provést myšlenkové úkoly, a pouze sledují reakce cvičitele (když se zeptá třeba kolik je 2+2, kůň zaklepe kopytem 4x a přestane). Všichni diváci si myslí, že kun umí počítat. Ukázalo se, že kůň pouze velmi pečlivě pozoroval cvičitele; DE SIO, MARAZIA 2014). Toto vešlo do dějin jakožto Clever Hans principle (princip chytrého Honzy). U výcviku psů se pes zaměřuje nejen na psovoda, ale i na okolní prostředí. Psovod, který připravil cele cvičení se stane důležitým zdrojem informací, stejně tak se jimi stanou i přihlízející. Jakmile se skupina přihlízejících ztiší, a přestane se hýbat, je to pro psa znamení, že je blízko cíle (MOSER, MCCULLOCH 2010; PRINS 2018).

Cílem je mít kvalitní označení, které nemůže být falešné. Mít psa vycvičeného dostatečně na to, aby dokázal odlišit cílový pach a nepravé pachové stopy. Pracovat při výcviku s dvojitým zaslepením (double blind) je první důležitý krok k žádaným výsledkům. To znamená, že psovod neví, kde je cíl, zároveň trenér, který dělal přípravu, není přítomen, a přihlízející nic netuší, takže nemohou podvědomě prozradit psovi více informací. Začít cvičení dvojitého zaslepení může být vcelku stresující. Stresující, protože psovod nemá ponětí, kde je cíl ukryt, a netuší kolik ho je. Tato nervozita přímo ovlivňuje výkon jakéhokoliv psa, který sleduje psovoda, který mu již nedává žádné informace o skrýši. Toto a nervozita psovoda znamená, že se pes necítí tak sebevědomě a může chybovat, proto je důležité, aby byl psovod v klidu a dobrém psychickém rozpoložení (MOSER, MCCULLOCH 2010; PRINS 2018).

Pro neustálou ochotu psa pracovat je důležité, aby měl dostatek motivace provádět, co si přeje psovod. Správné motivace se dosáhne tím, že se pes bude odměňovat správně, ve správném množství a ve správný okamžik. Každý pes vnímá pochvalu jinak, a je na psovodovi, aby vybral správně. Také je dobré rozlišovat odměny za výkon očekávaný a běžný, a odměny za nečekaný výkon, či při vypracování těžší práce (KVAM 2012).

Při tréninku je dobré si pamatovat, že není vhodné cviky opakovat pořád dokola. Nejlepší je opakovat jeden cvik pětkrát, a pak dát přestávku. Pokud pes výkon nesplní ani na popáté dobře, i tak musí ze cvičení odcházet spokojený, tedy pochválený, aby chtěl v dalším kole opět pracovat (KVAM 2012). Zejména u delšího hledání se nesmí zapomínat na pravidelné pauzy a napájení psa (DOSTÁLOVÁ 2018).

3.5.2 Praktické použití detekčních psů

„Jediné hranice toho, k čemu lze psí nos použít, jsou jenom v našich hlavách“

- Anne Lill Kvam norská kynoložka a spisovatelka 2012

U psů, kteří budou cvičeni pro záchranu lidí je důležité začít již od štěněte. Utužuje se vztah s psovodem, vytváří se pozitivní vztah k lidem, učí se pracovat mezi psy, komunikovat s nimi, a také s nimi vycházet. Již od mladého psa se také rozvíjí práce s nosem. Pachové práce začínají na pachových hlavolamech, později sledují stopy, hledají a přinášejí předměty. Pomocí motivace se přirozená dovednost

hledání tvaruje a usměrňuje. Záchranářští psi se učí hledat lidský pach a ignorovat pachy jiné (jiné psy, potraviny, divoká zvířata apod.) Takový pes umí najít pohřešovanou osobu a upozornit na ni. Kvůli své ochotě ke spolupráci se na záchranářský výcvik hodí ovčáčí psi, ohaři, nejvíce border kolie (JANČAŘÍKOVÁ 2019).

3.5.2.1 Hledání pohřešovaných osob

V České republice má záchranářská kynologie dlouholetou tradici. Cvičením psů pro pátrání po pohřešovaných osobách se zabývá od 50. let minulého století mnoho kynologických sdružení. Záchranářští psi jsou využíváni při pátrání na ploše, v lavinách, v sutinách po zřícení budov či sklepů, nebo při lokalizaci utonulých (JANČAŘÍKOVÁ 2019).

Z praktického hlediska jsou velmi často využíváni psovodi při pátracích akcích v terénu, kdy se vyhledávají pohřešované osoby. HZS může povolat jako využitelné síly a prostředky kynology. Povolání psi jsou buď majetkem PČR nebo IZS. Současně musí mít psi atest MV se specializací k plošnému vyhledávání osob (HZS 2010).

Atestem se myslí kvalifikační požadavky na záchranářského psovoda se psem předurčeného k nasazení v rámci záchranných prací. Jsou vydávány za účelem garance odborné, fyzické a zdravotní připravenosti psovoda se psem, které lze na základě dohod o spolupráci v rámci integrovaného záchranného systému využít k zásahu při sutinovém vyhledávání osob ve zřícených budovách, k plošnému vyhledávání při pátrání po pohřešovaných osobách a k zapojování do mezinárodních záchranných operací. Pes i psovod skládají odbornou, fyzickou a zdravotní připravenost (HZS 2003).

Od roku 2015 se také projednává zařazení nové metody Mantrailig mezi IZS (HZS 2013).

3.5.2.2 Kynologie Horské služby

Tato část kynologie je samostatným odvětvím, při kterém se využívají odborně vycvičení psi, kteří vyhrabávají či vyhledávají oběti z lavin, sutin budov, hornin. Lavinoví psi jsou součástí HS od roku 1966, kdy byli poprvé využiti Zlínskou fakultou logistiky a krizového řízení v Krkonoších. Později se začali

využívat také v Jeseníkách, Jizerských a Orlických horách, na Šumavě a v Beskydech (KOLÁŘ 2016).

3.5.2.3 Rozpoznání nemocí pomocí pachové detekce

3.5.2.3.1 Rakovina

Včasné odhalení rakoviny, přestože je pro účinnost léčby nezbytné, může být obtížné dosáhnout a některé testy představují další zdravotní rizika. Jsou zapotřebí nové, neinvazivní metody detekce s vyšší citlivostí a specificitou. Časné úspěchy s detekcí psího pachu naznačují, že chemická analýza vydechovaného dechu může být platnou metodou pro detekci rakoviny. Testy využívající vydechovaný dech ukázaly lepší senzitivitu a specificitu než u moči (citlivost 88 % při použití vydechovaného dechu a 22 % při použití moči; MOSER, MCCULLOCH 2010).

3.5.2.3.2 Covid-19

Pro přerušování infekčních pandemií COVID-19 řetězců klíčová včasná identifikace jedinců infikovaných SARS-CoV-2, ideálně v reálném čase. Těžké organické sloučeniny produkované při respiračních infekcích mohou způsobit specifické otisky pachů, které mohou trénovaní psi detekovat s vysokou mírou přesnosti. Psi byli schopni rozlišit mezi vzorky infikovaných (pozitivních) a neinfikovaných (negativních) jedinců s průměrnou diagnostickou senzitivitou 82,63 %. Trénovaní detekční psi mohou identifikovat vzorky respiračního sekretu od hospitalizovaných a klinicky nemocných jedinců infikovaných SARS-CoV-2 rozlišováním mezi vzorky od pacientů infikovaných SARS-CoV-2 a negativními kontrolami (JENDRNY et al. 2020).

3.5.2.4 Policejní a vojenská kynologie

Policejní a vojenské kynologické funkce lze rozdělit do čtyř obecných kategorií: (1) sledování, a identifikace; (2) zadržení podezřelého a kontrola davu; (3) detekce; (4) záchrana a ochrana. S moderními postupy sestavování pachu je identifikace pachů stále více oddělena od funkcí sledování, ale povinnosti se někdy překrývají ve stejném vyšetřování se stejným psem, přesto se režimy výcviku značně liší. Detekční funkce jsou zdaleka nejrozsáhlejší kategorií, a to jak z hlediska široké škály detekovaných pachů, tak i počtu psů a psůdů vykonávajících tento typ práce. To zahrnuje psy vycvičené k detekci narkotik, výbušnin a akcelerantů, stejně jak psy hledající kadavery (ENSMINGER 2012).

V počátku vyhledávání narkotik psem z roku 1973 psůvod vypověděl, že pes dosáhl 90% přesnosti v detekční škole v San Antoniu (CALIFORNIA COURT OF APPEAL 1973). Při hledání na letišti v Los Angeles (následovaném zatčením) byl pes vycvičený k detekci přítomnosti kokainu, heroinu nebo marihuany, losangeleskou policií ohodnocen jako 100% účinný, protože při 705 případech indikoval přítomnost drog u všech (HERBERT et al. 1981).

Další důležitou součástí služební kynologie, je hledání lidských ostatků. Je potřebná především pro forenzní šetření. Psi jsou cvičeni, aby našli lidský pach v rozkladu a upozornili své psůvody na jeho polohu, a pomáhají k hledání a objevování lidských mrtvol, částí těla nebo tělních tekutin. Na rozdíl od jiných stopovacích psů, kteří lokalizují specifickou vůni na zemi, nebo na předmětu, jsou tyto psi cvičeni, aby detekovali genetický pach ve vzduchu. Dokonce jsou vycvičeni tak, aby upozornili pouze na pach rozkládajícího se lidského těla nikoli na jiné rozkládající se organismy. Psi dokáží upozornit na těla, která ještě nepodléhají rozkladu, ale také i na rozkládající se těla, na kosterní pozůstatky nebo dokonce na půdu kontaminovanou lidskými rozkládajícími se tekutinami. Kvůli citlivosti čichu psů lze za určitých okolností detekovat i zasypaná těla, nebo těla mrtvá po dobu 20 a více let. Podobně lze někdy identifikovat předměty, které se dostaly do kontaktu s mrtvými těly (REBMANN et al. 2000).

Samozřejmostí je detekce narkotik a výbušnin se psy na hraničních přechodech, letištích a dalších podobných místech. Detekční práce je stále častější i v nepolicejní práci, například k odhalování nelegálních zemědělských dovozů na hranicích (ENSMINGER 2012). V České republice se touto problematikou zabývá Výcvikové zařízení služební kynologie pod záštitou Celní správy. Psi vycvičeni k pachové detekci, jsou schopni vyhledat jak organickou, tak anorganickou látku. např. tabák, cigarety, zbraně, alkohol, peníze, výbušniny, drogy, ohrožené druhy CITES. V roce 2005 uzavřela Celní správa ČR se Světovou celní organizací (WCO) přiznání statusu Regionálního výcvikového střediska WCO pro Evropu (celnisprava.cz). Česká kynoložka Hana Böhme založila výcvikové středisko pro odhalování klů, šupin, srsti, ale také střelného prachu nebo nábojnic pro africké Kongo. Cvičení psi, plemene Belgický ovčák Malinois, odhalují pašeráky cenných

trofejí i ohrožených zvířat a likvidují tak pytláky, ale i sítě pašeráků, které jsou velmi dobře organizované (BÖHME 2019).

3.5.2.5 Detekce bezobratlých

3.5.2.5.1 Štěnice

Detekce napadení štěnice nízké *Cimex lectularius* (LINNAEUS, 1758), je nezbytná pro včasnou intervenci, potvrzení eradikace zamoření a omezení šíření štěnic. Navzdory důležitosti detekce existuje jen málo účinných nástrojů a metod pro detekci nízkého počtu štěnic. V posledních letech byli cvičeni psi jako nástroj pro detekci štěnic. Neexistují však žádná data prokazující spolehlivost trénovaných psů v přirozených podmínkách štěnice. Ve třech samostatných experimentech byla průměrná míra detekce 44 %. Tyto údaje naznačují, že je zapotřebí více výzkumu k pochopení faktorů ovlivňujících přesnost psích týmů pro detekci štěnic v přirozeně zamořených bytech (COOPER et al. 2014).

3.5.2.5.2 Tesaříci

Dohled nad tesaříkem *Anoplophora glabripennis* (MOTSCHULSKY, 1953) v současnosti závisí na vizuální kontrole. Od roku 2009 je jako jedna doplňková metoda výcvik psů a jejich využívání k detekci *A. glabripennis*. Byla provedena studie, se dvěma sadami experimentů. V první sérii byl pachový materiál *A. glabripennis* (potrava, živá larva nebo napadené dřevo plus živá larva) umístěn do dutých stavebních bloků neviditelných pro psy a psovody. Experimenty měly celkovou senzitivitu 85–93 %. Druhá série testovala realističtější, ale i standardizované situace: tráva a hobliny *A. glabripennis* byly ukryty v přízemní vegetaci u paty mladých topolů. Na plantáži, v trubkách ve výšce 1,8 m, na starých topolech a ve štěrbinách. Tyto experimenty měly celkovou senzitivitu 75–88 % (HOYER-TOMICZEK, HOCH 2016).

3.5.2.5.3 Termiti

Byly provedeny laboratorní pokusy s cílem vyhodnotit schopnost biglů detekovat termity ve dřevě. Psi správně identifikovali 81 % termita *Reticulitermes kology* BANKS (BANS & SNYDER, 1920). Biglové si nejlépe vedli se vzorky obsahující 50 a více termitů. Ani jedna detekční metoda nebyla spolehlivá s kontrolními vzorky nebo s kontrolními vzorky nebo se vzorky s nízkým počtem termitů (LEWIS 1997).

3.5.2.5.4 Nosatec

Dva psi plemene zlatý retrívr byli vycvičeni, aby detekovali pach slizu, který je vyzařován ze stromů napadených nosatcem *Rhynchophorus ferrugineus* (OLIVIER, 1790). Po vpuštění na plantáž datlových palem se zaznamenaným vyšším výskytem psi našli infikované stromy, které dříve nebyly detekovány. Při vyhledávání návnad uměle umístěných v několika stromech, měli psi 100 % úspěšnost. Možnost použití psů pro včasnou detekci napadení nosatcem by mohla přispět k lepšímu řízení RPW na plantážích datlových palem (NAKASH et. al 2000).

3.5.2.5.5 Polník Jasanový

Včasné odhalení napadení polníkem jasanovým *Agrilus planipennis* (Fairmaire, 1888) je extrémně obtížné; proto je žádoucí vyvinout další metody. Byla provedena první testovací série pro vyhodnocení přesnosti detekce pěti vycvičených psů k detekci polníka. Tato počáteční studie ukazuje, že trénovaní psi jsou schopni detekovat vůni ze zdrojů, jako jsou larvy v kůře/dřevě. Předběžná zjištění však ukazují potenciál metody zejména pro kontrolu dřeva nebo rostlin na vstupních místech (HOYER-TOMICZEK, HOCH 2016).

3.5.2.5.6 Kůrovec

Detekční psi se rychle naučili reagovat na syntetické kůrovcové feromonové složky se známými chemickými útržky, což umožňuje trénink vyhledávání v zimě v laboratoři i v terénu. Psi vycvičení na syntetiku detekovali přirozeně napadené stromy v létě na vzdálenost >100 m (měřeno podle GPS obojků). Detekční psi, vycvičení k rozpoznání čtyř různých syntetických feromonových sloučenin v zimním období, dokázali následující léto odhalit přirozeně zamořené, lidem neznámé smrky. Dvojice psů dokázaly odhalit napadený smrk od prvních hodin napadení brouky až po několik týdnů po prvním napadení, dlouho před odbarvením koruny. Díky schopnosti psa pokrýt větší plochu a detekovat zamoření čichem na mnohem větší vzdálenost než lidé, jsou týmy pes a člověk efektivnější než týmy složené pouze z lidí (JOHANSON et al. 2019).

3.5.2.5.7 Bekyně velkohlavá

Tři němečtí ovčáci byli vycvičeni, aby lokalizovali vajíčka bekyně bělohlavé *Lymatria dispar* (Linnaeus, 1758). Byla zaznamenána detekce vajíček až do 2 m

od psů, což naznačuje, že tato technika by mohla být použita pro karanténní kontrolu vozidel nebo pro detekci podezření na napadení *L. dispar*. Tato studie je prvním zaznamenaným použitím psů k detekci hmyzu (WALLNER, ELLIS 1976).

3.5.2.5.8 Bzučkovití

Samec německého drátosrstého ohaře byl vycvičen k vyhledávání a lokalizaci *Cochliomyia hominivorax* (Coquerel, 1858). Po 5 měsících výcviku byl pes schopen detekovat zvířata napadená *C. hominivorax*. Po 3 měsících dalšího výcviku mohl pes odhalit kukly *C. hominivorax*. U výcvikových figurín měl pes úspěšnost 94,7 %, u infikovaných zvířat 99,7 % úspěšnost. Použití detektorových psů

v karanténních stanicích by mohlo vést ke zvýšení účinnosti, ekonomickým úsporám a snížení možnosti opětovného zavlečení červů do eradikovaných oblastí (WELCH 1990).

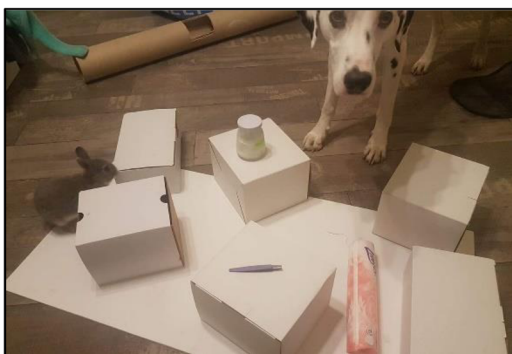
4 Metodika

4.1 Výchov psa

Pro experiment byl vybrán sedmiletý samec plemene Dalmatin (dále jen Eliot), FCI VI. – honiči a barváři. Pes prošel výcvikem poslušnosti s úspěšným složením několika zkoušek, zároveň absolvoval zkoušky barvářské z lovecké kynologie. Na základě těchto faktů byl vhodným subjektem pro provedení experimentu.

K pokusu byl vybrán dalmatin z důvodu mých předchozích dobrých zkušeností s tímto psem. Nevýhodou u těchto psů je však složitější ovladatelnost, proto nejsou k těmto pracím primárně využíváni.

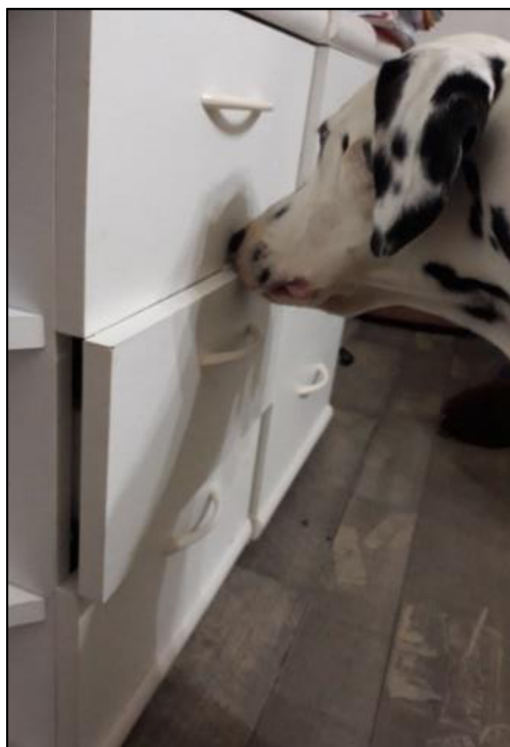
Eliot se nejdříve musel seznámit s cílovým vzorkem feromonu IT. Byl mu předkládán nejdříve jen izolovaný vzorek, současně s pochvalou a odměnou. Vzorek byl náhodně schováván v tréninkových prostorech (viz Obr. 4–6), tak aby ho subjekt neviděl a musel ho najít pouze po čichu. Jakmile Eliot označil cílový vzorek, musel psordova informovat předem nacvičeným způsobem (strnutí, vsunutí čumáku do plechovky a čekání na povel).



Obr. 6. Příprava na trénink.



Obr. 5. Zkušební pole tréninku.

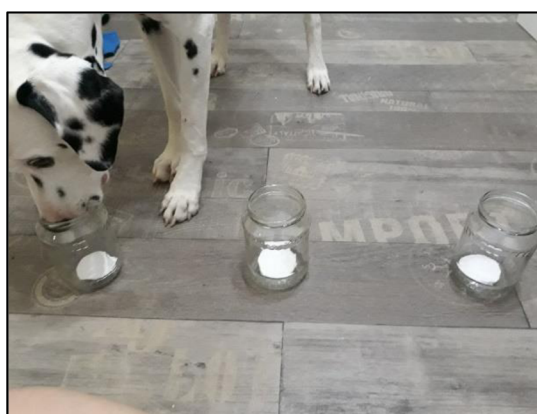


Obr. 4. Identifikace schovaného vzorku.

Následně byl navyšován počet klamných vzorků umístěných se vzorkem cílovým. Eliot zprvu označoval z výběru dvou, postupně se počet navyšoval, až do počtu cílových deseti kusů, který byl třeba k experimentu. Vždy byl použit právě jeden cílový vzorek feromonu.

Důležité bylo v průběhu experimentu neutralizovat výskyt slin, či jiných pachových stop na plechovkách, podle kterých by si mohl Eliot usnadnit hledání nebo naopak chybně označit vzorek, a to především na cílové plechovce s feromonem.

Jakmile byl Eliot schopen najít hledaný vzorek v počtu deseti plechovek, došlo ke zvýšení náročnosti tréninků. Eliot byl učen k systematickému prohledávání plechovek v rámci řady bez přeskočení, aby se eliminovala možnost nechtěného přeskočení cílového vzorku. Řadu mohl



Obr. 7. Správné označení cílového vzorku.

absolvovat pouze jednou, a nesměl se vracet. Na základě toho se musel naučit tzv. prázdné řady, kdy v celé řadě plechovek nebyl umístěn cílový vzorek. Správným chováním psa v tomto případě, bylo postupné procházení řady až na konec, bez označení. Do řady byly rovněž vkládány vzorky s vyšší koncentrací klamného pachu než samotný cílový feromon. Zároveň byly vytvářeny řady, s nenapachovanými vatovými tyčinkami a jedním cílovým vzorkem. Subjekt se tímto učil vyhledávat vzorek podle složení pachu, a ne jeho intenzity.

4.2 Vzorky

Pachové vzorky budou připravovány v laboratoři, jednou osobou, kvůli zachování stejného pachového pozadí. Pro přípravu vzorků bude mít pověřená osoba vždy nasazené nitrilové rukavice, aby se co nejvíce zabránilo přenosu lidského pachu.

Do předem připravené sklenice bude na její dno vložen vzorek v kapalném skupenství, nad vzorek bude umístěna kovová mřížka, na které budou čisté konce

z vatových tyčinek. Množství chemické látky, které bude nakapáno do sklenice, bude 10 μL . Aeraci dojde k napachování vatových tyčinek, které budou následně použity k experimentu. Tímto způsobem budou připraveny všechny pachové vzorky používané pro experiment.

Napachované vatové tyčinky budou postupně během sedmi dnů sbírány, a ukládány mezi 2 dřívka, aby se dosáhlo jiné intenzity pachu. Budou uloženy při teplotě 16 °C. Poté budou vloženy do mikro-zkumavek. Mikro-zkumavky budou bezprodluženě popsány názvem vzorku a délkou uležení vzorku, a vloženy do mrazáku.

Současně s tyčinkami s cílovým vzorkem budou vytvářeny klamné kontrolní vzorky. Tyto vzorky budou pomáhat při kontrole, zda bude pes hledat, či nikoli. Klamné vzorky budou čisté vatové tyčinky, které budou procházet stejným procesem přípravy, jako cílové vzorky, budou stejně skladovány, a umístěny v místě cílových vzorků. Budou také použity vatové tyčinky napachované pachy blízkými těm, které může pes nalézt v lese např. rostlinné silice, uhynulé zvíře, půda apod. Při skladování bude zajištěno, aby nedošlo ke kontaminaci okolními pachy.

Experiment bude připravovat pověřená osoba podle předem připraveného schématu. U schémat bude zajištěno, aby se žádné neopakovalo a nebylo tak vytvořeno žádné pořadí, podle kterého by se mohl pes řídit. Pozice pachového vzorku může být na jednom místě maximálně 3 pokusy po sobě. Poté by měla být pozice vzorku změněna.

Pomůcky: sklenice, pachové vzorky, pinzeta, nitrilové rukavice, vatové tyčinky, plechovky, mikro-zkumavky.

4.3 Samotný experiment

4.3.1 Měření

V uzavřené místnosti, při stálé teplotě, bez možnosti proudění vzduchu budou do řady za sebou umístěny plechovky, rovnoměrně vzdálené od sebe. V každé plechovce se nachází pouze jedna vatová tyčinka. Jen v jedné z plechovek je umístěn cílový vzorek, v ostatních je buď klamný vzorek, nebo čistá nenapachovaná tyčinka.

Pověřená osoba, rozmístí plechovky a vždy po přípravě jedné části experimentu, opustí experimentální místnost, aby mohl experiment probíhat tzv. double-blind metodou. Psovod nebude v žádném z případů znát pozici cílového vzorku, aby nedocházelo ke „clever Hanz“ efektu. Toto pravidlo platí i pro všechny osoby, které se podílí na experimentu. V místnosti smí být pouze psovod se psem, kteří nevědí, kde je vzorek, a osoby, které také neznají umístění vzorku. Pozice a typ pachových vzorků v řadě budou před každým hledáním měněny pověřenou osobou.

První a druhá řada je řada zkušební, ve které se kontroluje, jestli je pes soustředěný na pokus, a jeho výsledky mohou být započítány do experimentu.

Pes s psovodem začínají na jednom konci řady – vždy je předem domluveno, na kterém. Důraz je kladen na přesnost komunikace mezi jednotlivými subjekty

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D1 204.			D0							
D2 204.					D0					
E2 219.										
K1 194.		D0								
K3 284.				D1						
						D1				
		D2								
							D2			
								D3		
	D3									
									D3	

Obr. 8. Schématický záznam o provedeném měření a umístění vzorků.

a vyloučení pochybení lidského faktoru. Pes je vpuštěn do řady pachových vzorků umístěných v čistých plechovkách. Systematicky od první plechovky bude tým postupovat ke konci řady, kdy se pes nesmí ke vzorkům vracet. Psovod počítá plechovky od 1 do 10, a když pes označí hledaný vzorek zahlásí psovod pořadové číslo plechovky. Plechovku s cílovým vzorkem pes označí ztuhnutím, a vložení čumáku do plechovky. Pokud psovod vyhodnotí reakci psa za adekvátní oznámí pořadové číslo plechovky. Pověřená osoba si zaznačí odpověď psovoda, do předem připravené tabulky (viz Obr. 8) a sdělí, zda pes našel nebo nenašel vzorek.

4.3.2 Zpracování dat

Pro přímé porovnání byly použity vzorky obsahující látku 2-metyl-3-buten -2-ol ve čtyřech variantách stáří (čerstvý vzorek, 1 den, 2 dny a 3 dny). Stabilita vzorků byla ověřena pomocí tří psů BB, Tessie a Eliot. Počet řad prošlých pro dané stáří vzorku je uvedeno v tabulce 1.

Tab. 1. Počet řad realizovaných jednotlivými psi pro všechna v pokusu zjišťovaná stáří vzorku.

Stáří vzorku \ Pes	BB	Eliot	Tessie
0	12	17	5
1	6	12	4
2	6	10	3
3	5	5	4

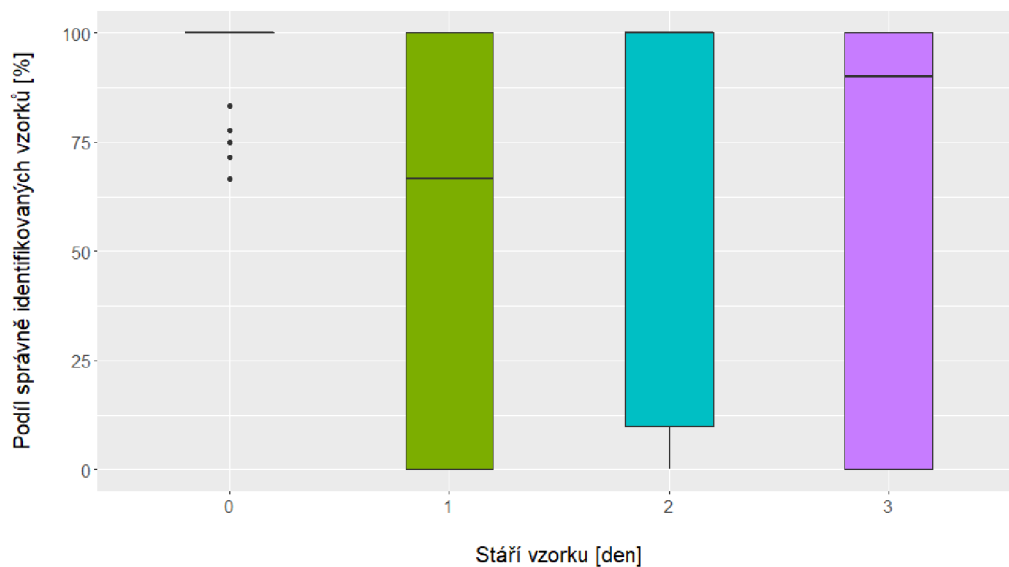
Získaná data obsahovala hodnotu ano/ne, tedy vzorek byl úspěšně identifikován/ nebyl úspěšně identifikován. Jedná se o typická data binomického charakteru (PEKÁR, BRABEC 2009) a k jejich vyhodnocení byl použit generalizovaný lineární model (GLM) s binomickým rozdělením s kanonickým logit linkem. Faktory, které obsahoval nejlepší ze získaných lineárních modelů byl poté porovnán pomocí analýzy rozptylu (ANOVA). Významnost jednotlivých faktorů byla stanovena na základě tradičních hladin významnosti $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$ a $\alpha = 0,001$. K vyhodnocení byly použity znalosti z Pekár, Brabec (2009) a Kuželka, Surový (2018). Analýzy byly provedeny v statistickém prostředí verze 4.0.2 (R CORE TEAM 2020).

5 Výsledky

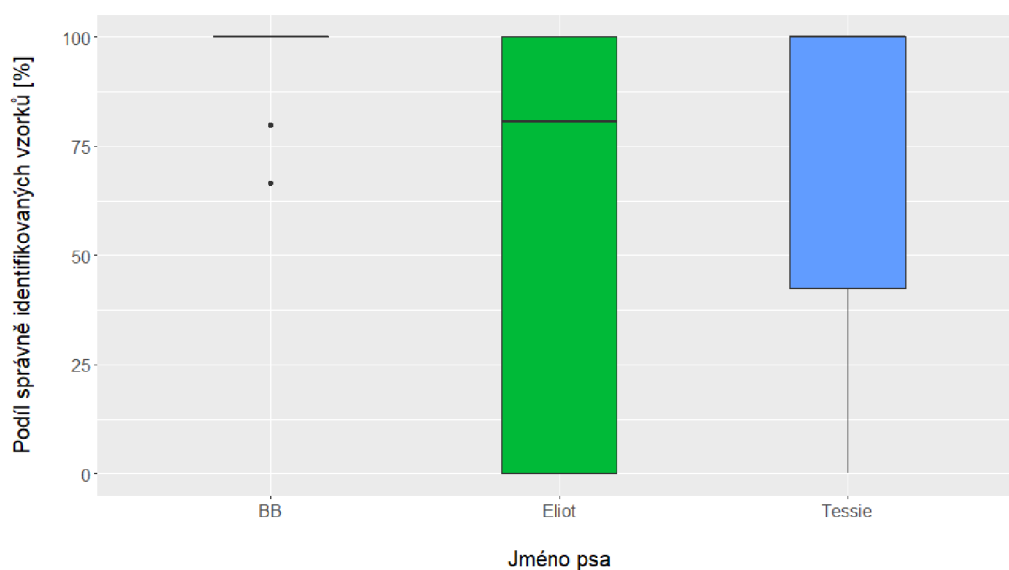
Reakce psů na vzorky různého stáří byla velice odlišná. Procento úspěšně identifikovaných vzorků stáří 1 den, 2 dny, 3 dny a čerstvého vzorku, bylo statisticky významně odlišné (ANOVA $df = 3$, $p < 0,001$; Tab.2). Vzorek čerstvý (stáří 0 dní) byl průměrně identifikován s 95 % úspěšností, starší vzorky byly identifikovány s průměrnou přesností 50 – 70 % (1 den – 53 %; 2 dny – 69 %; 3 dny – 60 %, medián a rozptyl jsou patrné na Obr. 9). Rovněž se významně lišila úspěšnost identifikace vzorků u jednotlivých psů použitých v pokusu (ANOVA $df = 2$, $p < 0,001$; Tab.2). Nejvyšší průměrnou úspěšnost měla fena BB – 97 %, dále Tessie – 71 %, nejnižší úspěšnost Eliot – 59 % (viz Obr. 10). Vzájemná interakce faktoru Pes a Stáří vzorku byla statisticky nevýznamná (ANOVA $df = 6$, $p = 0,474$; Tab.2). Což znamená, že identifikace vzorků různého stáří měla u všech psů podobný trend, tedy relativně vysokou úspěšnost při nalezení čerstvého vzorku a nižší úspěšnost při identifikaci starších vzorků. Přehled výsledků dosažených jednotlivými psi na různých vzorcích je zachycen na obrázku 11.

Tab. 2. ANOVA tabulka pro model binomial GLM logit(Označil;Neoznačil) ~ Stáří vzorku * Pes.

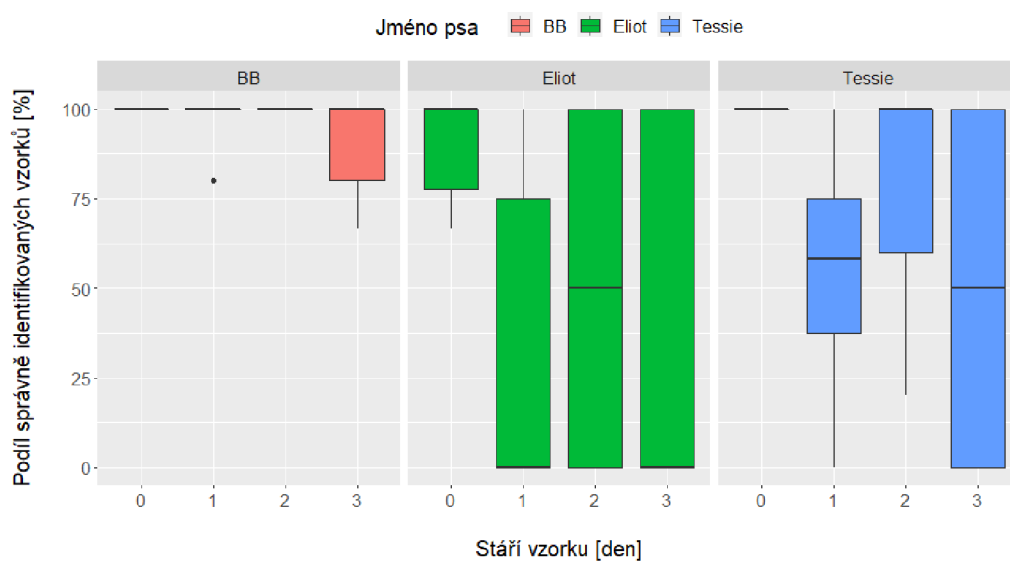
	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			88	189,11	
Stáří vzorku	3	31,571	85	157,54	6,44E-07 ***
Pes	2	34,362	83	123,18	3,46E-08 ***
Stáří vzorku:Pes	6	5,566	77	117,61	0,4735



Obr.9. Krabicový graf podílu správně identifikovaných vzorků podle jejich stáří. Horizontální linie uvnitř krabicového grafu představuje medián, konec svislé linie, pokud je přítomný, vyjadřuje 1,5 násobek interkvartilového rozpětí.



Obr. 10. Krabicový graf podílu správně identifikovaných vzorků podle subjektů. Horizontální linie uvnitř krabicového grafu představuje medián, konec svislé linie, pokud je přítomný, vyjadřuje 1,5 násobek interkvartilového rozpětí.



Obr. 11. Krabicový graf podílu správně identifikovaných vzorků podle jejich stáří v kombinaci se subjekty. Horizontální linie uvnitř krabicového grafu představuje medián, konec svislé linie, pokud je přítomný, vyjadřuje 1,5 násobek interkvartilového rozpětí.

6 Diskuze

Rostoucí doba expirace feromonu, a tedy klesající intenzita pachu snižovala procentuální úspěšnost identifikace cílových vzorků agregačního feromonu lýkožrouta smrkového v provedeném pokusu. Klesající míru detekce feromonu při jeho klesající intenzitě zaznamenali i Charlton et. al (1993), kteří zkoumali působení rozdílné míry koncentrace feromonu na samce bekyně velkohlavé *Lymantria Dispar*. Samci s klesající koncentrací reagovali na feromon odlišně a klesal jejich zájem. Ve Francii byla zkoumána Franklin, Grégoire (1999) reakce l. smrkového při umístění do porostu, ve kterém nebyl žádný zdroj agregačního feromonu. Na označené 1 ha ploše vypustili 11 765 jedinců a v rámci náhodného umístění lapačů v porostu bez přidání feromonového odparníku, sledovali jejich rozptýl po porostu. Studie prokázala, že bez inicializace, byť stopového množství feromonu v porostu, bylo jen 0,3 % ze sledovaného množství odchyceno v lapačích, tedy projevilo snahu rozptýlu po ploše. Výsledky potvrzují, že na klesající množství feromonů v prostředí shodně reagují jak psi, tak i hmyz.

Výsledky poukazují na takřka stoprocentní průměrnou úspěšnost 24 měsíců cvičené tříleté feny plemene belgický ovčák Malinois. Stejných výsledků dosáhl Wallner, Ellis (1976), který hodnotil schopnost psů nalézt vajíčka *Lymantria dispar*. K tomuto účelu vycvičil 3 jedince plemene německého ovčáka (FCI I) ve věku 9 a 12 měsíců a 7 let. Nejstarší sedmiletý pes zvládl trénink nejlépe v nejkratším čase, díky předchozím zkušenostem a pracovnímu použití. U mladších jedinců byl výcvik náročnější a musela se nejdříve zvládnout vycvičit poslušnost psa. Šestiletý německý ovčák byl rovněž používán Johansson et. al (2019) k vyhledávání agregačních feromonů l. smrkového. Jeho výcvik byl rovněž založen na předchozích zkušenostech a pracovnímu použití. Kromě německého ovčáka byl v tomto pokusu použit i belgický ovčák. Oba psi dosahovali excelentních výsledků. V medicínsky orientované studii se Vesga et. al (2021) zaměřili na schopnost psů v rozpoznání volatilních látek, které uvolňuje lidské tělo při nakažení nemocí COVID-19. Byli použiti belgický ovčák, pitbul teriér a kříženec sibiřského huskyho x aljašského malamuta. Psi ve věku do 3 let samčího i samičího pohlaví. Výsledky uvádí, že po takřka 3 měsících výcviku byli psi schopni rozeznat

nakaženého s 99 % úspěšností. Všechny tyto výzkumy potvrzují vhodnost použití plemen ze skupiny FCI I nezávisle na pohlaví a věku. Nižší věk má vliv pouze na délku výcviku jednotlivce, ne však na procentuální úspěšnost pachové detekce.

Tessie, 12 měsíců cvičená pětiletá fena plemene zlatý retrívr měla ve studii průměrnou 71% úspěšnost. V medicínských oborech Pickel et al. (2004) vycvičil samici zlatého retrívra k identifikaci maligních melanomů. Úspěšnost feny byla 82 %. McCulloch et al. (2006) prováděli podobný experiment, kdy vycvičili 2 psy a jednu fenu labradorského retrívra pro detekci onemocnění plic. Jejich průměrná procentuální úspěšnost byla 99 %. Labradorského retrívra rovněž upřednostnili i Sonoda et. al (2011) pro výcvik k odhalení rakoviny tlustého střeva. Vycvičená fena dokázala identifikovat onemocnění s 91 % úspěšností. Obecně jsou plemena FCI VIII spíše používána ve zdravotnictví, kde dosahují excelentních výsledků. Kromě své vysoké úspěšnosti identifikace onemocnění je použití v této profesní sféře žádané i díky jejich, obecně známé, klidné povaze a jednoduché manipulaci.

Obdobný pokus prováděný Welchem (1990) s tříletým psem drátosrstého německého ohaře (FCI VII) zkoumal schopnost identifikovat napadení organismu hospodářských zvířat parazity rodu Diptera: *Calliphoridae*. Výsledkem byla 100% úspěšnost, a to již po pouhých 8 měsících tréninku. Hoyer-Tomiczek, Hoch (2016) využívali psy ze skupin FCI I při svém výzkumu na pachovou detekci *Anoplophora glabripennis*. Průměrná úspěšnost napříč jedinci byla nad 75 %.

Třetí pes, který byl použitý ve výzkumu, byl 11 měsíců cvičený osmiletý samec Eliot plemene dalmatin. Jeho průměrná úspěšnost byla ze všech psů nejnižší, kdy se pohybovala okolo 59 %. Na použití honičů (FCI VI) pro výcvik se specializoval také Lewis (1997), který vycvičil bigly pro vyhledávání a identifikaci termitů rodu *Reticulitermes* s úspěšností 81 %. Nízká úspěšnost plemen ze skupiny FCI VI může být důsledkem jejich loveckých predispozic, těžší ovladatelnosti, a odlišného vyhodnocování jednotlivých situací. U Eliota mohla být nízká úspěšnost zapříčiněna rovněž krátkou dobou výcviku psa.

Skupiny plemen vhodných k výcviku jsou jedním z předpokladů pro výběr psa pro pachové práce. Rovněž je však důležitá individualita jednotlivce a jeho přístup a vycvičitelnost. Jednodušší výcvik se prokázal u psů, kteří měli předchozí

zkušenost s pachovou detekcí, především díky pochopení principu hledání cílového vzorku. Což také potvrzují Jamieson et al. (2017), kdy jejich studie prokázala, že nejvhodnějším psem pro pachovou detekci je pes středního plemene, lehce ovladatelný, zároveň samostatný, vysoce motivovaný ke hře, vysoce inteligence a aktivní. Tyto aspekty splňují především psi z FCI I, ale při výběru psa by se nemělo primárně hledět na plemeno, ale na vlastnosti jednotlivce k úspěšnému výcviku pro pachovou detekci.

I když jsou v rámci plemen běžně k vidění rozdíly, existují také rozdíly mezi pohlavími. Samice se obvykle snáze ovládají kvůli jejich menší velikosti, a mají méně agresivní sklony (SORG 2020). Ačkoliv existuje mnoho úvah při výběru toho, jaké pohlaví psa použít, je důležité si uvědomit, že jednotlivci nemusí mít rysy typické pro jejich pohlaví. Bez ohledu na pohlaví by se dalo tvrdit, že pokud pes není chovný, měl by být vykastrován (MOORE et al. 2001). Během studie (MAEJIMA et al. 2007) měli kastrování labradorští retrívři (FCI VIII) vyšší skóre pro „touhu pracovat“ ve srovnání s fenami a nekastrovanými samci. Kastrování psi měli významně nižší skóre roztržitosti než nekastrovaní psi. Tyto výsledky jsou v souladu s touto prací, kdy je jasně vidět, že obě feny měly průměrný výsledek vyšší než nekastrovaný samec.

Obecně jsou pro výcvik používány častěji samice než samci, a to díky jejich snadnější ovladatelnosti. Výsledky rovněž potvrzují i vyšší procentuální úspěšnost samic napříč plemeny. Vesga et. al (2021) poukázali na to, že zvýšení procentuální úspěšnosti pachové detekce samců, lze zvýšit jejich kastrací. Po kastraci dosahují obdobných výsledků jako feny. Použití psi v této studii potvrdili, že feny BB a Tessie mají vyšší procento úspěchu, než nekastrovaný samec Eliot.

V rámci samotného výcviku psa byly používány i různé formy odměňování. Výcvik byl založen na pozitivní motivaci pomocí pamlsku. Welch (1990), naopak psy odměňoval pouze pochvalou a uváděl, že odměna jídlem, kterou praktikoval také Waliner, Ellis (1976), McCulloch et al. (2006) může mít zprvu pro psa motivující efekt, ale s mírou nasycení psa klesat. Jendry et al. (2020) zvolili kombinaci obou těchto metod.

7 Závěr

Psi pomáhají lidem v situacích, kdy lidský čich není dostatečně vyvinutý, a je nutné rozpoznat pach v nízké intenzitě. Na základě dlouholetých zkušeností s výcvikem psů v rámci záchranné a policejní kynologie se pes ukazuje jako vhodný prostředek pro uplatnění v boji proti biotickým činitelům v lesnictví. Výsledky dokázaly, že psi dovedli rozpoznat syntetizovaný agregační feromon lýkožrouta smrkového 2-metyl-3-buten-2-ol s průměrnou úspěšností 95 % u čerstvého vzorku bez vystavení expiraci. S nižší koncentrací feromonu, tedy delší době expirace vzorku byla úspěšnost nižší, neklesla však pod míru 50 %.

Pes, na rozdíl od člověka, by mohl spolehlivě najít veškeré kůrovcové stromy, a to již v prvopočátku náletu lýkožrouta smrkového. Vyhledávání lesníků spočívá v identifikaci následných projevů napadení tímto biotickým činitelem, tedy žloutnutí a prosychání koruny, opad jehličí nebo nález drtinek na patě, či kmenu stromu apod. Jak je z lesnické praxe známo, tyto projevy nejsou patrné ihned po napadení, a za určitých podmínek, jako je například deštivé počasí, jsou drtinky smývány.

V rámci současné kůrovcové kalamity je praktické využití psů bezpředmětné, a to z hlediska velikosti jednotlivých ohnisek a intenzity náletu. Účelnosti by tato metoda mohla nabývat ve fázi, kdy identifikace jednotlivě roztroušených ohnisek náletu lýkožrouta smrkového je nad rámec možností lesního personálu. Při počtech mimo kalamitní či zvýšené stavy rojících se jedinců je častým jevem, že napadená je pouze střední část stromu na hranici koruny a kmene. V této oblasti nelze hodnotit výskyt závrťů vizuálně, a nasazení psů vycvičených pro vyhledávání na základě určení zdroje feromonu je zde žádoucí.

Použitá literatura

Odborné publikace:

ABUIN, L.; BARGETON, B.; ULBRICH, H. M.; ISACOFF, Y. E.; KELLENBERGER, S.; BENTON, R. (2011). *Functional Architecture of Olfactory Ionotropic Glutamate Receptors*. *Neuron* 69(1): s. 44–60. ISSN 08966273.

ANDERSSON, M. N (2011). *Disertační práce: Olfaction in the Spruce Bark Beetle, Ips typographus*. Swedish University of Agricultural Sciences, 51 s.

ANDERSSON, N. M. (2012). *Mechanisms of Odor Coding in Coniferous Bark Beetles: From Neuron to Behavior and Application*. *A Journal of Entomology*: s. 1–14. ISSN 00332615. doi:10.1155/2012/149572.

BINYAMEEN, M.; JANKUVOVÁ, J.; BLAŽENEC, M.; JAKUŠ R.; SONG, L.; SCHLYTER, F. (2014). *Co-localization of insect olfactory sensory cells improves the discrimination of closely separated odour sources*. *Functional Ecology* 28(5): s. 1216–1223. ISSN 1365–2435.

BIRGERSSON, G.; SCHLYTER, F.; LÖFQVIST, J.; BERGSTRÖM, G. (1984). *Quantitative variation of pheromone in the spruce bark beetle Ips typographus from different attack phases*. *Journal of Chemical Ecology* 10(7): s. 1029–1055. ISSN 0098–0331.

BIRGERSSON, G.; SCHLYTER, F.; BERGSTRÖM, G.; LÖFQVIST, J. (1988). *Individual variation in aggregation pheromone content of the bark beetle, Ips typographus*. *Journal of Chemical Ecology* 14(9): s. 1737–1761. doi10.1007/BF01014641.

BÖHME, H. (2019). *Malina pro slona*. Medians, 144 s. ISBN: 9788027052776.

BONELLO, P.; GORDON, R. T.; HERMS, A. D.; WOOD, L. D.; ERBILGIN, N. (2006). *Nature and ecological implications of pathogen-induced systemic kology ce in conifers: A novel hypothesis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 68(4–6): s. 95–104. ISSN 08855765.

BROWNE, C.; STAFFORD, K.; FORDHAM, R. (2006). *The Use of Scent-Detection Dogs*. *Irish Veterinary Journal* 59(2): s. 97–104.

- BYRS, J. A. (2004). *Chemical ecology of bark beetles in a complex olfactory landscape. Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe: a Synthesis*. Kluwer Academic Publishers: s. 89–134. ISBN 1402022409 9781402022401.
- COOPER, R.; WANG, CH.; SINGH, N. (2014). *Accuracy of Trained Canines for Detecting Bed Bugs (Hemiptera:Cimicidae)*. *Journal of Economic Entomology* 107(6): s. 2171–2181. doi:10.1603/EC14195.
- DE SIO, F.; MARAZIA, CH. (2014). *Clever Hans and his effects: Karl Krall and the origins of experimental parapsychology in Germany*. *History and Philosophy of Biol* 48: s. 94–102. ISSN 13698486. doi:10.1016/j.shpsc.2014.07.005.
- DOSTÁLOVÁ, K. (2018). *Nosework – Práce i zábava nejen pro psí nos*. Praha: Plot, 152 s. ISBN: 978-80-7428-339-0.
- DVOŘÁKOVÁ, M.; VALTEROVÁ, I.; VANĚK, T. (2011). *Monoterpeny v rostlinách*. *Chemické listy* 105(11): s. 839–845.
- EIS, V. (2018). *Pachové práce služebních psů*. Praha: Naše vojsko, 160 s. ISBN: 978-80-206-1705-7.
- FRANKLIN, A. J.; GRÉGOIRE, J-C. (1999). *Flight behaviour of Ips typographus L. (Col., Scolytidae) in an environment without pheromones*. *Annals of Forest Science* 56(7): s. 591–598. doi.org/10.1051/forest:19990706.
- GRODZKI, W.; SKRZECZ, I. (2017). *Trinet P as an innovative method in the protection of Norway spruce stands against Ips typographus (L.)*. *SYLWAN* 161(1): s. 34–39.
- HARTL, K. (1979). *Výchova a výcvik psa: služební a pracovní plemena*. Praha: Naše vojsko, 231 s.
- HLÁSNÝ, T.; ZIMOVÁ, S.; BENTZ, B. (2021a). *Scientific response to intensifying bark beetle outbreaks in Europe and North America*. *Forest Ecology and Management* 499(1): s. 1–10. doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119599.
- HLÁSNÝ, T.; ZIMOVÁ, S.; MERGANIČOVÁ K; ŠTĚPÁNEK P.; MODLINGER R.; TURČÁNI M. (2021b). *Devastating outbreak of bark beetles in the Czech*

Republic: Drivers, impacts, and management implications. Forest Ecology and Management. ISSN 03781127

HOFSTETTER, R. W.; GAYLORD, M. L.; MARTISON, S.; WAGNER, M. R. (2012). *Attraction to monoterpenes and beetle-produced compounds by sympatric Ips and Dendroctonus bark beetles and their predators.* Agricultural and Forest Entomology 14: s. 207–215. doi: 10.1111/j.1461-9563.2011.00560.x.

HOYER-TOMICZEK, U.; HOCH, G. (2016). *Scent detection dogs for the Asian longhorn beetle, Anoplophora glabripennis.* Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 46(1): s. 148–1155. doi:10.1111/epp.12282.

HRASOVEC, B.; KASUMOVIC, L.; FRANJEVIC, M. (2011). *Overwintering of Eight Toothed Spruce Bark Beetle (Ips typographus) in Spruce Forests of North Velebit.* Croatian Journal Of Forest Engineering 32(1): s. 211–222.

HROSSO, B.; MEZEI, P.; POTTERF, M. ET. AL (2021). *Drivers of Spruce Bark Beetle (Ips typographus) Infestations on Downed Trees after Severe Windthrow.* Forests 11(12): s. 1290. doi:10.3390/f11121290.

HULCR, J.; UBIK, K.; VRKOC, J. (2006). *The role of semiochemicals in tritrophic interactions between the spruce bark beetle Ips typographus, its predators and infested spruce.* Journal of Applied Entomology 130(5): s. 275–283. doi: 10.1111/j.1439-0418.2006.01069.x.

JAKUŠ, R.; GRODZKI, W.; JEŽÍK, M.; JACHYM, M. (2003). *Definition of spatial patterns of bark beetle Ips typographus (L.) outbreak spreading in tatra mountains (central Europe), using GIS.* Ecology, Survey and Management of Forest Insects, USA Forest Service: s. 25–33.

JAKUŠ, R.; HOLUŠA, J.; BLAŽENEC, M. (2015). *Principy ochrany dospělých smrkových porostů před podkorním hmyzem.* 1. vyd. Praha: Carter Replus, 198 s. ISBN 978-80-213-2605-7.

JAMIESON, T. L.; BAXTER, S. G.; MURRAY, J. P. (2017). *Identifying suitable detection dogs.* Applied Animal Behaviour Science 195: s. 1–7. DOI:10.1016/j.applanim.2017.06.010.

- JANČAŘÍKOVÁ, K. (2019). *Záchranářská kynologie: Teorie, data, zkušenosti*. Praha: Plot, 240 s. ISBN 978-80-7428-354-3.
- JENDRNY, P.; SCHULZ, C.; TWELE, F; MELLER, S. (2020). *Scent dog identification of samples from COVID-19 patients—a pilot study*. BMC Infectious Diseases 20(1): s. 536–543. doi:10.1186/s12879-020-05281-3.
- JOHANSSON, A.; BIRGERSSON, G.; SCHLYTER, F. (2019). *Using synthetic semiochemicals to train canines to detect bark beetle-infested trees*. Annals of Forest Science 76(2): s. 58–68. doi:10.1007/s13595-019-0841-z.
- KNÍŽEK, M.; ZAHRADNÍK, P. (2004). *LOS VÚHLM: Kůrovci na jehličnanech*. Lesnická práce 83(3): s. 1–8.
- KOLÁŘ, F. (2016). *Červení andělé: historie Horské služby v českých zemích*. Jilemnice: Horská služba ČR, o.p.s., Špindlerův Mlýn: Gentiana, 167 s. ISBN 978-80-86527-42-0.
- KRAJNC, A. U. (2009). *Temporal analysis of antioxidative defense responses in the phloem of Picea abies after attack by Ips typographus*. Tree physiology 29(8): s. 1059–1068. ISSN 0829318X.
- KROUTIL, O. (1949). *Chov a výcvik všestranného ohaře*. Praha, 61 s. PK-I-0027.740.
- KUŽELKA, K.; SUROVÝ, P. STATISTIKA V R (2018). *Zpracování dat závěrečných prací pro lesnické obory*. Skriptum FLD, ČZU, Praha, 2018, 172 s. ISBN 78-80-213-2921-8.
- KVAM, L. A. (2012). *Pachové práce: Nosework*. Praha: PLOT, 128 s. ISBN 978-80-7428-150-1.
- LANGE, B. M.; RUJAN, T.; MARTIN, W.; CROTEAU, R. (2000). *Isoprenoid biosynthesis: the evolution of two ancient and distinct pathways across genomes*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 97(24): s. 13172–13177. doi: 10.1073/pnas.240454797.

- LEWIS, R. V.; FOUCHE, F. C.; LEMASTER, L. R. (1997). *Evaluation of dog-assisted searches and electronic odor devices for detecting the western subterranean termite*. Forest Products Journal 47(10): s. 79–84.
- MAEJIMA, M.; INOUE-MURAYAMA, M.; TONOSAKI, K. et al. (2007). *Traits and genotypes may predict the successful training of drug detection dogs*. Applied Animal Behaviour Science 107(3): s. 287–298. doi:10.1016/j.applanim.2006.10.005.
- MARTÍNEK, V. (1956). *Příspěvek k osvětlení problému sesterského pokolení u kůrovce Ips typographus (L.)* Lesnictví (29): s. 615–643.
- MCCULLOCH, M.; JEZIERSKI, T.; BROFFMAN, M.; HUBBARD, A.; TURNER, K.; JANECKI, T. (2006). *Diagnostic accuracy of canine scent detection in early- and late-stage lung and breast cancers*. Integrative Cancer Therapies 5: s. 30–39.
- MOORE, G. E.; BURKMAN, K. D.; CARTER, M. N.; PETERSON, M. R. (2001). *Causes of death or reasons for euthanasia in military working dogs: 927 cases (1993-1996)*. Journal of the American Veterinary Medical Association 219(2): s. 209–214. doi:10.2460/javma.2001.219.209.
- MORI, K. (2005). *Organic Synthesis in Pheromone Science*. Molecules 10(9): s. 1023–1047. ISSN 14203049. doi:10.3390/10091023.
- MOSER, E.; MCCULLOCH, M. (2010). *Canine scent detection of human cancers: A review of methods and accuracy*. Journal of Veterinary Behavior Clinical Applications and Research 5(3): s. 145–152. doi:10.1016/j.jveb.2010.01.002
- MZe (2019). *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2019*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 111 s. ISBN 978-80-7434-571-5.
- MZe (2020). *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2020*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 111 s. ISBN 978-80-7434-571-5.
- NAKASH, J.; OSEM, Y.; KEHAT, M. (2000). *A Suggestion to Use Dogs for Detecting Red Palm Weevil (Rhynchophorus ferrugineus) Infestation in Date Palms in Israel*. Phytoparasitica 28(2): s. 153–155. doi:10.1007/BF02981745.

- NIHOUL, PH.; NEF, L. (1992). *Anatomical Characteristics Of Norway Spruce Bark (Picea-Abies-Karst) And The Intensity Of Ips-Typographus L Attacks (Col, Scolytidae)*. Journal of applied entomology 114(1): s. 26–31. [doi:10.1111/j.1439-0418.1992.tb01092.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1992.tb01092.x).
- PEKÁR, S.; BRABEC, M. (2009). *Moderní analýza biologických dat I*. Praha: 1st ed. Scientia, 225 s. ISBN 978-80-86960-44-9.
- PFEFFER, A. (1955). *Fauna ČSR: Kůrovci – Scolytoidea*. Praha: Československá akademie věd–ČSAV, 324 s.
- PFEFFER, A. (1989). *Kůrovcovití (Scolytidae) a jádrohlodovití (Platypodidae)*. Praha: Academia, 137 s. ISBN: 80-200-0089-5
- PHILLIPS, M. A.; CROTEAU, B. R. (1999). *Resin-based defenses in conifers*. Trends in plant science 4(5): s. 184–190. ISSN 13601385.
- PICKEL, D.P., MANUCY, G.P., WALKER, D.B., HALL, S.B., WALKER, J.C. (2004). *Evidence for canine olfactory detection of melanoma*. Applied Animal Behaviour Science 89: s. 107–116.
- RAFFA, K. F.; AUKEMA, B. H.; BENTZ, B. J.; CARROLL, A. L.; HICKE, J. A.; TURNER, M. G.; ROMME, W. H. (2008). *Cross-scale Drivers of Natural Disturbances Prone to Anthropogenic Amplification: The dynamics of Beetle Eruptions*. Bioscience 58: s. 501–507.
- RUDINSKY, J. A. (1979). *Chemoacoustically induced behavior of Ips typographus (Col.: Scolytidae)*. Journal of applied Entomology 88: s. 537–541. ISSN 0044-2240.
- SEIDL, R.; THOM, D.; KAUTZ, M.; MARTIN-BENITO, D. et. al (2017). *Forest disturbances under climate change*. Nature Climate Change 7: s. 395–402. [doi:10.1038/nclimate3303](https://doi.org/10.1038/nclimate3303).
- SCHLYTER, F.; BYERS, A. J.; LÖFQVIST, J. (1987a). *Attraction to pheromone sources of different quantity, quality, and spacing: Density-Regulation Mechanism in Bark Beetle Ips typographus*. Journal of Chemical Ecology 13(6): s. 1503–1523.
- SCHLYTER, F.; BIRGERSSON, G.; BYERS, A. J.; LÖFQVIST, J.; BERGSTRÖM, G. (1987b). *Field response of spruce bark beetle, Ips typographus,*

- to aggregation pheromone candidates: evolutionary perspective and synthesis. *Journal of Chemical Ecology* 13(4): s. 701–716. ISSN 0098-0331.
- SCHLYTER, F.; CEDERHOLM, I. (1981). *Separation of the sexes of living spruce bark beetles, Ips typographus (L.), (Coleoptera: Scolytidae)*. *Z. angew. Ent.*, 92: s. 42–47.
- SKUHRAVÝ, V. (2002). *Lykožrout smrkový (Ips typographus L.) a jeho kalamity (Der Buchdrucker und ihre seine Kalamitäten)*. Praha: Agrospoj, 196 s. ISBN 80-7084-238-5.
- SONODA, H.; KOHNOE, S.; YAMAZATO, T. et al. (2011). *Colorectal cancer screening with odour material by canine scent detection*. s. 814–819.
- SORG, M. H. (2000). *Cadaver dog handbook: Forensic training and tactics for the recovery of human remains*. Taylor&Francis Inc. 232 s. ISBN10: 0849318866.
- STADELMANN, G.; BUGMANN, H.; WERMELINGER, B.; MEIER, F.; BIGLER, C. (2013). *A predictive framework to assess spatio-temporal variability of infestations by the European spruce bark beetle*. *Ecograph* 36: s. 1208–1217. [doi:10.1111/j.1600-0587.2013.00177.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00177.x).
- TEMPERLI, C.; BUGMANN, H.; ELKIN, C. (2013). *Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach*. *Ecological Monographs* 83(3): s. 383–402. doi:10.1890/12-1503.1.
- VESGA, O. et. al (2021). *Highly sensitive scent-detection of COVID-19 patients in vivo by trained dogs*. *PLoS ONE* 16(9): s. 1–23. doi:10.1371/journal.pone.0257474.
- WALLNER, E. W.; ELLIS L. T. (1976). *Olfactory Detection of Gypsy Moth Pheromone and Egg Masses by Domestic Canines*. *Environmental Entomology* 5(1): s. 183–186. doi:10.1093/ee/5.1.183.
- WELCH, B. J. (1990). *A detector dog for screwworms (Diptera: Calliphoridae)*. *Journal of Economic Entomology* 83(5): s. 1932–1934.
- WERMELINGER, B. (2004). *Ecology and management of the spruce bark beetle Ips typographus (L.) a review of recent research*. *Forest Ecology and Management* 20(1–3): s. 67–68. E-ISSN: 1872-7042.

WERMELINGER, B.; EPPER, C.; KENIS, M.; GHOSH, S.; HOLDENRIEDER, O. (2012). *Emergence patterns of univoltine and bivoltine Ips typographus (L.) populations and associated natural enemies*. Journal of Applied Entomology 136: s. 212–224. [doi:10.1111/j.1439-0418.2011.01629.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2011.01629.x).

ZAHRADNÍK, P.; GERÁKOVÁ M. (2010). *LOS VÚLHM: Lýkožrout smrkový Ips typographus (L.)*. Lesnická práce 12: s. 2–8.

ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK M. (2007). *LOS VÚLHM: Lýkožrout smrkový Ips typographus (L.)*. Lesnická práce 86(4): s. 1–8.

ZUMR, V. (1985). *Biologie a ekologie lýkožrouta smrkového (Ips typographus) a ochrana proti němu*. Praha: Academia, 105 s.

Seznam internetových zdrojů:

CEJCHAN S. *Kůrovec a nové odumírání lesa v Německu*. Silvarium [online] 2019-10-10 [cit. 16.3.2021]. Dostupné z WWW: <<http://www.silvarium.cz/lesnictvi/kurovec-a-nove-odumirani-lesa-v-nemecku>>.

CEJCHAN, S. et al. *Armáda se v Sasku zapojila do boje proti kůrovci* [online]. © 2019 Lesnická, práce. Silvarium [online] 2019-28-8 [cit. 16. 3. 2021]. Dostupné z WWW: <<http://www.silvarium.cz/lesnictvi/armada-se-v-sasku-zapojila-do-boje-proti-kurovci>>.

Celní správa [online]. © 2022 MFČR [cit. 10.4.2022]. Dostupné z WWW: <<https://www.celnisprava.cz/cz/o-nas/Stranky/vycvikove-zarizeni-sluzebni-kynologie.aspx>>.

Lesnická práce s.r.o. *Manuál pro monitoring lýkožrouta smrkového*. Kůrovcové info [online]. © 2020 [cit. 16.3.2021]. Dostupné z WWW: <<https://www.kurovcoveinfo.cz/skudci/lykozrout-smrkovy>>. (Lesnická práce 2020).

Lesy ČR 2022 [online]. © 2022 Lesy České republiky, s.p. [cit. 8.4.2022]. Dostupné z WWW: <<http://https://lesy.cz/media/kurovec-caste-dotazy/obecne-dotazy/>>.

Podle ČTK, red. *Také německé a rakouské lesy bojují s následky sucha a s kůrovcem*. Sylvarium.cz [online]. © 2019-1-10 [cit. 16.3.2021]. Dostupné z WWW: <<http://www.silvarium.cz/lesnictvi/take-nemecke-a-rakouske-lesy-bojuji-s-nasledky-sucha-a-s-kurovcem>>.

Podle ČTK, red. *Těžba na Vysočině stoupá, kalamita potrvá i příští rok*. Sylvarium.cz [online]. © 30. 10. 2019 [cit. 16. 3. 2021]. Dostupné z WWW: <<http://https://www.silvarium.cz/lesnictvi/tezba-na-vysocine-stoupa-kalamita-potrva-i-pristi-rok>>.

PRETEL, J.; METELKA, L.; NOVICKÝ, O.; DAŇHELKA, J.; ROŽNOVSKÝ, J.; JANOUŠ, D. ET. AL (2011). *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Technické shrnutí výsledků projektu vav sp/1a6/108/07 v letech 2007–2011*. Praha: ČHMÚ [online]. © 2011 [cit. 10.4.2022]. Dostupné z WWW:

http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNIC_KE_SHRNUTI_201_1.pdf>.

PRINS, S. *The Importance of Training Double-Blind in K9 Detection Teams*. Animal Consultancy & Training. [online]. 2018 © LinkedIn [cit. 10.4.2022] Dostupné z WWW: < [The Importance of Training Double-Blind in K9 Detection Teams \(linkedin.com\)](#)>.

R CORE TEAM. R (2020). *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, [online]. © 2020, Dostupné z WWW: <WWW: <https://www.R-project.org/>>.

ŘEZÁČ J. *Sucho a vítr rozvracejí lesy společně s kůrovcem*. VÚHLM [online]. © 2019 VÚHLM. [cit. 16.3.2021]. Dostupné z WWW: <<https://www.vulhm.cz/sucho-a-vitr-rozvraceji-lesy-spolecne-s-kurovcem/>>.

Tisková zpráva Ministerstva zemědělství. *Ministerstvo aktualizovalo červenou zónu lesů zasažených kůrovcem* [online]. © 2020 VÚHLM. [cit. 2.4.2022]. Dostupné z WWW: <<https://www.vulhm.cz/ministerstvo-aktualizovalo-cervenou-zonu-lesu-zasazenych-kurovcem/>>

ZAHRADNÍK P., ZAHRADNÍKOVÁ M. *Kůrovcová kalamita otázky a odpovědi II*. Lesnická práce: LOS VÚHLM Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. [online]. 2019 © VÚHLM [cit. 6.6.2021] Dostupné z WWW: < <https://www.vulhm.cz/aktivita/lesni-ochranna-sluzba/kurovcova-kalamita-materialy-k-zvladnuti-kurovcove-gradace>>.

Legislativní dokumenty:

Česko. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška č. 101 ze dne 29.4.1996, kterou se stanoví podrobnosti o opatřeních k ochraně lesa a vzor služebního odznaku a vzor průkazu lesní strážce. In *Sbírka zákonů České republiky*. 1996, částka 33, s. 1124 Dostupné také z WWW: < <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=101&r=1996>>.

Česko. Ministerstvo zemědělství. Veřejná vyhláška. Ze dne 3. 4. 2020 bylo vydáno OOP č.j. 17110/2020-MZE-16212: Informace k opatření obecné povahy vydaných Ministerstvem zemědělství k řešení kalamitní situace v lesích. In *Sbírka zákonů České republiky*. Dostupné také z WWW: <<http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/pestovani-a-ochrana-lesu/kurovcova-kalamita/informace-k-oop1a2.html>>.

Česko. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška č. 55 ze dne 30.3.1999, kterou se stanoví výše újmy nebo škody způsobené na lesích. In *Sbírka zákonů České republiky*. Dostupné také z WWW: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1999-55>>.

Česko. Ministerstvo zemědělství. Veřejná vyhláška. Ze dne 15. 9. 2021 bylo vydáno OOP č.j. MZE-49892/2021-16212: Informace k opatření obecné povahy vydaných Ministerstvem zemědělství k řešení kalamitní situace v lesích. In *Sbírka zákonů České republiky*. Dostupné také z WWW: <<https://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/pestovani-a-ochrana-lesu/kurovcova-kalamita/informace-k-oop1a2.html>>.

Česko. Hasičský záchranný sbor České republiky. Záchrana pohřešovaných osob – pátrací akce v terénu. In STČ 07 IZS. 2010, s. 6-7. Dostupné také z WWW: < www.hzscr.cz/soubor/stc-zpat07-final-pdf>.

Česko. Hasičský záchranný sbor České republiky. Pokyn generálního ředitele Hasičského záchranného sboru České republiky a náměstka ministra vnitra ze dne 31. října 2003. Sbírka interních aktů řízení generálního ředitele HZS ČR a NMV – částka 47/200348. 2003. Dostupné také z WWW: <<https://kzjcr.cz/zkusebni-rady-a-testy/atesty-mv/>>.

Česko. Hasičský záchranný sbor České republiky. Zápis z jednání odborné kynologické komise - HZS ČR. 2014-05-05 [cit. 2021-01-21]. Dostupné také z WWW: <<http://www.hzscr.cz> > zapis-z-okk-181013-pdf-pdf>.