

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

EXCELENTNÍ TÝM PRO MITIGACI

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Ověření přesnosti automatického feromonového lapače při zjišťování
početnosti lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.).**

Bc. František Richter

Vedoucí:

Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

Konzultant:

Ing. Martin Leiner

Praha 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. František Richter

Lesní inženýrství

Název práce

Ověření přesnosti automatického feromonového lapače při zjišťování početnosti lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.).

Název anglicky

Verification of the accuracy of the automatic pheromone trap for spruce bark beetle *Ips typographus* (L.).

Cíle práce

Počet jedinců lýkožrouta smrkového odchycený do feromonové lapače je důležitým údajem v plánování ochrany lesa proti tomuto kalamitnímu druhu kůrovce. Pravidelné odběry a kontroly feromonových lapačů však zatěžují pracovní čas lesního personálu. Vhodnou možností, jak zefektivnit tento typ opatření, je automatizace kontrol. K tomuto účelu byl v rámci projektu EXTEMIT-K vyvinut lapač se zabudovaným váhovým systémem. Nyní je třeba ověřit přesnost prototypu lapače při stanovení počtu odchycených dospělců lýkožrouta smrkového.

Metodika

Bude použit vyvinutý prototyp automatického lapače. Jedná se o modifikaci konstrukce klasického lapače typu Thyesohn. Novost technického řešení spočívá v modifikaci zásobního kontajneru lapače, umístěním dalšího, vnitřního kontajneru, který je propojen s čidlem snímajícím hmotnost a modulem odesílajícím naměřené hodnoty do cloudu. Prototyp lapače bude umístěn v lesním porostu se zvýšeným stavem lýkožrouta smrkového. Jako kontrola počtu zachycených brouků do automatického lapače bude ve vzdálenosti do 10 m umístěn nemodifikovaný lapač Theysohn. Lapače budou vybírány dvakrát denně, odpoledne a v podvečer. Pro další zpracování bude nutné získat minimálně 20 nenulových sběrů. Pro každý sběr bude zjištěn počet odchycených lýkožroutů a uložen záznam váhy obsahu kontajneru. K přepočtu hmotnosti na jedince lýkožrouta bude využito údajů (Bednarz & Kacprzyk, 2012) a vlastního laboratorního stanovení váhy u 100 jedinců.

Harmonogram:

srpen až září 2022 – hodinové odběry z lapačů

září až říjen 2022 – stanovení laboratorní váhy u 100 jedinců, sumarizace dat

říjen až listopad 2022 – statistické analýzy

listopad 2022 až březen 2023 – vyhotovení práce

Doporučený rozsah práce

50-70 stran

Klíčová slova

kůrovci, ochrana lesa, automatický lapač, váha hmyzu, past

Doporučené zdroje informací

- ALLISON, J.D.; REDAK, R.A. The Impact of Trap Type and Design Features on Survey and Detection of Bark and Woodboring Beetles and Their Associates: A Review and Meta-Analysis. *Annual Review of Entomology*, 2017, vol. 62, s. 127-146.
- BEDNARZ, B.; KACPRZYK, M. An Innovative Method for Sex Determination of the European Spruce Bark Beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytinae). *Entomologia Generalis*, 2012, vol. 34, no. 1-2, s. 111-118.
- GALKO, J.; NIKOLOV, CH.; KUNCA, A.; VAKULA, J.; GUBKA, A.; ZÚBRIK, M.; RELL, S.; KONŮPKA, B. Effectiveness of pheromone traps for the European spruce bark beetle: a comparative study of four commercial products and two new models. *Forestry Journal*, 2016, vol. 62, s. 207-215.
- HLÁSNÝ, T. ZIMOVÁ, S., MERGANIČOVÁ, K., ŠTĚPÁNEK, P., MODLINGER, R., TURČÁNI, M. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management*, 2021, vol. 490, 119075.
- HO, S.H.; FAN, L.; BOON, K.S. Development of a PC-based automatic monitoring system for *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in a rice warehouse. *Journal of Stored Products Research*, 1997, vol. 33, no. 4, s. 277-281.
- MODLINGER, R.; LIŠKA, J.; KNÍŽEK, M.; ADAM, D.; JANÍK, D.; HORT, L. Ochrana lesa před lýkožroutem smrkovým v ochranném pásmu lesních rezervací ponechaných samovolnému vývoji. *VÚLHM, Strnady. Lesnický průvodce* 9, 2015. 67 s.
- RATY, L., DRUMONT, A., WINDT, N., GRÉGOIRE, J.-C.: Mass trapping of the spruce bark beetle *Ips typographus* L.: traps or trap trees? *Forest Ecology and Management*, 1995, vol. 78, s. 191-205.
- WERMELINGER, B. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 202, no. 1–3, s. 67–82.
-

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

Garantující pracoviště

Excelentní tým pro mitigaci

Konzultant

Ing. Martin Leiner

Elektronicky schváleno dne 12. 10. 2022

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Ověření přesnosti automatického feromonového lapače při zjišťování početnosti *Ips typographus* (L.)“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze, 05. 04. 2023

František Richter

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především panu Ing. Romanu Modlingerovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, odborné rady, připomínky a za pomoc se zpracováním statistických dat, dále bych rád poděkoval panu Ing. Martinu Leinerovi za jeho cenné rady, pomoci při zpracování a za pomoc při sběru dat v Kostelci nad Černými lesy. Dále chci poděkovat rodině a přátelům za morální podporu.

František Richter

OBSAH

PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
ANOTACE	8
ANNOTATION.....	9
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	10
1 ÚVOD	11
2 CÍL PRÁCE.....	12
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE	13
3.1 BIONOMIE	13
3.1.1 Morfologie lýkožrouta smrkového.....	13
3.1.2 Rozšíření.....	14
3.1.3 Popis životního cyklu.....	15
3.1.4 Populační dynamika.....	19
3.1.5 Feromonová komunikace	20
3.2 HOSPODÁŘSKÝ VÝZNAM A ŠKODLIVOST	21
3.2.1 Hospodářský význam.....	21
3.2.2 Legislativa	24
3.3 METODY KONTROLY A OCHRANY LESA PROTI IT	26
3.3.1 Prevence	26
3.3.2 Těžba napadených stromů.....	26
3.3.3 Feromonové lapače	26
3.3.4 Lapáky.....	28
3.3.5 Trojnožky.....	30
3.4 AUTOMATICKÉ PASTI NA CHYTÁNÍ HMYZU.	30
4 METODIKA	32
4.1 KOSTELEC NAD ČERNÝMI	32
4.2 KLIMATICKÉ POMĚRY	32
4.3 DRUHOVÁ SKLADBA	32
4.4 POSTUP METODIKY.....	33

5	VÝSLEDKY	40
6	DISKUSE	43
7	ZÁVĚR	47
8	LITERATURA	48

Anotace

Práce zahrnuje přehled bionomie, morfologie, rozšíření, hospodářského významu a škodlivosti lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) v lesním hospodářství. Práce se detailněji zaměřuje na ověření přesnosti elektronického modifikovaného feromonového lapače typu Theysohn s funkcí okamžitého odesílání nasbíraných dat na cloud. Pro ověření jeho účinnosti byl současně instalován klasický feromonový lapač, oba byly v letní sezóně pravidelně vybírání. Lapače byly umístěny na pasece na lesním úseku Ostrák který je součástí Školního lesního podniku (Lesy ČZU) České zemědělské univerzity v Praze. Pro každý sběr byl zjištěn počet odchycených brouků v kontejneru a jeho celková hmotnost. Na základě těchto údajů byl obsah váhy přepočítán na počet lapených jedinců. K přepočtu váhy na jedince bylo využito dat (BEDNARZ & KACPRZYK, 2012) a vlastního laboratorního měření u 100 brouků.

Rozdíl v počtu odchycených jedinců mezi automatickým a kontrolním lapačem není statisticky významně odlišný, tzn. konstrukce automatického lapače neovlivňuje významně odchyt, avšak průměrně 6 % brouků se nacházelo mimo záchytný kontejner, což bylo způsobeno malou mezerou mezi zmiňovaným kontejnerem a korýtkem samotného lapače. Avšak hlavním cílem práce bylo ověření přesnosti modifikovaného lapače, nikoliv jejich porovnání. Schopnost lapače stanovit počet lýkožroutů pomocí váhové metody se ukázala problematická. Při dalším vývoji bude nutné změnit systém konstrukce lapače a umožnit častější kalibraci systému.

Klíčová slova: Kůrovci, ochrana lesa, automatický lapač, váha hmyzu, past

Annotation

The thesis includes an overview of the bionomy, morphology, distribution, economic importance, and harmfulness of the spruce bark beetle (*Ips typographus*) in forestry. The thesis focuses in detail on the verification of the accuracy of an electronically modified pheromone trap of the Theysohn type with the function of instant sending of collected data to the cloud. To verify the effectiveness, a conventional pheromone trap was installed simultaneously, and both were collected regularly during the summer. The traps were placed in a clearing in the forest section Ostrák, part of the School Forest Enterprise of the Czech University of Agriculture in Prague. The number of beetles trapped in the container and their total weight were recorded for each collection. Based on these data, the weight content was converted to the number of captured individuals. Data (BEDNARZ & KACPRZYK, 2012) and our laboratory measurements on 100 beetles were used to convert the weight to individuals.

The difference in the number of captured individuals between the automatic and control trap is not statistically significantly different, i.e., the design of the automatic trap does not considerably affect the capture, but on average, 6 % of the beetles were outside the capture container, which was due to the small gap between the mentioned container and the trough of the trap itself. However, the main aim of this work was to verify the accuracy of the modified trap, not to compare them. The ability of the trap to determine the number of bark beetles using the weighting method proved problematic. Further development must modify the trap design and allow more frequent system calibration.

Key words: Bark beetles, forest protection, automatic trap, insect weight, pests management

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek č. 1: Graf o objemu kůrovcového dříví (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství 2021).....	24
Obrázek č. 2: Pohled na paseku, kde byly lapače umístěny (Richter, 2022).	33
Obrázek č. 3: Automaticky feromonový lapač, na kterém jsou vidět připojené senzory ve spodní části (Richter, 2022).....	34
Obrázek č. 4: Klasický lapač, který byl kontrolní proti automatickému feromonovému lapači (Richter, 2022).	35
Obrázek č. 5: Graf o denním přehledu srážek.....	36
Obrázek č. 6: Graf o denním přehledu teploty vzduchu	37
Obrázek č. 7: Odchytné korýtko s nalétaným kůrovcem (Richter, 2022).....	38
Obrázek č. 8: Přehled veličin měřených v automatickém lapači. Hmotnost [g] (zelená), relativní vlhkost vzduchu [%] (modrá), teplota [°C] (červená), interval měření 30 min. ...	39
Obrázek č. 9: Počet odchycených dospělců lýkožrouta smrkového ve sledovaném období.	40
Obrázek č. 10: Krabicový graf počtu odchycených dospělců lýkožrouta smrkového ve sledovaném období.....	41
Obrázek č. 11: Maticový graf párových vztahů mezi proměnnými, číselné hodnoty vyjadřují Pearsonův korelační koeficient mezi proměnnými, bodové grafy nad diagonální osou zobrazují detailní párové vztahy pro jednotlivé případy.	42

1 Úvod

Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.) je významným škůdcem smrkových porostů, který v poslední době způsobil značné škody v lesích Evropy (WERMELINGER, 2004). Jeho identifikace a monitoring je klíčovým faktorem pro úspěšnou ochranu lesů. Jednou z metod, které umožňují zjišťovat početnost lýkožrouta smrkového, jsou feromonové lapače. Tyto lapače jsou založeny na používání agregčních feromonů. Automatické feromonové lapače by umožnily snadnou a rychlou kontrolu početnosti lýkožrouta smrkového v porostech. Zároveň by ušetřila čas lesního personálu, který by se mohl věnovat jiným činnostem.

V posledních letech se gradace lýkožrouta smrkového několikanásobně zvýšila nejen v České republice, ale i v ostatních zemích Evropy. To je částečně způsobeno kombinací teplého a suchého počasí, či oslabením smrků vlivem jiných stresorů.

Aby bylo možné účinně reagovat na gradaci lýkožrouta smrkového, je důležité monitorovat početnost kůrovce pomocí pravidelných kontrol lesů a využití obranných opatření, jako jsou feromonové lapače. Na základě těchto informací mohou lesní pracovníci přijmout opatření, jako je třeba včasná těžba napadených stromů nebo asanace, aby minimalizovali škody způsobené gradací lýkožrouta.

Z tohoto důvodu vznikla tato studie aby ověřila možnost využití automatických lapačů v budoucnu.

2 Cíl práce

Počty odchycených jedinců lýkožrouta smrkového do feromonových lapačů jsou důležitým ukazatelem v plánování ochrany lesa proti tomuto škůdci. Avšak pravidelné výběry a kontroly lapačů časově zaměstnávají čas lesního personálu. Vhodnou možností jak tento problém vyřešit je automatizace kontrol. K tomu byl v rámci projektu EXTEMIT-K vytvořen lapač se zabudovaným váhovým systémem. Nyní je potřeba ověřit přesnost tohoto prototypu v porovnání s klasickým lapačem.

3 Literární rešerše

3.1 Bionomie

3.1.1 Morfologie lýkožrouta smrkového

Lýkožrout smrkový, *Ips typographus*, je jeden z nejvážnějších hmyzích škůdců, byl popsán Linném v roce 1758 (BEDNAR & KACPRZYK, 2012). V současné době tento škůdce patří do čeledi nosatcovití (Coleoptera: *Curculionidae*), podčeledi kůrovci (*Scolytinae*). V poslední době došlo k významným změnám ve vyšších taxonomických zařazeních čeledi kůrovcovití (*Scolytidae*), kde byla tato podčeď překlasifikována do čeledi (*Curculionidae*), z velké části na základě podobnosti preimaginálních stádií, (MODLINGER et al., 2015). Lýkožrout smrkový má jako většina druhů hmyzu proměnu dokonalou přes stádium vajíčka, larvy, kukly a nakonec dospělce (HŮRKA & ČEPICKÁ, 1978).

Jde o druh dosahující velikosti imága 4-5,5 mm, černého zbarvení, lesklý a 1,9 mm široký válcovitého tvaru (PFEFFER, 1955). Nicméně se mohou vyskytovat i menší jedinci, což je důsledek nedostatku potravy v larválním stádiu (SKUHRAVÝ, 2002). Štít je vpředu hrbolkatý, vzadu je jemně tečkovaný až hladký. Mezirýží mezi řádky teček na krovkách je hladké. Prohlubeň na okraji krovek je matná a vroubená z každé strany čtyřmi většími zuby, z nichž ten třetí od shora je největší (FORST et al., 1970). Všechny čtyři zuby jsou od sebe rovnoměrně vzdáleny (PFEFFER, 1955). Čelo lýkožrouta je hrbolkaté s velkým hrbolkem uprostřed předního čelního okraje. Tykadla jsou nažloutlá, lomená a zakončená paličkou, tvořenou třemi články. Na velké oválné tykadlové paličce jsou jasně vidět zprohýbané švy (KULA, 2014). Samice lýkožrouta smrkového se od samce liší vyšším počtem chloupků na přední straně štítu a také rýhami, které se nachází pod ústním ústrojím (KULA, 2014). Uvádí se i jiné rozlišovací znaky, jako jsou například výraznější hrbolky na zadní části hlavy nad mandibulami u samců nebo třetí zub na zadní části krovek, který by měl být větší (SCHLYTER & CEDERHOLM, 1981).

Vajíčka lýkožrouta smrkového jsou oválného tvaru, bílá, lesklá a v průměru dosahují velikosti 1 mm (PFEFFER, 1955). Ve stádiu vajíčka trvá vývoj 7-14 dní (JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015).

Larvy lýkožrouta smrkového mají tři instary. Jsou mírně bělavé, beznohé a mají chitinizovanou nahnědlou hlavu, která je částečně redukována a zatažitelná do prvního hrudního článku. Dospělá larva dosahuje velikosti 5-6 mm. Vývoj larev závisí na teplotě

prostředí, při optimální teplotě, která nastává při 29 °C trvá vývoj larev jeden týden, naopak pokud teplota klesá k 10 °C, může se vývoj prodloužit až na 7-8 týdnů (PFEFFER, 1955). Na hlavové schránce larev prvního instaru rostou tupě ozubená kusadla prvního páru. Pod kusadly prvního páru se nacházejí kusadla druhého páru s krátkými dvoučlennými čelistními makadly a krátký čelistní lalok, pokrytý krátkými, silnými ostny. Třetí pár srůstá ve spodní pysk, který je opatřen krátkými dvoučlennými makadly. Nejvyvinutější je první hrudní článek. Středohrud', zadohrud' a osm zadečkových článků je proporcionálně shodných, devátý je zvětšený a ztloustlý, desátý článek je průsvitný. Na povrchu článků porůstají jemné, krátké a světlé brvy, viditelné pouze při zvětšení. Larvy se líhnou po 6-18 dnech (PFEFFER, 1955; KULA, 2014). PFEFFER (1955) uvádí, že larvy se líhnou po 7-14 dnech.

Kukla je bílé barvy, dlouhá asi 5–6 mm, s viditelnými orgány, je volná a zakončena dvěma trny (ZUMR, 1995; ZAHRADNÍK & KNÍŽEK, 2000). Kukla je uložena v takzvané kukelné kolébce, kterou vytvořila larva v lýku, po dobu 6-17 dní (KULA, 2014).

3.1.2 Rozšíření

V podmínkách palearktické oblasti se jedná o nejvýznamnějšího kůrovce, který je vázaný především na jehličnaté porosty (CHRISTIANSEN & BAKKE, 1988). Lýkožrout smrkový je rozšířen téměř po celé Evropě, avšak významných populací dosahuje i na Sibiři, Číně, Japonsku a Koreji (BEDNAR & KACPRZYK, 2012). SKUHRAVÝ (2002) uvádí rozšíření tohoto druhu kůrovce od oblastí Pyrenejí na španělsko-francouzských hranicích, až po nejvýchodnější hranici japonských ostrovů, konkrétně se jedná o ostrov Hokkaidó. Severní hranice rozšíření v Asii je tvořena jižními oblastmi arktické tundry, jižní hranice areálu probíhá skrze nejsevernější Kazachstán, Mongolsko a Čínu. V Sibiřských oblastech zabírá obrovskou plochu západosibiřské nížiny po obou stranách řeky Ob. Dosahuje dalekých oblastí jako jsou Jakutsk a Zabajkalí, kde se vyvíjí na borovici limbě (*Pinus cembra*) ve výškách nad 800 m.n.m napadá také smrk. Ve východních částech Asie napadá několik druhů jedle, borovic a smrků (SKUHRAVÝ, 2002).

Z Evropských zemích byl během 20 let zpozorován v Irsku a Anglii, kde několik autorů uvádí, že zde byl zavlečen (O'CONNOR & NASH, 1982) V severní Evropě se vyskytuje v oblastech Skandinávie v Norsku, Švédsku i Finsku. Dále se objevuje v Pyrenejích na španělsko-francouzské hranici. Obývá též celý východ Francie odkud se táhne přes Belgie.

Ve střední Evropě se objevuje v zemích jako je Rakousko, Česká republika, Slovensko, Německo, Polsko a Maďarsko, Bělorusko, Ukrajina a Pobaltské státy. Severní hranice areálu

rozšíření v Evropě probíhá skrz Laponsko, jižní hranice probíhá severním Řeckem a Tureckem (SKUHRAVÝ, 2002).

V České republice je lýkožrout k nalezení téměř všude, kde se nachází smrk avšak více se vyskytuje v jižní, střední a severní části Čech, vyskytuje se také v částech Moravy a Slezska. (KULA, 2014).

3.1.3 Popis životního cyklu

Počet vyprodukovaných generací během jednoho roku závisí na nadmořské výšce. V nadmořských výškách do 800 m n. m. produkuje dvě až tři generace ročně, jeho reprodukční potenciál je ovlivněn zejména počasím. Ve vyšších nadmořských výškách dosahuje lýkožrout jedné generace (JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015). V místě vývoje preferuje hibernaci pod kůrou dřeviny ve stadiu larvy, kukly nebo imaga (KULA, 2014)

Pokud brouci nejsou po probuzení z vegetačního klidu zcela vyspělí, musí před rojením přijímat potravu. Potřebují alespoň 14 dní na to, aby se jim obnovily létací svaly, které na podzim ochably a sloužily jako zdroj energie. Podobně se během zakládání snůšky zkracuje délka létacího svalu, aby se vytvořilo místo pro vaječníky. Letová svalstva se obnoví až po naklazení vajíček (FORSSE & SOLBRECK, 1985). Hromadný let dospělých jedinců lýkožrouta smrkového za účelem vyhledání vhodného stromu, konkrétně se jedná o smrk ztepilý (*Picea abies*) pro tvorbu nové generace se označuje jako rojení (swarming). Za příznivých podmínek je jarní rojení spontánní, intenzivní a poměrně krátké. (KULA, 2014).

Vzhledem k pozvolnému ukončení vývoje první generace lze letní rojení označit za rozptýlené, méně intenzivní a zdlouhavější. Na jaře hmyz létá během odpoledne, zatímco v létě naopak za poledního vedra. Rojení přerušují srážky a chladné počasí. Na zahájení rojení má vliv stupeň vývoje přezimujícího hmyzu, nadmořská výška a expozice stanoviště (MERKER & WILD, 1954; MERKER, 1957). Samci se vyvíjejí dříve a zahajují období rojivého letu jako první. V chladnějších klimatických podmínkách ve výše položených oblastech nebo na severních lokalitách se přesouvá rojení na konec července. Obecně má mikroklima podstatný vliv na růst a pozdější rojení hmyzu (ZUMR, 1995). Schopnost efektivního šíření je rozhodující pro vznik nových oblastí výskytu. Pokud se v blízkém prostoru rojení nacházejí vhodné hostitelské stromy, brouci se rozšíří pouze na krátkou vzdálenost, a dosáhnou tak dostatečného počtu, aby účinně překonali obranu stromu. Pokud se brouci rozptýlí na velkou vzdálenost, jejich počet zůstane pod úrovní kritéria pro efektivní kolonizaci stromu. (KAUTZ et al., 2011). Velké množství neopracovaného kůrovcového

dříví, přemísťování brouků z různých míst, teplota (rychlost vývoje), letová aktivita a počet generací jsou proměnné, které zvyšují možnost přemnožení.

Dle WERMELINGERA (2004) začíná letová aktivita brouků okolo 9:00 hodin a trvá celý den až do večerních hodin zhruba do 21:00. Optimálních teplot pro maximální letovou aktivitu bývá dosaženo v poledních či odpoledních hodinách (WERMELINGER, 2004). Nicméně letová aktivita úzce souvisí s teplotou, pro let je nezbytná minimální teplotní hranice 16,5 °C, přičemž optimální teplota pro let se nachází mezi 22 a 26 °C. Při 20 °C nastává proces rojení, který dosahuje svého vrcholu při 29 °C. V nižších oblastech, jako jsou podhůří (300–400 m.n.m.), k rojení dochází koncem dubna, ve vyšších nadmořských výškách (400–600 m.n.m.) začátkem května a v horských oblastech od konce května do začátku června (PFEFFER, 1955). Mezi létavými brouky je nutné rozlišit dvě skupiny, nedospělé brouky, kteří se nemohou rozmnožovat a brouky dospělé. První brouci, kteří bývají označováni též jako pionýrští brouci, začínají létat vždy o 1-2 týdny dříve, než nastane pravé svatební rojení a hromadně nalétávají na okraje odchlíplé kůry na pařezech, na kraje neoloupaných stromů, na odříznuté vrcholky stromů, na spodní stranu silnějších a na zemi ležících, čerstvě odseknutých větví, kde hledají svůj úživný žír a pohlavně dospívají. Po 7-14 dnech žír končí a nalétají na kmeny, aby se zde mohli rozmnožovat. Samec začíná nálet na strom tím, že vyhledává vyčnívající šupiny smrku, v okolí suků a podobná místa, kde se zakousává pod kůru. Místo kde se samec zakousává je dobře poznat pomocí hnědých drtinek. Zdravé kmeny jsou zpočátku odolné, vylučují pryskyřici, ale jak dochází k náletu většího počtu jedinců, nejsou schopny útoku kůrovce odolat a podlehnou mu. Samec pak pokračuje ve vytváření snubní komůrky, což trvá přibližně dva až čtyři dny. Během následujících dní se začínají rozmnožovat, je to dříve než brouci první skupiny, přestože se rojí o něco později (PFEFFER, 1955). Na stromy nalétávají jako první samci, kteří preferují starší osluněné stromy, rostoucí na okraji porostu. Prvotní nálet směřuje do podkorunové sekce stromu. Pionýrští brouci, kteří po náletech na smrky začnou produkovat agregační feromony, postupně překonají obranyschopnost napadeného stromu a zahájí tak, v důsledku produkce agregačních feromonů, hromadný nálet (ZAHRADNÍK & GERÁKOVÁ, 2010). Při obsazování stromů, jsou známy dvě hypotézy (RUDINSKY, 1962). První hypotézou je že, samci preferují slabší stromy, které z důvodu svého oslabení prochází chemickou změnou probíhající v lýku lákající lýkožrouty. Stromy, však nejsou schopny se náletu většího počtu brouků ubránit, tito brouci reagují na agregační feromony produkovány žeroucími samci. Druhou hypotézou

je že, samci náhodně a rovnoměrně nalétávají na stromy, které splňují podmínky pro vývoj lýkožrouta smrkového.

Disperze lýkožrouta smrkového je nesmírně pestrá a dosud nebyla uspokojivě objasněna. Směr šíření je většinou určován rychlostí větru a charakterem okolních lesních porostů (FRANKLIN et al., 2000; KAUSRUD et al., 2012). Pokud rychlost větru přesáhne 2 ms^{-1} , má směr proudění větru největší vliv na aktivní šíření lýkožrouta smrkového. Při vyšších rychlostech se jedná o pasivní přenos. Lýkožrout může létat proti směru větru i při mírných rychlostech větru (1 ms^{-1}). Během disperze se brouci orientují převážně podle čichu (KAUSRUD et al., 2012), a pokud se setkají s těkavými sloučeninami hostitele, změni trajektorii letu směrem ke zdroji. Feromon pak má rozhodující účinek na menší vzdálenosti. WERMELINGER (2004) uvádí, že aktivní letová vzdálenost nepřesahuje 500 m, avšak tyto údaje se mohou lišit, jak je zmíněno jedná se především o výskyt větru či teplých proudů.

Podíl rozptylující se populace je většinou určen koncentrací feromonu v bezprostřední blízkosti místa vzletu brouků. Pokud je vzduch nasycen feromonem, jako je tomu v lokalitách s velkou populační hustotou a množstvím zranitelných stromů vhodných k napadení, většina létajících brouků prozkoumá blízké okolí a reaguje na feromon z bezprostřední blízkosti. Pokud v době výletu brouků není k dispozici žádný zdroj feromonu, brouci stráví méně času zkoumáním blízkého okolí a rychle odletí, než zareagují na feromon (FRANKLIN et al., 2000). K pozorování většího počtu emigrujících brouků proto dochází v oblastech, kde probíhá těžba (MODLINGER et al., 2015).

Za příznivých podmínek je kůrovec schopen napadnout zdravé stromy a způsobit jejich přímou mortalitu (CHRISTIANSEN & HUSE, 1980). Jedním z příkladů, kdy nastává mortalita stromu je velikost populace, která se účastní náletu. Dále se zde dá zmínit několik faktorů, které mají na úhyn stromu přímý vliv, jako jsou podmínky stanoviště, zdravotní a fyziologický stav samotného stromu nebo výskyt lýkožrouta v okolních porostech. Při větším přemnožení není strom schopen dále odolávat a populační hustota se projevuje jako důležitý faktor zejména při náletu na zdravé stromy (Kula, 2014). Lýkožrout pod kůrou tvoří charakteristický požerek, který je od ostatních druhů kůrovců dobře rozpoznatelný. Snubní komůrka bývá ukryta v kůře a při odloupení kůry bývá neznatelná. Směrem nahoru a dolů míří matečné chodby (PFEFFER, 1955). Požerky jsou obvykle 2–3 ramenné, pokud je větší obsazení kmene má požerek 1 matečnou chodbu, která vychází ze snubní komůrky, a vede

podélně s osou kmene. Délka požerku se pohybuje mezi 6-12 cm s šířkou 3-3,5 mm (MODLINGER et al., 2015).

Na jednoho samce připadají 1–3 samice. Po spáření hlodá každá samice svoji matečnou chodbu, kde do zářezů po stranách matečné chodby klade vajíčka, kterých je v průměru okolo šedesáti (PFEFFER, 1955). WERMELINGER (2004) uvádí že, samice je schopna snést maximálně osmdesát vajíček. Avšak většina autorů se shoduje že vliv na množství kladených vajíček je ovlivněn především nadmořskou výškou. S rostoucí nadmořskou výškou se počet kladených vajíček snižuje. Někteří autoři jako ZUMR (1985) a KULA (2014) uvádějí, že počet se snižuje při přesáhnutí 1000 m.m.m., naopak při 500 m.n.m. se počet kladených vajec může zvýšit od uváděného průměru. Optimální teplota pro vývoj se pohybuje okolo 8,3 °C, pro produkci vajíček je popisována hodnota 11,4 °C. Ideální teplota pro vývoj brouků je 30,4 °C.

Kladení vajíček trvá zhruba 7-10 dní (ZAHRADNÍK & GERÁKOVÁ, 2010). Během kladení je samice vícekrát oplozována. Po 6-18 dnech se z nakladených vajíček líhnou larvy. Vývoj vylíhnutých larev trvá 7-50 dnů, záleží na teplotních podmínkách. Larva se zažírá do lýka a hlodá kolmo na směr matečné chodby. V dalším vývoji se 4-5krát svléká a nabývá na objemu. Chodba, kterou larva vyhlodává, se rozšiřuje a je vyplněna hnědávým trusem. Nejdelší jsou chodby larev, které se vylíhly poblíž snubní komůrky (PFEFFER, 1955). Období kukly trvá 8 dnů za příznivých podmínek, průměrně obvykle asi 14 dnů. Polovina vylíhlých brouků jsou samci a polovina samice. Tito vylíhlí brouci nejsou ihned schopni dalšího rozmnožování a musí pohlavně dozrát. Období tohoto pohlavního dospívání trvá 2-3 týdny. V této době hlodá brouk z místa, kde se vylíhl, nepravidelnou a parohovitě se vinoucí chodbu. Teprve při tomto úživném žíru brouk zcela ztmavne (PFEFFER, 1955). Celý vývoj lýkožrouta smrkového, od zavrtání samce do kůry až po výlet nových dospělých jedinců, trvá nejméně 6-10 týdnů (PFEFFER, 1955).

Dospělí jedinci přezimují pod kůrou stromů, popřípadě v hrabance. Údaje o počtu přezimujících brouků v půdě se u různých autorů liší. Někteří autoři uvádějí, že přezimují asi 4 % brouků, jiní autoři uvádějí, že počet přezimujících brouků dosahuje až 80 % (SKUHRAVÝ, 2002). Důvodem tohoto rozdílu souvisí se stavem populací kůrovce na stromech. Pokud poslední či sesterská generace brouků dokončí vývoj do dospělosti na začátku zimy, opustí stromy a přezimují v hrabance. Pokud populace pouze dokončí svůj vývoj do stádia larvy nebo kukly, pak zůstává pod kůrou a strom opouští jen malý zlomek

jedinců, kteří celý vývoj úspěšně dokončí (SKUHRAVÝ, 2002). Další vliv na vývoj má mortalita, která postihuje všechna vývojová stádia. Stádium vajíčka ohrožují především entomofágové jako jsou například larvy pestrokrovecníka mravenčího *Thanasimus formicarius* (Linnaeus, 1758). Pokud se jedná o stádium larev je zde faktorů způsobující mortalitu několik jako jsou třeba entomofágové, ptáci, houbové patogeny či plísně a roztoči. Na úmrtnost kukel mají vliv především datlovití ptáci. Pro samce je jedním z prvních mortalitních faktorů hlodání závrtového otvoru, pokud jsou osidlovány zdravé stromy s dostatečným množstvím pryskyřice dochází k jejich zalévání. Takto hyne polovina až dvě třetiny samců (KULA, 2014).

Brouci, přezimující v půdě nebo pod kůrou, opouštějí svá zimoviště za příznivých podmínek při 18-20 °C a po několika dnech (dospívání) jsou připraveni vylétnout na stromy (SKUHRAVÝ, 2002). PFEFFER (1955) a FORST et al. (1970), uvádějí, že brouci vykazují aktivitu při zahřátí kůry nebo hrabanky na 14°C.

3.1.4 Populační dynamika

Populační hustota lýkožrouta smrkového v porostech je významným faktorem určujícím budoucí gradaci (ERIKSSON et al., 2008). *Ips typographus* je považován za sekundárního škůdce, což znamená, že se dobře vyvíjí na poškozených nebo odumírajících dřevinách. Lýkožrout tak na začátku svého šíření dává přednost raději oslabeným stromům. Pokud populace dosahuje vysokých stavů je schopen lýkožrout napadnout a usmrtit zdravé stromy (ZATLOUKAL, 1998). Klimatické podmínky mohou mít také vliv na populační dynamiku prostřednictvím extrémních období sucha, které zvýší zranitelnost dřevin (WERMELINGER 2004; JACTEL et al. 2012). Vzhledem k významnému vlivu přímého působení teploty na dobu vývoje (WERMELINGER & SEIFERT, 1998) a počtu generací (BAIER et al., 2007), se předpokládá rychlá reakce tohoto druhu na změnu klimatu. Gradace lýkožrouta byly také spojeny s nárůstem větrných kalamit a tudíž s materiálem vhodným k rozmnožování (CHRISTIANSEN & BAKKE, 1988).

Vysoká úroveň reprodukce v první generaci signalizuje založení početné druhé generace, která v následující sezóně vyprodukuje mnoho dospívajících jedinců. Z abiotických faktorů je nejdůležitějším faktorem podle LOGANA & POWELLA (2001) nadmořská výška. Stanovištní faktory sklonu a expozice také mohou hrát významnou roli při šíření lýkožrouta (WULDER et al., 2006).

Lze tedy říci, že šíření kůrovce je ovlivněno složitou interakcí mezi aktivními populačními faktory na jedné straně a faktory stanoviště s různým stupněm významnosti v určitých fázích na straně druhé. To ukázalo, že složitost procesů a faktorů může prakticky znemožnit předpověď budoucího šíření nebo dynamiky současného průběhu napadení (LAUSCH et al., 2011).

3.1.5 Feromonová komunikace

U kůrovců obecně nalétá na hostitelskou dřevinu jako první samec.. Rozlišujeme dva typy obrany stromu. Za první preventivní odolnost stromu, při níž jsou zdroje vynakládány na obranu proti napadení kůrovcem (tloušťka kůry, vertikální systém pryskyřičných kanálků), a za druhé indukovanou odolnost, při níž jsou zdroje investovány až v průběhu napadení (indukovaný tok pryskyřice, hypersenzitivní reakce, prodloužená odolnost). Stromy, které úspěšně odolaly napadení lýkožroutem, jsou odolnější vůči budoucímu napadení, což je vlastnost známá jako sekundární rezistence. Protože obranný mechanismus musí reagovat na jednotlivé napadené brouky a je energeticky velmi nákladný, může strom tuto energetickou náročnost splňovat pouze po omezenou dobu. Vlivem obrany proti těmto jedincům ztrácí smrk postupně svou vitalitu, následně ztrácí schopnost odolávat ostatním pionýrským broukům, kteří začínají produkovat agregační feromon, čímž se spouští hromadný nálet na cílový strom nebo stromy vyskytující se v okolí. Agregační feromony produkují úspěšní, přeživší samci lýkožrouta během několika hodin až dvou dnů po napadení stromu (BIRGERSSON et al., 1984). Vytváří se v zažívacím traktu samců, během přeměny chemických látek (terpeny) obsažených v kůře a lýku smrků, v přítomnosti symbiotických mikroorganismů (ZAHRADNÍK et al., 1993). Samci ve snubních komůrkách vylučují populačně pohlavní látky jako jsou:

a) cis-verbenol – tento feromon je společný pro několik druhů rodu *Ips*. jedná se o základní komponent agregačního feromonu samců.

b) metylbutenol (2-metyl-3-buten-2-ol) – tento feromon je naopak specifický jen pro lýkožrouta smrkového. Je základem agregačního feromonu samců.

c) verbenon vzniká z trans-verbenolu + α -pinenu oxidací a jedná se o antiagregační feromon. Je produkován samicemi jako prevence regulující hustotu osídlení stromu, aby zde byl dostatečný prostor pro vývoj larev, produkováním tohoto feromonu je nálet zastaven.

d) ipsdienol (2-methyl-6-methylen-2,7-octadien-4-ol) - fenolová sloučenina společná více druhům rodu Ips.

e) ipsenol (2-methyl-6-methylen-7-octan-4-ol) - antiagregační účinky

f) myrtenol

g) transmyrtenol

Budeme-li vycházet z předpokladu, že agregační feromony jsou právě nástrojem pro spuštění náletu a překonání obranyschopnosti stromu, zdá se druhá hypotéza náletnutí stromu pravděpodobnější.

Pro zvýšení intenzity lákání vyzývající k náletu na strom jsou produkovány i jiné složky (VITĚ et al., 1972, BAKKE et al., 1977), některé z nich se využívají při výrobě syntetických feromonů. Přílet samic je ovlivněn především pohlavními feromony.

Následným náletem samic a naplněním kapacity požerku a stromu, začnou samice produkovat antiagregační feromony (ipsenol, verbenol), které fungují jako krytí a usměrňují disperzi v profilu kmene a přesměrování náletu na jiné stromy v okolí. Tímto krokem lýkožrout upravuje kapacitu stromu, aby nedošlo v rámci překročení populace k nedostatku potravy pro vývoj larev (SCHLYTER et al., 1985).

3.2 Hospodářský význam a škodlivost

3.2.1 Hospodářský význam

Největšímu přemnožení lýkožrouta smrkového, které lze označit za kalamitu, dominují tři historické kalamity. První z těchto tří kalamit je z let 1868-1878 v části Bavorska, Rakouska a v oblasti dnešní České republiky. Tu následovala kůrovcová kalamita v Německu a střední části Evropy, která se objevila na konci druhé světové války a v období po ní zejména v letech 1942-1953. Do roku 2002 zasáhla střední Evropu kůrovcová kalamita v letech 1970-2000 (SKUHRAVÝ, 2002). Závažnost kůrovcových kalamit v Evropě se v posledních desetiletích dramaticky zvýšila. Objem smrkového a borového dřeva poškozeného kůrovcem vzrostl za předchozích čtyřicet let přibližně o 700 %, z 2,1 mil. m³ v letech 1971-1980 na 14,5 mil. m³ ročně v letech 2002-2010. (SEIDL et al., 2014). Tento nárůst byl částečně způsoben historickými změnami ve struktuře lesů a druhové skladbě dřevin,

protože evropské lesy byly v průběhu staletí lidmi značně pozměněny. Kromě toho introdukce smrku ztepilého v oblastech mimo jeho původní areál zvýšila zranitelnost evropských lesů vůči napadení kůrovcem a také nárůst zásob a výnosů (HLÁSNÝ et al., 2019).

V oblasti dnešní Evropy dochází v posledních 200 letech k větším počtům přemnožení lýkožrouta smrkového. Kromě uváděných kalamit ve státech jako jsou Německo, Rakousko, Česká republika, Švédsko a Norsko, se lýkožrout přemnožil i v ostatních evropských státech zejména ve Francii, severní Itálii, Švýcarsku, ale i ve státech na Balkánském poloostrově jako je Srbsko, Rumunsko, Bosna a Hercegovina, dále také v Pobaltských státech. K těmto kalamitám je nutno připojit taky oblasti Uralu, východní a západní části Sibíře (SKUHRAVÝ, 2002).

V podmínkách Evropy se škody, které způsobuje kůrovec v lesích v posledních desetiletích neustále zvyšují kůrovec v lesích v posledních desetiletích neustále zvyšují (SCHELHAAS et al., 2003; SEIDL et al., 2014). Jedná se o jednoho z nejagresivnějších druhů kůrovce v Eurasii (HLÁSNÝ et al., 2021). I když aktuálně čelí ochrana lesa od roku 2015 nejvýznamnější a největší kůrovcové gradaci v novodobé historii, nemáme mnoho přesných informací o jednotlivých druzích kůrovců a jejich zastoupení na nahodilých těžbách na smrku. (HOLUŠA et al., 2017; VINDSTAD et al., 2019; HLÁSNÝ et al., 2021).

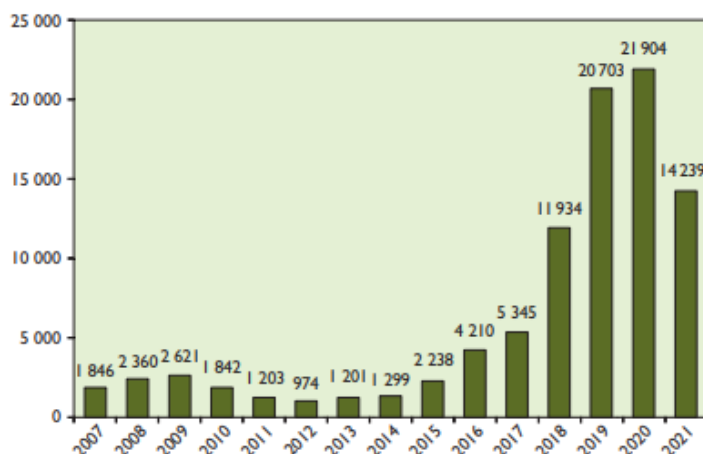
Jak je již známo, kůrovci jsou jedním z hlavních rušivých činitelů, kteří svým působením a vlivem ovlivňují strukturu, fungování a skladbu lesů (VINDSTAD et al., 2019). V Evropě je lýkožrout smrkový škůdce, který působí významné ekonomické škody, zejména tím, že napadá dospělé smrkové porosty (CHRISTIANSEN & BAKKE, 1988). Jelikož je smrk základní hospodářskou dřevinou v mnoha zemích, mají kůrovcové kalamity vážný dopad jak na ekonomiku států, tak na samotné lesní hospodářství a dřevařství (HLÁSNÝ et al., 2021). Tyto kalamity postihují celé odvětví, které je založené na lesnictví a mají také vliv na mezinárodní obchod se dřevem (GRÉGOIRE et al., 2015). Avšak kůrovcové kalamity nemají vliv pouze na ekonomiku, ale také zapříčiňují negativní dopad na kulturní stránky lesa, do čehož se může počítat estetická a rekreační funkce lesa (HLÁSNÝ et al., 2019). Podle PFEFFERA (1955), se kůrovci dají rozdělit na tři skupiny, které jsou člověku užitečné, indiferentní a škodlivé, které u nás naprosto převládají. Škoda na dřevině vzniká během samotného vývoje kůrovce, kdy zakládá matečné chodby a při žíru larev, nebo kdy probíhá úživný žír (PFEFFERA, 1955).

Poškození, ke kterému dochází během vývoje kůrovce, kdy dochází k poškozování nebo odumírání jak celých rostlin, tak i dřevin. Z pozorovaných druhů se nejvíce jedná o *Ips*

typographus, *Pityogenes chalcographus* (Linnaeus, 1761) a v poslední době se rozšiřující druh *Ips duplicatus* (Sahlberg, 1836). Vzniká zde taky riziko dalšího poškození, konkrétně se jedná o napadení dřevokaznými houbami, které působí modráni jehličnatého dřeva (PFEFFER, 1955). Za jednu z významnější dřevokazných hub se považuje václavka, která mění atraktivitu stromu, avšak mění se fyziologický dopad na smrk a v tu chvíli se atraktivita mění, pokud je v dosahu strom, který není napaden václavkou preferuje lýkožrout spíše nenapadený strom (KULA & ZABECKI, 1999a).

Ze Zprávy o stavu lesa 2021 vydávané Ministerstvem zemědělství České republiky je patrné, že celkem bylo v roce 2021 vytěženo na 30,26 milionu m³ surového dříví, což je ve srovnání s rokem 2020 pokles o 5,49 milionu m³. Na celkové výši těžby má především podíl zpracování nahodilých těžeb ve výši 26,28 milionu m³, podíl nahodilé těžby tak činil 86,9 % (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství 2021). V roce 2021 bylo v České republice evidováno na 14,2 milionu m³ těžného smrkového kůrovcového dříví. Oproti roku 2020 kdy se objem pohyboval okolo 22 milionu m³ je zřetelné, že se jedná o třetinový pokles, v roce 2019 se objem těžného kůrovcového dříví pohyboval okolo 21 milionu m³. Ve většině případů se jedná o škody způsobené lýkožroutem smrkovým. Téměř po celém území České republiky se lýkožrout vyskytoval v roce 2021 v kalamitním stavu. V roce 2021 bylo také provedeno několik obranných, ochranných a kontrolních opatření, bylo položeno zhruba na 430 tisíc m³ lapáků, instalováno na 63 tisíc feromonových lapačů, odkorněno na 400 tisíc m³ a chemicky bylo asanováno na 1700 tisíc m³. Avšak před odvozem bylo v porostech nebo na skládkách asanováno pouze na 15 % kůrovcové hmoty. V regionálním měřítku je územní napadení České republiky diferenciováno. Mnohem více jsou napadány části Čech hlavně střední, severní a střední. V oblastech Moravy a Slezska, kde byly kalamity v uplynulých letech nejhorší, pomalu ustupují. Největším objemem vytěženého dříví dominuje po sobě tři roky kraj Vysočina, kde byl objem evidován na 3,1 milionu m³. Dalšími výrazně postiženými oblastmi je kraj Středočeský, Plzeňský, Ústecký, Jihočeský, Liberecký a Pardubický (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství 2021).

Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví vytěženého v letech 2007 až 2021 (tis. m³)



Obrázek č. 1: Graf o objemu kůrovcového dříví (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství 2021).

3.2.2 Legislativa

Ochrana lesa proti škodám působených hmyzími škůdci je legislativně zakotvena v § 32 zákona č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů („lesní zákon“), v platném znění, ten byl novelizován zákonem číslo 314/2019 Sb., kterým se mění zákon č. 289/1995. Dále je podrobněji rozvedena v doplňující vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 76/ 2018 Sb., kterou se současně mění vyhláška 101/1996 Sb., z předpisů tudíž vyplývá povinnost věnovat lýkožroutu smrkovému co největší pozornost a zabránit jeho šíření. Vyhláška č. 76/2018 Sb., dále rozlišuje škůdce dle populační hustoty na škůdce v základním, zvýšeném a kalamitním stavu, kdy v kalamitním stavu dochází ke vzniku významných hospodářských škod v lesním hospodářství. Kůrovcové dříví označujeme jako stromy, zpracované dříví nebo zbytky dřeva po těžbě, které byly napadeny lýkožroutem. Ochrana lesa se skládá hlavně z kontroly, snahy o preventivní a kurativních opatření v souvislosti s regulací podkorního hmyzu. (Lesní zákon, 314/2019 Sb.)

Za základní stav považujeme takový početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru nedosáhl 1 m³ na 5 ha smrkových porostů, a nedošlo k vytvoření ohnisek výskytu lýkožrouta (Vyhláška MZE č. 76/2018))

Zvýšený stav je takový početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru dosáhl nebo překročil 1 m³ na 5 ha a nedosáhl 5 m³ na 5 ha smrkových porostů, a došlo k vytvoření ohnisek výskytu lýkožrouta. Tento stav upozorňuje na možnost kalamitního přemnožení lýkožrouta (Vyhláška MZE č. 76/2018).

Kalamitní stav je takový početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru dosáhl nebo překročil 5 m³ na 5 ha smrkových porostů, a který způsobuje rozsáhlá poškození lesních porostů na stěnách nebo vznik ohnisek uvnitř lesních porostů až plošné napadení lesních porostů. Při kalamitním stavu se k ochraně využívá odchyťových zařízení minimálně v množství, které odpovídá množství odchyťových zařízení pro horní hranici zvýšeného stavu. Podle místních podmínek a s ohledem na zajištění primárního cíle lze počty odchyťových zařízení snížit až na úroveň minimálně požadovanou v základním stavu pro zajištění kontroly - využití tohoto postupu lze uplatnit v případě, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru překročil 50 m³ na 5 ha smrkových porostů. (Vyhláška MZE č. 76/2018).

Pokud už se jedná o zvýšený či kalamitní stav, počet kontrolních opatření se upravuje podle kalamitního základu. Při dosažení zvýšeného stavu začínají tato opatření také částečně plnit funkci obranou, jedná-li se o kalamitní stav je hlavní účel odchyťových zařízení hlavně obrana. Počet odchyťových zařízení, které jsou určeny k obraně pro zachycení jarního rojení se stanoví podle kalamitního základu a početně se rovná jedné desetině objemu včas zpracovaného kůrovcového dříví (ČSN 48 1000, 2005). Během letního rojení se odvozuje počet podle stupně napadení. Jedná-li se o slabý stupeň tak se odchyťová zařízení pouze přemísťují na vhodnější lokalitu, nebo se jejich funkčnost už neobnovuje. Při středním stupni zůstává počet odchyťových zařízení nezměněn. Silný stupeň napadení se řeší zvýšením počtu zařízení tak aby bylo možné je kontrolovat a včas asanovat (MODLINGER et al., 2015). Orgán státní správy lesů může z důvodu ochrany lesa vydat opatření obecné povahy o dočasném omezení nebo vyloučení vstupu do lesa na dobu nejdéle 3 měsíců. Hrozí-li bezprostřední ohrožení lesa, vydá orgán státní správy lesů opatření obecné povahy bez řízení o jeho návrhu a opatření obecné povahy nabývá účinnosti dnem vyvěšení veřejné vyhlášky. O vydání opatření obecné povahy uvědomí orgán státní správy lesů dotčené osoby také způsobem v místě obvyklým. Orgán státní správy lesů může prodloužit platnost opatření obecné povahy, jsou-li splněny podmínky pro jeho vydání, a to i opakovaně, vždy však nejdéle na dobu 3 měsíců (Lesní zákon, 314/2019 Sb.)

3.3 Metody kontroly a ochrany lesa proti IT

3.3.1 Prevence

3.3.2 Těžba napadených stromů

Jedná se o základní metodu, na niž zakládáme každé úspěšné tlumení výskytu lýkožrouta smrkového (MODLINGER et al., 2015). Těžištěm obranných opatření je efektivní sanitární těžba, tedy těžba zaměřená zejména na aktivní kůrovcové stromy. V takovém případě se snažíme o co nejrychlejší těžbu a následný rychlý odvoz, nebo případnou asanaci stromů, ve kterých se stále nacházejí a vyvíjejí se jedinci lýkožrouta smrkového a jiných kůrovcovitých. Také je zde zahrnuta těžba stromů, které jsou silně poškozeny parazitickými houbami, které se zde objevují jako sekundární škůdce. Za základ sanitární těžby se považuje především včasná identifikace a označení čerstvě napadených či déle obsazených kůrovcových stromů. Tyto stromy mají několik charakteristik, jak je poznat, jedná se především o smolení, drtinky na kořenových náběžích, závrtové otvory či podle barvy jehličí. Některé symptomy jako třeba změna jehličí či samovolné odpadávání kůry se ale může projevat se zpožděním a na asanaci takového stromu je už pozdě. Těžbou rovněž odstraňujeme oslabené a poškozené stromy, které by mohly poskytnout vhodné podmínky k vývoji lýkožrouta, jedná se především o škody způsobené abiotickými činiteli (větrné polomy, sněhové a námrazové polomy). Tyto stromy se dají, popřípadě použít jako lapáky (MODLINGER et al., 2015).

Vzhledem k celkovému přemnožení je vhodné na lesních celcích zavést funkci pozorovatelů, kteří by včasné zaznamenali začínající kůrovcová ohniska a tím by zamezili nebo alespoň omezili dalšímu šíření (JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015).

3.3.3 Feromonové lapače

Feromonové lapače jsou obranná opatření, která slouží k odchytu a monitoringu podkorního hmyzu přilákaným feromony. Jsou založeny na využití sekundárních atraktantů, což jsou pohlavní látky produkované lýkožroutem smrkovým. Právě snaha o napodobení těchto látek, nechala vzniknout feromonový odparník. V závislosti na možnost lákat imaga kůrovce, vznikla idea odchyťových zařízení, do kterého budou chyceni dospělci a nebude jim umožněno obranné opatření opustit, a tak by docházelo ke snadnější kontrole (KULA, 2014). Z hlediska ochrany lesa je důležitá jejich účinnost, selektivnost a spolehlivost. Z ekonomického pohledu je důležitá jejich cena. Při ochraně lesa se lapače používají spolu s lapáky a při ochranných opatřeních je potřeba použít velké množství, a proto je jejich cena jedním z klíčových faktorů jejich nasazení (JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015). Feromonové lapače,

kteřé se určují jako obranné opatření se umisťují přímo do ohniska výskytu poblíž porostních stěň, vzdálenost takto umisťěňých lapačů by neměla přesahovat 25 m. Při instalování lapačů je nutné dodržet minimální vzdálenost 10 m od atraktivních stojících stromů. Pokud nedodržíme toto pravidlo hrozí napadení stromů v porostu. Odparníky se do lapačů umisťují těsně před rojením a jejich výměna se řídí pokynem výrobce. Podle počtu odchycených lýkožroutů za celé období rojení stanoví stupeň odchytu. Za slabý stupeň odchytu považujeme méně než 1 000 lýkožroutů, střední stupeň mezi 1 000 a 4 000 jedinců, a silný stupeň je dosažen při odchycení více jak 4 000 brouků. Tato odchytová zařízení se kontrolují každých 7-14 dní a hodnoty se zapisují (MODLINGER et al., 2015).

Klíčovou složkou feromonových odparníků jsou cis-verbenol a metyl-butenol tyto látky ovlivňují celkové počty chycených lýkožroutů do lapačů, záleží také ale na podmínkách prostředí, jako je expozice nebo teplota a další faktory (WERMELINGER, 2004). Lapače se dají rozdělit do několika skupin základními typy jsou nárazové, šterbinové, trubicové, trychtýřovité (JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015).

Nárazové

V nárazových lapačích hmyz, který přilétává narazí do nárazové desky anebo více desek, spadne přes trychtýř do sběrného kontejneru. V 80-90 letech minulého století se na počátku používali nejprve jednoduché fóliové lapače, nejdříve s mokřým a později se suchým odchycem lýkožroutů. Ale kvůli náročnosti údržby byly tyto lapače postupně nahrazovány modernějšími a spolehlivějšími typy. Odparník se umisťuje pod nárazovou desku nebo přímo do desky lapače. Existuje poměrně dost výrobců nárazových lapačů. Spolu se šterbinovými lapači se jedná o nejvíce v praxi využívané (JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015). Jeden z nejvíce používaných nárazových šterbinových lapačů v Evropě je Theysohn (GALKO et al., 2016).

Šterbinové

V případě šterbinových lapačů přilétající hmyz narazí do desky a přes šterbinu spadne do sběrného kontejneru. Zde se odparník umisťuje do vnitřní části lapače, protože se nachází uvnitř je částečně krytý proti slunečnímu záření. Selektivita tohoto typu lapače je zajištěna velikostí šterbin v lapači a velikostí šterbiny sběrného kontejneru (JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015).

Trubicový

Jedná se o trubici, ve které se nachází vyvrtné otvory, přes které se přilákaný jedinec dostane dovnitř lapače, a tudíž rovnou do sběrné nádoby. Odparník se umístí uvnitř lapače. Vzhledem k mechanismu odchyty dosahuje tento typ lapače maximální selektivnosti (JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015). Účinnost feromonových lapačů je ovlivňována mnoha faktory. Jedním z nich je například zbarvení. PARASCHIV et al. (2012) uvádí, že jeho studie se zabývala odchycením kůrovců vlivem zbarvení lapačů. Z autorových výsledků vyplynulo, že tmavě zbarvené lapače (hnědě, černé) jsou mnohem efektivnější v odchytu ve porovnání se světlými (bílý, žlutý).

Účinnost feromonových lapačů je mnoha autory částečně zpochybňována. Důvodem je fakt, že dle mnoha autorů jsou schopny feromonové lapače odchytit pouze část lokální populace. V maximální účinnosti odchyty do feromonových lapačů někteří autoři uvádí, že feromonové lapače jsou schopny odchytit maximálně 30 % lokální populace lýkožrouta smrkového (DUELLI et al., 1997; JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015). Nicméně většina autorů se dle výsledků svých studií shoduje na tom, že je to maximálně 10 % místní populace, která může být odchycena do feromonových lapačů (WESLIEN & LINDELOW, 1990; WERMELINGER, 2004). Podmínkami pro maximální odchyt do feromonových lapačů se zabýval DUELLI et al., (1997). K takovým situacím musí působit slet podmínek, jako jsou bezvětří a žádný potenciální hostitelský materiál v okolí. Dále je také důležité sluneční záření k čemuž dospěl KOLEVA et al., (2012). Takových podmínek však v praxi není možné dosáhnout. V oblastech Skandinávie, dále země jako je například Německo či Francie už od masového používání lapačů upouštějí a nasazují je jen pro monitoring a výzkum (HLÁSNÝ et al., 2019).. Mnoho autorů se však shoduje na tom, že do feromonových lapačů se během jarních měsíců chytí více samic. Jedná se o zajímavé tvrzení, z důvodu toho, že samci opouštějí svá zimoviště dříve (ZUMR, 1982; SCHLYTER et al., 1987; LUBOJACKÝ & HOLUŠA, 2011). Při srovnání účinnosti feromonových lapačů s jinými obrannými opatřeními, se autoři v literatuře neshodují. ZUMR (1982) ve vlastních pozorováních nezjistil žádný rozdíl v účinnosti feromonových lapačů a klasických lapáků. Dle LUBOJACÉHO & HOLUŠI (2011) mají feromonové lapače typu Theysohn, o 30 % vyšší míru odchyty oproti trojnožkám.

3.3.4 Lapáky

Pokud je populace lýkožrouta smrkového v základním stavu, stanoví se počty prostřednictvím kontrolních opatření (lapáků nebo feromonových lapačů), která se uplatňují během jarního a letního období. Kontrolní opatření se stanovují minimálně jedno na každých 5 ha lesních porostů nad 60 let věku a se zastoupením smrku nad 20 % (MARTINEK, 1960;

Vyhláška č. 236/2000 Sb.). Podle ČSN 48 1000 (2005) se stanoví počty lapáků jako jedna desetina objemu kalamitního základu (KULA, 2014).

Pokácené stromové lapáky jsou v ochraně lesa používány přes 200 let (KREMSER, 1982). V posledních několika letech například 2011-2015 bylo na území České republiky každoročně aplikováno na 200-300 tisíc lapáků (KNÍŽEK & MODLINGER, 2012; KNÍŽEK & MODLINGER, 2013). Z uvedeného počtu vyplývá, že se jedná o jedno z nejdůležitějších opatření ochrany lesa a optimalizace odchyty může mít zásadní vliv pro celkový vývoj populací lýkožrouta smrkového v České republice.

Lapák, který bývá označován také jako klasický lapák nebo stromový lapák je zdravý, pokácený, odvětvený a větvemi zakrytý, dospělý smrk (*Picea* sp.) nebo jeho část, která je atraktivní pro lýkožrouta smrkového. Lapáky fungují na principu uvolňování látek, takzvaných primárních atraktantů jako jsou například monoterpeny, při postupném vysychání lýka. Tímto jsou lákáni pionýrství brouci, konkrétně samci. Po nalétnutí začínají samci produkovat takzvané agregační feromony, kterými usměrňují nálet při osídlování materiálu vhodného k rozmnožování a dochází tak k náletu na lapák (WERMELINGER, 2004).

V případě že je populační hustota vyšší, se při stanovení celkového počtu lapáků a dalších obranných opatření vychází z kalamitního základu (ČSN 48 1000 2005). Počet lapáků jarní série se odvozuje z kalamitního základu. Do kůrovcového dříví zahrnujeme nejen včas zpracovanou kůrovcovou nahodilou těžbu, ale i množství včasně zpracovaných, obsazených lapáků.

Lapáky první série, které mají za cíl zachycení jarního rojení jsou situovány do porostních okrajů na spíše osluněná místa (takto by měla být vystaveny dvě třetiny lapáku) a do polostínu v porostu (zde se vystavuje jedna třetina lapáku). Tyto lapáky ve stínu pomaleji vysychají a tím i jejich atraktivita pro lýkožrouta dosahuje odpovídající intenzity s odstupem až tří týdnů lapáků položených u porostních stěn, čímž slouží k zachycení sesterského pokolení (samiček, které se přerorují). Lapáky se připravují dva měsíce před počátkem předpokládané letové aktivity, což je v nižších a středních polohách konec února nebo počátek března. Lapáky druhé série se připravují jeden až dva týdny před začátkem tohoto rojení a jsou káceny do polostínu a podle situace jsou umisťovány do vnitřnějších částí porostů. V horských podmínkách se lapáky kácí na slunná místa (MODLINGER et al., 2015). Stupeň napadení se hodnotí v nejvíce napadené části kmene jako slabý ($<0,5$ závrtu/dm²), střední ($0,5-1$ závrt/dm²) a silný (>1 závrt/dm²) (ON 48 2711 1987).

Lapáky se pravidelně kontrolují v intervalu sedmi až deseti dní a zjišťujeme obsazení kmene a stupeň vývoje lýkožrouta (ŠVESTKA et al., 1998). Kontrola se provádí na nejvíce napadané části kmene, kde se brouci nejvíce zakousávají. Nejvhodnější částí kmene je pod původně nasazenou korunou, kterou obsazují nejvíce (ŠVIHRA, 1968).

Další možností, jak odchyťovat lýkožrouta smrkového je otrávený lapák. Jedná se o pokácený a odvětvený smrk nebo jeho části, o délce například 4 m, takto pokácený strom se ošetří vhodným insekticidem, který se aplikuje před odhadovaným začátkem rojení a navnadí se feromonovým odparníkem. Mohou se použít i polena, ze kterých se sestaví trojnožka, v takovém případě se feromonový odparník umístí pod vrchol (MODLINGER et al., 2015). Výhodou typu tohoto lapáku je jeho velká odchyťová kapacita, dále také vysoká účinnost a snížená potřeba kontroly. Velká nevýhoda je ovšem negativní dopad na celkovou biodiverzitu, protože na otrávený lapák nenalétá jen lýkožrout smrkový, ale objevují se zde i jeho predátoři a ostatní necílové organismy čímž se tato metoda stává kontraproduktivní (JAKUŠ & BLAŽENEC, 2015). Zde by se taky dala zařadit Trinet, jedná se o síť, která je napuštěná kontaktním insekticidem, která se umísťuje na hliníkovou trojbokou konstrukci (MODLINGER et al., 2015).

3.3.5 Trojnožky

Jedná se o trojnožky, které jsou tvořeny třemi čerstvými poleny o délce 1-2 m a tloušťce alespoň 20 cm. Tyto polena jsou ve vrchní části pevně spojena, například hřebíky, dráty či provazy a podobně. Povrch těchto trojnožek je ošetřen především insekticidním postřikem, který obsahuje doporučené množství konkrétního insekticidu, vody a barviva. Obnova postřiku probíhá ve 2-4 denním intervalu. Ve vrcholové části trojnožek je zavěšen feromonový odparník. Pokud se jedná o kontrolní trojnožky, umísťují se pod ně síta, aby nedošlo k odnesení například větrem, ptáky aj. (LUBOJACKÝ & HOLUŠA, 2013).

3.4 Automatické pasti na chytání hmyzu.

HO et al. (1997) uvádí využití techniky elektronického a automatického monitorování úlovků (personal computer-based automatic monitoring system (PAMS), *T. castaneum* v letových pastech ve skladu rýže. Letové pasti byly úspěšně použity k monitorování létajících *Tribolium castaneum* (Herbst) [Coleoptera: Tenebrionidae] ve skladech kukuřice

(GRAHAM, 1970) a rýže (BOON & HO, 1988; HO & BOON, 1995). Jedním z hlavních důvodů využití této studie je časově náročné počítání chycených jedinců potemníka hnědého do pastí. Pomocí počítače byla v terénu sledována letová aktivita a populace dalšího dalších druhů bezobratlých, což vedlo ke snížení času a nákladů. Příkladem takového monitorování pomocí mikropočítače je zaznamenávání letu *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) a *A. triseriatus* Say (Diptera: Culicidae) (MOORE et al., 1986), pohybu *Otiorhynchus sulcatus* (F.) (Coleoptera: Curculionidae) (CHAMBERLAIN et al., 1987) a elektronická detekce *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) (HENDRICKS, 1989). Úlovky *T. castaneum* získané pomocí PAMS byly v úzkém vztahu k úlovkům získaným pomocí ručních pastí. Systém PAMS tak vykazuje potenciál pro použití namísto pracného ručního počítání veškerého hmyzu chyceného do letových pastí. Vzhledem k tomu, že se hmotnost jednotlivých živých dospělých jedinců hmyzu měřená každý měsíc v průběhu šesti měsíců výrazně neměnila, bylo možné hmotnost chyceného hmyzu snadno přepočítat na počet. Tento postup je však použitelný pouze v případě, že chycený hmyz není ponechán v trubicích příliš dlouho; jinak by kanibalismus způsobil, že by údaje byly nepřesné. Během této studie byl veškerý odchycený hmyz při každodenním sběru shledán živým. Není známo, zda došlo k úhynu a kanibalismu během 24 hodin po odchycení. Aby se minimalizoval vliv kanibalismu na údaje, lze do lahvíček před odchycením přidat trochu pšeničné mouky a pravidelně doplňovat. Další výhodou tohoto automatizovaného zařízení je, že odběr vzorků lze provádět nepřetržitě po celou dobu jeho provozu a vzorky lze získat z počítačového výtisku pro jakýkoli konkrétní případ denní nebo noční dobu, což není možné provést ručně. Kromě toho lze intervaly odběru vzorků nastavit podle potřeby. Automatizovaný systém monitorování hmyzu by byl užitečný pro kvantifikaci úrovně populační hustoty škůdce ve skladu. Vyvinutá technika se jeví jako slibný automatický odhad množství hmyzu. Je však důležité porovnat výkonnost systému PAMS s výkonností jiných metod odchytu, aby se zjistilo, zda je tento systém účinný. Teprve potom může být jeho užitečnost posuzována při sledování úrovně zamoření a načasování ošetření.

4 Metodika

4.1 Kostelec nad Černými

V Kostelci nad Černými lesy se nachází Školní lesní podnik (ŠLP) patřící jako účelové zařízení České zemědělské univerzity v Praze (Lesy ČZU). ŠLP bylo založeno v roce 1935 jako objekt uspokojující potřeby tehdejší vysoké školy Českého vysokého učení technického v Praze, kam patřila tehdejší výuka lesnického a zemědělského inženýrství (TESAŘ, 2004). Současná podoba lesního majetku ČZU vychází ze změn, které byly provedeny po roce 1990 z restitučních nároků a vydání lesního majetku obcím a realizací Vysokoškolského zákona č. 111/98 Sb. V dnešní podobě spadá ŠLP do lesů zvláštního určení, kde se snaží hospodařit co nejšetrnějším způsobem, podporovat přirozenou skladbu, a využívat podrostní hospodářský způsob. Zároveň slouží k zajištění praxí a praktických cvičení pro studenty ČZU, dále slouží ke zpracování odborných prací a výzkumu.

V současné době obhospodařuje ŠLP přibližně 6753 ha pozemků určených k plnění funkcí lesa (REMEŠ & PODRÁZSKÝ, 2006). Území školního lesního podniku se nachází cca 25-50 km jihovýchodně do města Prahy a geomorfologicky spadá do podsoustavy Středočeské pahorkatiny, která na severu postupně přechází do Polabí. Porosty, které se zde nacházejí náleží do přírodní lesní oblasti Středočeské pahorkatiny (PLO 10) a velmi malá část do PLO 17 tedy Polabí (REMEŠ, 2006).

4.2 Klimatické poměry

Díky zdejší klimatickým podmínkám se území řadí do klimatické oblasti mírně teplé a vlhké s mírnou zimou v pahorkatinách. Průměrné roční teploty se zde pohybují 7,5-8,5°C, průměrné roční srážky jsou zde okolo 650 mm a průměrná vegetační doba je 150-160 dní. Nadmořská výška se na tomto území pohybuje od 210-528 m. (REMEŠ & PODRÁZSKÝ, 2006).

4.3 Druhovú skladba

Současná druhová skladba porostů se liší od skladby přirozené. Je zde významné zastoupení smrku ztepilého zhruba okolo 50 %, výrazné je zde také zastoupení borovice lesní asi 18 %, modřínu opadavého 4,5 %, jedle bělokorá 2 %. Z listnatých dřevin je zde ve větším podílu buk lesní 12 %, duby zde dohromady tvoří 9 % (REMEŠ & PODRÁZSKÝ, 2006).

4.4 Postup metodiky

Terénní testování probíhalo na lesním úseku Ostrák, který je jedním z úseků lesního majetku Školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy České zemědělské univerzity v Praze. Dne 2.8.2022 byl naistalován automatický feromonový lapač spolu s kontrolním lapačem na holině o velikosti zhruba 2 ha, tato holina vznikla následkem nahodilé kůrovcové těžby v předešlých letech, současně byla zalesněna. V porostech, které se nacházejí okolo bylo pořád dost vysoké zastoupení smrku ztepilého a rovněž populace lýkožrouta smrkového se zde nacházela ve zvýšeném stavu. Lapače byly na pasece rozmístěny ve vzdálenosti 50 m od porostních stěn, vzdálenost mezi lapači byla 10 m, tak aby se lapače navzájem nemohly ovlivnit v počtu odchycených brouků. Nárazové plochy obou feromonových lapačů byly umístěny a orientovány na severní a jižní světovou stranu. Pozice byla navolena tak aby během dne zůstaly trvale osluněné. Do lapačů byly použity běžně dostupné feromonové odparníky typu Pheagr IT.



Obrázek č. 2: Pohled na paseku, kde byly lapače umístěny (Richter, 2022).

Samotná konstrukce automatického feromonového lapače vycházela z běžně používaných lapačů typu Theysohn. Modifikace klasického lapače spočívala v tom, že se do vysouvateľného korýtky, umístil menší vnitřní kontejner na dvou čepech. Tento kontejner, který se nacházel uvnitř feromonového lapače, byl propojen s čidlem, které snímá v 30minutových intervalech hmotnost nachytaných brouků, s přesností na 0,005 g. Lapač

byl připojen ke zdroji na baterii, aby byl schopen správně fungovat a odesílat potřebná data, bez této přidané baterie by nefungovala ani přidaná čidla snímající teplotu (Obrázek č.3). Pomocí signálu jej odesílá na cloud, kde se hodnoty ukládají. Další součástí automatického lapače bylo další čidlo, které bylo umístěno do výšky 150 cm, toto čidlo snímalo teplotu venkovní, uvnitř lapače a uvnitř přidaného kontejneru (v kapitole výsledky označen jako „Automat“).



Obrázek č. 3: Automaticky feromonový lapač, na kterém jsou vidět připojené senzory ve spodní části (Richter, 2022).



Obrázek č. 4: Klasický lapač, který byl kontrolní proti automatickému feromonovému lapači (Richter, 2022).

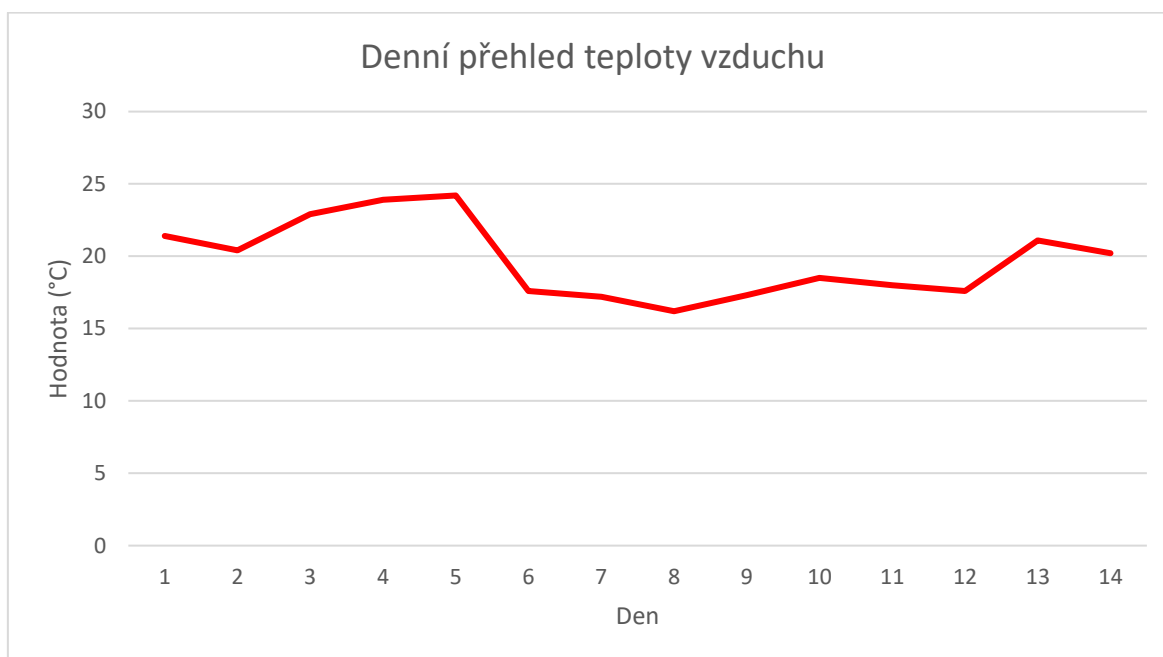
Tento lapač se nacházel ve vzdálenosti 10 m od lapače automatického. Jedná se o klasický lapač typu Theysohn (v kapitole výsledky označen jako „Klasik“). Výběr probíhal ve stejných časových periodách, tudíž ve 14 a v 18 hodin.

První měření se uskutečnilo 2.8.2023 v 18:00.

Sběr hmyzu probíhal v srpnu vždy ve 14:00 a další pozdější v 18:00. Tyto dva časové údaje byly vybrány právě vzhledem k letové aktivitě lýkožrouta (WERMELINGER, 2004), kdy jsme byli schopni zachytit relativně polední letovou dobu (14 h) a pak odpolední (18 h). Sběr probíhal kontrolou a vybráním obou lapačů v daný čas, následně počítáním jednotlivých brouků. WERMELINGER (2004) uvádí, že za optimální teplotu pro let lýkožrouta smrkového je teplota zhruba 22-26 °C. Cílem práce bylo získat data z pěti souvislých dní bez větších dešťových srážek (pokud by se do váhového systému dostala voda, hlásil by zcestné údaje), čehož jsme dosáhli během druhého týdne tedy 8. - 12. 8. 2022. Avšak i po dosažení chtěných údajů sběr pokračoval až do konce měsíce srpna.



Obrázek č. 5: Graf o denním přehledu srážek (ČHMÚ, 2022).



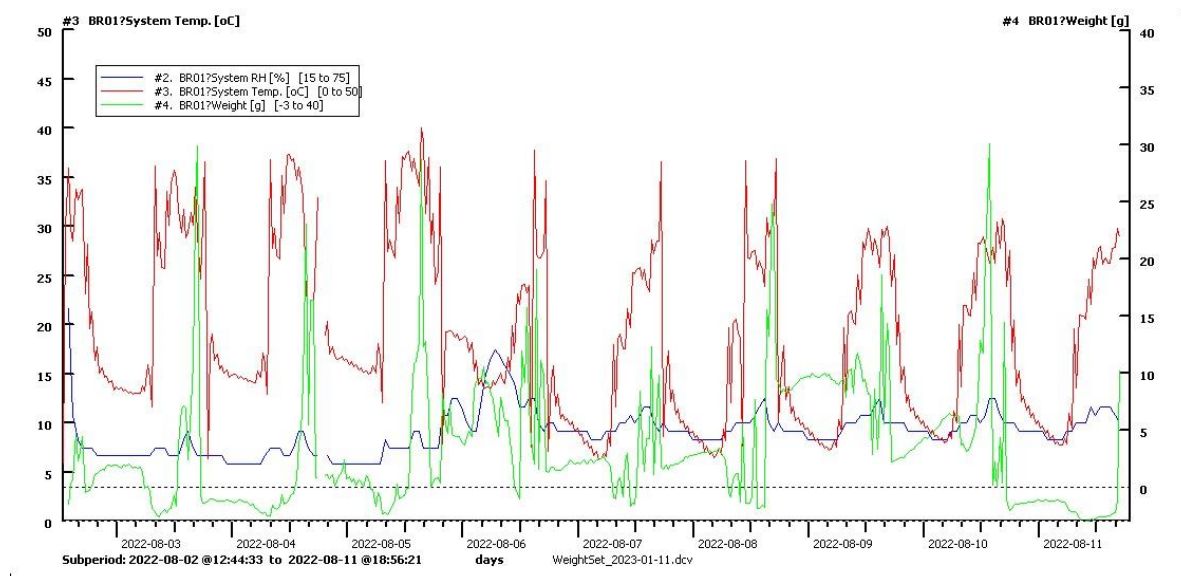
Obrázek č. 6: Graf o denním přehledu teploty vzduchu (ČHMÚ, 2022).



Obrázek č. 7: Odchytové korýtko s nalétaným kůrovcem (Richter, 2022).

S testováním automatického lapače se vzhledem k výrobně-technickým problémům začalo právě až počátkem srpna, kdy je z hlediska vývoje lýkožrouta smrkového zhruba jedna polovina druhé generace. Počtu létajících dospělců, který je v této době relativně malý, odpovídal také malý počet chycených jedinců. Teplotní poměry během období testování byly velmi příznivé (průměrná teplota 19 °C, minimum 6 °C, maximum 40 °C), průměrná relativní vlhkost vzduchu 26 % (minimum 22 %, maximum 41 %; Obr.4).

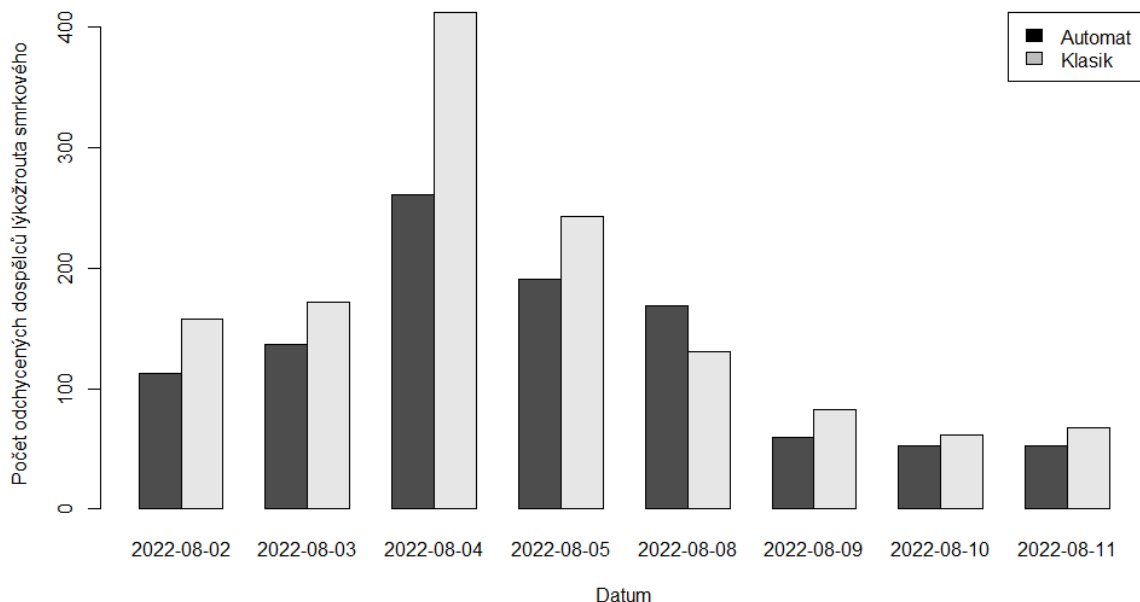
Kontrolnímu přepočtu váhy na sumu zachycených jedinců byly využity údaje z vážení 800 brouků v laboratorních podmínkách.



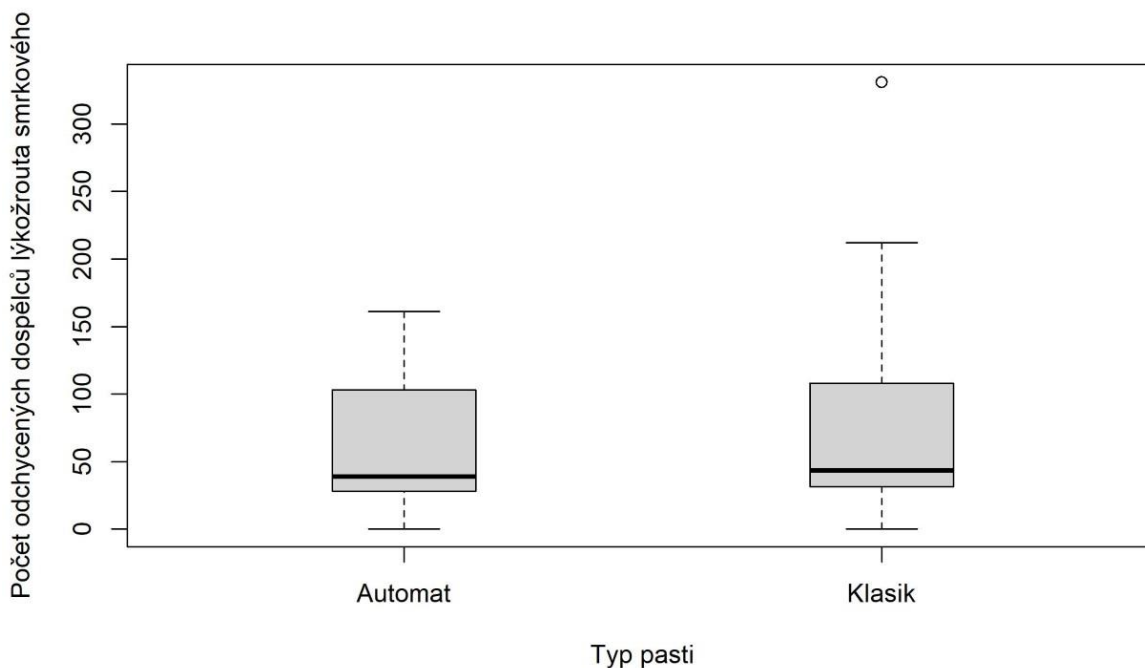
Obrázek č. 8: Přehled veličin měřených v automatickém lapači. Hmotnost [g] (zelená), relativní vlhkost vzduchu [%] (modrá), teplota [°C] (červená), interval měření 30 min.

5 Výsledky

Elektronický feromonový lapač zachytil průměrně 74 lýkožroutů ve sledovaném období, nejvyšších odchytů jsme dosáhli 4.8. (Obrázek č. 9), relativně vyšší počet jedinců byl zaznamenán ve 14:00 hodin. Rozdíl v počtu odchycených jedinců mezi automatickým a kontrolním lapačem není statisticky významně odlišný (párový t test: $df = 15$, $p = 0,151$). Z výsledků lze usuzovat, že konstrukce automatického lapače neovlivňuje významně odchyt, avšak průměrně 6 % brouků se nacházelo mimo záchytný kontejner, což bylo způsobeno malou mezerou mezi zmiňovaným kontejnerem a korýtkem samotného lapače.



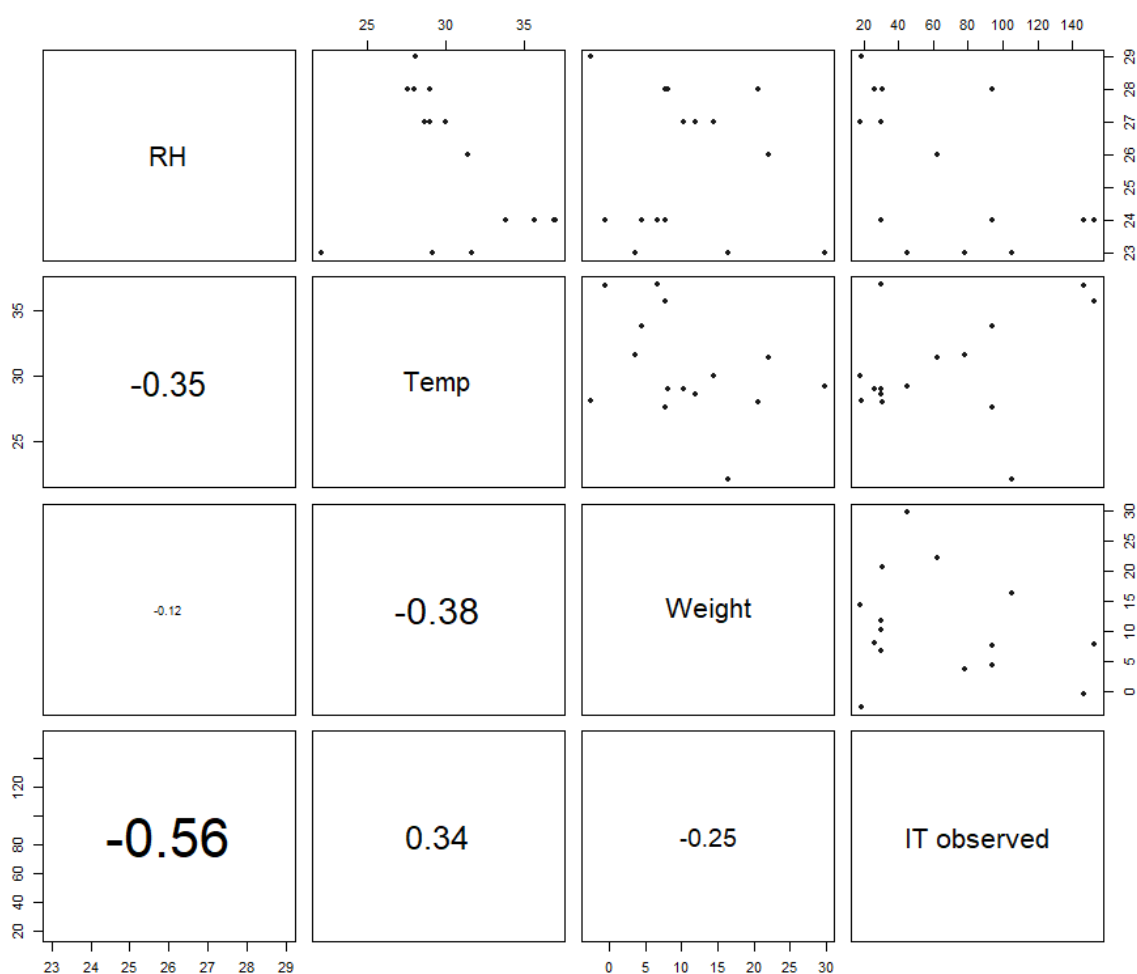
Obrázek č. 9: Počet odchycených dospělců lýkožrouta smrkového ve sledovaném období.



Obrázek č. 10: Krabicový graf počtu odchycených dospělců lýkožrouta smrkového ve sledovaném období.

Vztahy mezi parametry měřenými v automatickém lapači jsou zobrazeny v korelační matici (Obrázek č. 11). Nejsilnějším vztahem byla negativní korelace mezi vlhkostí vzduchu a počtem skutečně zjištěných brouků (IT observed). Tato korelace ukazuje na značné ovlivnění letu lýkožroutů vzdušnou vlhkostí, tedy výskytem deštivého počasí. Ke stanovení počtu lýkožroutů pomocí zaznamenané hmotnosti byla použita průměrná váha 0,008 g (získaná vážením 800 živých jedinců lýkožrouta smrkového odchycených v automatickém nebo kontrolním lapači). Tímto postupem byl váhovou metodou stanoven průměrný počet 1207 ± 987 jedinců lýkožrouta na 1 odchyt, přímým počítáním bylo průměrně pozorováno 64 ± 46 jedinců. Je zřejmé, že přímé váhové stanovení jedinců lýkožrouta poskytuje značně vychýlené hodnoty, a zjištěná váha je ovlivněná ještě nějakým dalším faktorem. Z toho důvodu jsme se rozhodli stanovit počet lýkožroutů pomocí lineární regrese s využitím všech měřených parametrů. Pomocí step-wise regrese s rozhodčím kritériem AIC (Akaikeho informační kritérium) a zadáním interakcí mezi proměnnými vyšších řádů bylo dosaženo nejtěsnějšího proložení při regresní rovnici: $\text{počet lýkožroutů} = 407,06 - 1,685 \cdot \text{váha} - 12,657 \cdot \text{relativní vlhkost vzduchu}$ ($R^2=0,3238$; $p < 0,05$). Při vytváření inovovaného prototypu automatického lapače je třeba se zaměřit na konstrukci váhového modulu,

zejména negativnímu působení vlhkosti, která pravděpodobně proniká do porézního krytu váhového modulu a ovlivňuje tak přesnost měření.



Obrázek č. 11: Maticový graf párových vztahů mezi proměnnými, číselné hodnoty vyjadřují Pearsonův korelační koeficient mezi proměnnými, bodové grafy nad diagonální osou zobrazují detailní párové vztahy pro jednotlivé případy.

6 Diskuse

V Evropě je považován lýkožrout smrkový za ekonomicky významného hmyzího škůdce, který se přemnožuje periodicky a napadá zejména dospělé smrkové porosty smrku ztepilého (CHRISTIANSEN & BAKKE, 1988; STADELMAN et al., 2013). Česká republika vzdoruje největšímu přemnožení za poslední dvě staletí, za jeho počátek je považován rok 2015, HLÁSNÝ et al. (2021) považuje Česko za evropské epicentrum. Tato opakující se přemnožení mají zásadní vliv na lesní ekosystémy (HLÁSNÝ et al., 2019). Tyto kalamity jsou však také spojeny s klimatickými podmínkami. Českou republiku sužují vysoké teploty a nedostatek srážek, které jsou spojeny s odumíráním a chřadnutím smrkových porostů. Tyto porosty se následně stávají náchylnější k výskytu podkorního hmyzu (HLÁSNÝ et al., 2019).

Využívané metody na ochranu lesa proti lýkožroutovi smrkovému považuje MODLINGER et al. (2015) za dobře propracované, s jejichž správnou aplikací lze významně redukovat populace škůdce. V lesnické praxi se jako běžně aplikované obranné metody používají stromové lapáky, otrávené lapáky, trojnožky či feromonové lapače (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK, 2000; WERMELINGER, 2004). Nicméně účinnost feromonových lapačů zůstává v dnešní době stále diskutabilní. Vztah mezi počtem odchycených brouků v lapačích a poškozením okolních porostů generuje prahovou hodnotu, která indikuje riziko přemnožení a škod (WESLIEN, 1992). Běžné využití spočívá v monitoringu, a až ve fázích gradace jsou použity jako jedna z ochranných metod (ZUMR, 1985). HLÁSNÝ et al. (2019) uvádí, že účinnost tohoto typu kontrolního opatření bývá v lesnické praxi často přeceňována, správně nejsou ani zohledňovány náklady, které jsou spojené především s aplikací tohoto opatření.

Vědecká literatura je poměrně nejednotná v názorech na množství lokální populace, které jsou feromonové lapače schopny odchytnout. Nejvyšší hodnoty odchytů pozoroval JAKUŠ & BLAŽENEC (2015), podle kterých lapače jsou schopny zachytit 30 % z celkové místní populace. To je ve srovnání s ostatními autory poměrně značně vysoký podíl populace, většina se shoduje s tvrzením WERMELINGERA (2004), že jsou lapače schopny zachytit pouze 3-10 % celkového počtu kůrovce, avšak autor zmiňuje, že na počtu zachycených jedinců mají vliv podmínky prostředí, jedná se třeba o expozici, teplotu, či substrát vhodný k nalétnutí. Nelze tedy s jistotou posoudit, v jakém množství feromonové lapače reflektují stav lokální populace. RATY et al. (1995) uvádí, že při jejich studii se lépe osvědčili navnazené stromy, které chytily až 30 krát více brouků než lapač typu Theysohn. V severní Americe, konkrétně v Kanadě, se odchytové pasti, které jsou založené na chytání pomocí

atraktantů, využívají primárně k monitoringu nepůvodní druhů hmyzu. Vzhledem k vysokým nákladům na aplikaci ale neuspokojivým výsledkům se v zemích Skandinávie, Německa a Francie lapače nevyužívají jako obranné opatření ale jsou používány pouze k monitoringu a výzkumu (HLÁSNÝ et al., 2019).

Za výhodu feromonových lapačů by se dala považovat jejich poměrně snadná aplikace a kontrola, odpadá potřeba kácet zelené stromy. Hlavní nevýhody spočívají především v jejich nákladovosti a poruchovosti (mohou být vyvráceny zvěří, poškozený větrnými podmínkami) (ZAHRADNÍK, 2004). Dále je nutné zmínit jednu z nevýhod, která předcházela této studii, a to je časově náročné vybírání lapačů. Tato studie se věnovala sestavením nového prototypu lapače typu Theysohn, který by dokázal zefektivnit tento typ kontroly.

Důležitou částí pro tuto práci byla především letová aktivita a optimální počasí. Letová aktivita podle WERMELINGERA (2004) začíná při 16,5 °C a jako optimum uvádí 22-26 °C. Během měřených dní se pohybovala průměrná teplota kolem 20 °C. Ve sledovaném období dosahovala v maximech 25,4 °C (minimální maximální teplota pro měřené období) a minimech 9 °C (minimální noční teplota) dle ČHMÚ (2022). Dle těchto hodnot byla teplota pro let lýkožrouta smrkového ideální. Vzhledem k tomu, že letová aktivita začíná okolo 9 hodiny ráno (WERMELINGER, 2004) a dosahuje svého maxima v poledních a odpoledních hodinách, lze považovat stanový čas (14; 18 h) odběru nachytaných jedinců za optimální.

Ze získaných výsledků je patrné, že lapač ve sledovaném období zachytil průměrně 74 brouků. Vzhledem k situaci na lesním úseku Ostrák a zkušenostem z předchozích let lze tyto hodnoty považovat za nízké. Důvodem je zřejmě období, ve kterém měření probíhalo. Srpen není podle GRODZKÉHO (2007) již optimální pro monitoring a odchyty do feromonových lapačů. Dle jeho studie bylo demonstrováno, že odchyty v konce měsíce července představují více než 80 % celkového odchyty ve vegetační sezóně. Na základě těchto zjištění lze usuzovat, že maximální odchyty by byly očekávány o měsíc dříve. Ačkoliv na zmíněném lesním úseku byl monitorován zvýšený stav populace, lze částečně pozdní zahájení odchyty v měsíci srpnu považovat za odůvodnění poměrně nižších lapených brouků.

Do feromonových lapačů byl použit feromonový odparník typu Phaegr IT, dle ŠRAMEL et al. (2021) posuzující účinnost z hlediska trvanlivosti a složení se jedná o správný typ. Avšak ne příliš vhodné období pro testování feromonového lapače nemělo žádný vliv na posouzení přesnosti modifikovaného lapače. Rozdíl odchyty mezi automatickým a kontrolním lapačem nebyl statisticky významný. Z výsledků je patrné, že samotná konstrukce automatického

lapače neovlivňuje odchyt. Nicméně je třeba zdůraznit nedostatky modifikovaného lapače. Mezi výrazné konstrukční nedostatky je třeba zařadit samotné uložení korýtko se zabudovanými čidly. Korýtko, zachycující změny v hmotnosti bylo uloženo v kontejneru, nicméně tato vestavba tvořila mezery při doléhání korýtko a většího kontejneru. To způsobovalo, že mnohdy zachycený hmyz (6 % z celkového počtu odchycených jedinců) končil v mezerách a nebyla tak měřena jeho hmotnost, to zkreslovalo výsledky odchytů. Účelem mezery mezi korýtkem a váhovou miskou bylo zamezení ovlivnění zjišťované hmotnosti při teplotních změnách materiálu. Avšak potřeba je věnovat se i technickému provedení. ALLISON & REDAK (2015) uvádí, že při jejich pokusu, který se věnoval zachycení nepůvodních druhů hmyzu do záchytných pastí selhaly pasti právě z technického hlediska, kdy byly využívané programy na vyhodnocování hmyzu ne kompletně dokončeny a z pohledu funkčnosti tak nejsou dostatečné a nepodávají uspokojující údaje. HO et al. (1997) zmiňují využití techniky elektronického a automatického monitorování úlovků (personal computer-based automatic monitoring system (PAMS)) oproti ručním pastím na *Tribolium castaneum*. Pomocí počítače byla v terénu sledována letová aktivita což vedlo ke snížení času a nákladů spojených s touto studií. Počet odchycených jedinců potom bylo snadné přepočítat pomocí váhy na jednotlivé kusy, avšak problémy se objevily téměř na začátku, kdy docházelo k výskytu jiných druhů nebo kanibalismu, kdy pak byly podávány zcestné údaje. Systém PAMS i tak vykazuje potenciál pro použití namísto pracného ručního počítání veškerého hmyzu chyceného do letových pastí.

Elektronický lapač však podával značně zkreslené údaje, to bylo ovlivněno pravděpodobně značnými teplotními výkyvy na pasece a ovlivněním kalibrační jednotky váhového modulu. Mezi další významné faktory prostředí lze zařadit také vlhkost vzduchu, která mohla rovněž ovlivňovat senzory váhy. Nicméně nachází se zde dalších několik negativních faktorů ovlivňující možnost nasazení lapače. Jedním z těchto faktorů je potřeba připojení na baterii, to je spojeno s využitím silné baterie a potřebou mít lapač v dosahu signálu mobilního operátora, aby byl schopen odesílat data, to je jeden z faktorů, kterého nemusíme vždy dosáhnout. Další otázkou využití tohoto typu lapače je hledisko ekonomické, kdy při větším počtu nasazení nemusí být tato varianta výhodná, jelikož se k ceně za samotný lapač připojují jak náklady za baterii a přidaná čidla může se cena pohybovat v rámci desetitisíc korun. Pro budoucí použití může mít negativní důsledek i deštivé počasí.

Do budoucna je možné na základě výsledků a pozorování zlepšení samotné konstrukce lapače, zejména izolace váhového modulu od zahřívavých částí lapače a poréznost materiálu

kolem snímačů, které mohou absorbovat vzdušnou vlhkost. Případně tyto změny kvantifikovat a zařadit jako korekční faktor. Dále se musí vyřešit velké mezery, kam padalo nezanedbatelné množství jedinců, čímž docházelo také k drobnému zkreslení. Dále by se měla provést celková ekonomická kalkulace k určení celkové ceny elektronického lapače, ve které by se mimo jiné měly vzít v potaz náklady spojené s cloudem, jeho obsluhou, bateriemi a dalšími náklady.

7 Závěr

V současné době se Česká republika potýká se silnou kůrovcovou kalamitou, která je umocněna extrémními výkyvy počasí. I když nejpostiženějšími regiony jsou jižní Čechy a Morava, šíření škůdce postihlo i Školní lesní podnik České zemědělské univerzity (Lesy ČZU) nacházející se ve středních Čechách. Na lesním úseku Ostrák byla provedena studie s cílem ověření přesnosti automatického modifikovaného feromonového lapače při zjišťování početnosti lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*), jehož odchyt a přesnost byly porovnány s kontrolním měřením. Pro tyto účely byla vybrána lokalita se zvýšeným stavem škůdce dle odchytu v předchozích letech.

Primárním cílem bylo zjistit, zda má konstrukce nově modifikovaného lapače nějaký vliv na počet zachycených brouků. Ze zjištěných výsledků je patrné, že zde nebyl významný rozdíl v odchycích při porovnání modifikovaného a běžně užívaného lapače Theysohn. Podstatnou informací je i to, že díky konstrukci kontejneru s váhou uvnitř většího kontejneru pro zachycení brouků, byly místy mezery, do kterých v 6 % z celkového počtu brouků hmyz zapadl a nebyl tudíž váhou snímán. .

Oba typy feromonových lapačů byly v pravidelných časových intervalech vybírány a brouci uchovávaní k dalšímu zpracování. Pro stanovení hmotnosti zachycených lýkožroutů byla použita jejich průměrná váha (0,008 g), stanovená při laboratorním šetření při vážení 800 živých odchycených jedinců z automatického a kontrolního lapače. Tímto postupem byl váhovou metodou stanoven průměrný počet 1207 ± 987 jedinců lýkožrouta na 1 odchyt, přímým počítáním bylo průměrně pozorováno 64 ± 46 jedinců. Celkový odchyt ve sledovaném období byl pro klasický lapač 1326 jedinců a pro elektronický lapač to bylo méně jednalo se o hodnotu 1034 jedinců.

Je zřejmé, že přímé váhové stanovení jedinců lýkožrouta poskytuje zabudovaná váha v elektronickém lapači značně vychýlené hodnoty ve srovnání s kontrolními hodnotami. Hmotnost nachytaných jedinců je patrně ovlivněna dalšími faktory. Lze se domnívat, že mezi tyto faktory bude patřit například vlhkost či značné teplotní výkyvy vlivem počasí. Ačkoliv výsledky nejsou zcela uspokojivé, vzhledem k aktuální situaci v českém lesnictví a časovému vytížení lesnického personálu je nezbytné pokračovat na inovacích v oblasti kontrolních a obranných opatření proti tomuto škůdci.

8 Literatura

ALLISON, J. D.; REDAK, R. A. The impact of trap type and design features on survey and detection of bark and woodboring beetles and their associates: a review and meta-analysis. *Annual Review of Entomology*, 2017, 62: 127-146.

BAIER, P.; PENNERSTORFER, J.; SCHOPF, A. PHENIPS—a comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.)(Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management*, 2007, 249.3: 171-186.

BAKKE, A.; FROYEN, P.; SKATEBOL, L. 1977: Field response to a new pheromonal compound isolated from *Ips typographus*. *Naturwissenschaften*, 64: 98 pp.

BEDNAR, B.; KACPRZYK, M. of the European Spruce Bark Beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytinae). *Entomol Gener*, 2012, 34.1-2: 111-118.

BIRERSSON, G.; SCHLYTER, F.; LÖFQVIST, J.; BERGSTRÖM, 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.

BOON, K. S.; HO, S. H. Factors influencing the post-fumigation reinfestation of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in a rice warehouse. *Journal of stored products research*, 1988, 24.2: 87-90.

ČESKO. Vláda. Zákon č. 289 ze dne 3. listopadu 1995 o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon). In: Sbíрка zákonů Česká republika. 1995, částka 76, s. 3946–3967. Dostupné také z WWW: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-289>> .

ČESKO. Vláda. Zákon č. 314 ze dne 31. října 2019, kterým se mění zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. Dostupné z WWW: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2019-314>>

ČESKO. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška č. 76 ze dne 11. května 2018, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 101/1996 Sb., kterou se stanoví podrobnosti o opatřeních k ochraně lesa a vzor služebního odznaku a vzor průkazu lesní strážce. Dostupné z WWW: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-76>>.

ČESKO. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška č. 101 ze dne 28. března 1996, kterou se stanoví podrobnosti o opatřeních k ochraně lesa a vzor služebního odznaku a vzor průkazu lesní strážce. Dostupné z WWW: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1996-101>>

ČESKO. Ministerstvo zemědělství. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2021. Dostupná také z WWW : <<https://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho-2021.html>>

ČSN 48 1000 Ochrana lesa proti kůrovcům na smrku. *Ips typographus* (L.), 2005.

DUELLI, P.; ZAHRANDÍK, P.; KNÍŽEK, M.; KALINOVÁ B. Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. *Journal of Applied Entomology*, 1997, vol. 121, no. 6, s. 297–303. ISSN 0931-2048.

ERIKSSON, M.; NEUVONEN, S.; ROININEN, H. *Ips typographus* (L.) attack on patches of felled trees: “Wind-felled” vs. cut trees and the risk of subsequent mortality. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255.3-4: 1336-1341.

FORSSE, E.; SOLBRECK, C. H. Migration in the bark beetle *Ips typographus* L.: duration, timing and height of flight. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 1985, 100.1-5: 47-57.

FORST, P.; DOLEJŠ, K.; HENDRYCH, V.; KUČERA, V.; KUDLER, J. *Ochrana lesů*, 1970. Státní zemědělské nakladatelství Praha

FRANKLIN, A. J.; DEBRUYNED, C.; GRÉGOIRE, J.C. Recapture of *Ips typographus* L.(Col., Scolytidae) with attractants of low release rates: localized dispersion and environmental influences. *Agricultural and Forest Entomology*, 2000, 2.4: 259-270.

GALKO, J.; NIKOLOV, C.; KUNCA, A.; VAKULA, J.; GUBKA, A.; ZÚBRIK, M.; RELL, S.; KONÓPKA, B. Effectiveness of pheromone traps for the European spruce bark beetle: a comparative study of four commercial products and two new models. *Central European Forestry Journal*, 2016, 62.4: 207-215.

GRAHAM, W. M. Warehouse ecology studies of bagged maize in Kenya—IV: Reinfestation following fumigation with methyl bromide gas. *Journal of Stored Products Research*, 1970, 6.2: 177-180.

GRÉGOIRE, J. C.; RAFFA, K. F.; LINDGREN, B. S. Economics and politics of bark beetles. In: *Bark beetles*. Academic Press, 2015. p. 585-613.

GRODZKI, W. The use of pheromone traps for the monitoring of *Ips typographus* (L.) populations in selected national parks in the Carpathians. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Rozprawy i monografie*, 2007, 8: 1-127.

HO, S. H.; BOON, K. S. Spatial distribution of flying *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in a rice warehouse. *Bulletin of entomological research*, 1995, 85.3: 355-359.

HO, S. H.; FAN, L.; BOON, K. S. Development of a PC-based automatic monitoring system for *Tribolium castaneum* (Herbst)(Coleoptera: Tenebrionidae) in a rice warehouse. *Journal of Stored Products Research*, 1997, 33.4: 277-281.

HOLUŠA, J.; HLÁSNY, T.; MODLINGER, R.; LUKÁŠOVÁ, K.; KULA, E. Felled trap trees as the traditional method for bark beetle control: Can the trapping performance be increased?. *Forest Ecology and Management*, 2017, 404: 165-173.

HENDRICKS, D. E. Development of an electronic system for detecting *Heliothis* spp. moths (Lepidoptera: Noctuidae) and transferring incident information from the field to a computer. *Journal of economic entomology*, 1989, 82.2: 675-684.

HLÁSNY, T.; KROKENE, P.; LIEBHOLD, A.; MONTAGNÉ-HUCK, C.; MÜLLER, J.; QIN, H., RAFFA, K.; SCHELHAAS, M.J.; SEIDL, R.; SVOBODA, M.; VIIRI H. Život s kůrovcem: Dopady, výhledy a řešení. *Evropský lesnický institut*, 2019.

HLÁSNY, T.; ZIMOVÁ, S.; MERGANIČOVÁ, K.; ŠTĚPÁNEK, P.; MODLINGER, R.; TURČÁNI, M. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management*, 2021, 490: 119075.

HŮRKA, K.; ČEPICKÁ, A. Rozmnožování a vývoj hmyzu. SPN Praha, 1978. 253 s.

CHAMBERLAIN, G. A. Developments in design methods for predicting thermal radiation from flares. *Chem. Eng. Res. Des.*; (United Kingdom), 1987, 65.(4)

CHRISTIANSEN, E.; BAKKE, A. The spruce bark beetle of Eurasia. *Dynamics of forest insect populations: patterns, causes, implications*, 1988, 479-503.

CHRISTIANSEN, E.; HUSE, K. J. Infestation ability of *Ips typographus* in Norway spruce, in relation to butt rot, tree vitality, and increment. *Meddelelser fra Norsk Institutt for skogforskning*, 1980, 35.8: 468-482

JAKUŠ R.; BLAŽENEC M. *Princípy ochrany dospělých smrekových porastov pred podkôrným hmyzom*. 1. vyd. Zvolen : ÚEL SAV, 2015, 231 s.

JACTEL, H.; PETIT, J.; DESPREZ-LOUSTAU, M. L.; DELZON, S.; PIOUS, D.; BATTISTI, A.; KORICHEVA, J. Drought effects on damage by forest insects and pathogens: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 2012, 18.1: 267-276.

KAUSRUD, K.; ØKLAND, B.; SKARPAAS, O.; GRÉGOIRE, J. C.; ERBILGIN, N.; STENSETH, N. C. Population dynamics in changing environments: the case of an eruptive forest pest species. *Biological Reviews*, 2012, 87.1: 34-51.

KAUTZ, M.; DWORSCHAK, K.; GRUPPE, A.; & SCHOPF, R. Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262.4: 598-608.

KNÍŽEK M.; MODLINGER R. Zpravodaj ochrany lesa: Výskyt lesních škodlivých činitelů v roce 2011 a jejich očekávaný stav v roce 2012. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Jíloviště-Strnady, 79 s.

KNÍŽEK M.; MODLINGER R. Zpravodaj ochrany lesa: Výskyt lesních škodlivých činitelů v roce 2012 a jejich očekávaný stav v roce 2013. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Jíloviště-Strnady, 65 s

KOLEVA, P.; KOLEV, N.; SCHOPF, A.; WEGENSTEINER, R. Untersuchungen zur Effizienz von insektizidbehandelten Fanghölzern gegen den Buchdrucker *Ips typographus* (Coleoptera, Curculionidae). *Forstschutz Aktuell*, 2012, 54: 16-21.

KREMSER W. Niedersächsische Forstgeschichte. M.u.H. Schaper, Alfeld, 1982. 965 s.

KULA, E. Ochrana lesa ve středoevropských podmínkách 1. část lýkožrout smrkový (*Ips typographus* L.) kalamitní škůdce smrkových ekosystémů střední Evropy. Brno, 2014. 69 s.

KULA, E.; ZĄBECKI, W. Kambioxylofágní fauna smrků stresovaných václavkou a kořenovníkem vrstevnatým. *Journal of Forest Science*, 1999, 45.10: 457-466.

LAUSCH, A.; FAHSE, L.; HEURICH, M. Factors affecting the spatio-temporal dispersion of *Ips typographus* (L.) in Bavarian Forest National Park: A long-term quantitative landscape-level analysis. *Forest Ecology and management*, 2011, 261.2: 233-245.

LOGAN, J. A.; POWELL, J. A. Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae). *American Entomologist*, 2001, 47.3: 160-173.

LUBOJACKÝ, J.; HOLUŠA, J. Effect of insecticide-treated trap logs and lure traps for *Ips typographus* (Coleoptera: Curculionidae) management on nontarget arthropods catching in Norway spruce stands. *Journal of Forest Science*, 2014, 60.1: 6-11.

MARTINEK V. 1960: Příprava lapáků pro kontrolu a boj s kůrovcem smrkovým *Ips typographus* L. *Lesnická práce*, 39(4): 186

MERKER, E. Die ökologischen Ursachen der Massenvermehrung des großen Fichtenborkenkäfers in Südwestdeutschland während der Jahre 1941 bis 1951. 1. Forstzool. Inst., 1957.

MERKER, E.; WILD, M. Das Reifen der Geschlechtsdrüsen bei dem grossen Fichtenborkenkäfer und sein Einfluss auf das Verhalten der Tiere. *Beiträge zur Entomologie = Contributions to Entomology*, 1954, 4.3-4: 451-468.

MODLINGER, R.; LIŠKA, J.; KNÍŽEK, M.; ADAM, D.; JANÍK, D.; HORT, L. Ochrana lesa před lýkožroutem smrkovým v ochranném pásmu lesních rezervací ponechaných samovolnému vývoji. VÚLHM, Strnady. *Lesnický průvodce* 9, 2015. 67 s. ISBN 978-80-7417-104-8.

MOORE, A.; MILLER, J. R.; TABASHNIK, B. E.; GAGE S. H. Automated identification of flying insects by analysis of wingbeat frequencies. *Journal of economic entomology*, 1986, 79.6: 1703-1706.

O'CONNOR, J. P.; NASH, R. Further records of insects (Dictyoptera, Lepidoptera, Coleoptera, Diptera) imported into Ireland. *The Irish Naturalists' Journal*, 1982, 393-395.

PARASCHIV, M.; ISAIA, G.; DUDUMAN, M. L. The effect of intercept® trap color on *Ips typographus* captures (preliminary results). *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, 2012, vol. 5 (54), no. 1, s. 85-90.

PFEFFER, A. *FAUNA ČSR, svazek 6, – KŮROVCI – SCOLYTOIDEA*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1955.

RATY, L.; DRUMONT, A.; DE WINDT, N.; GRÉGOIRE, J. C. Mass trapping of the spruce bark beetle *Ips typographus* L.: traps or trap trees?. *Forest Ecology and management*, 1995, 78.1-3: 191-205.

REMEŠ, J. Transformation of even-aged spruce stands at the School Forest Enterprise Kostelec nad Černými lesy: Structure and final cutting of mature stand. *Journal of Forest Science*, 2006, 52.4: 158-171.

REMEŠ, J.; PODRÁZSKÝ, V. Fertilization of spruce monocultures in the territory of Training Forest Enterprise in Kostelec nad Černými lesy. *Journal of Forest Science*, 2006, 52: 73-78.

RUDINSKY, J.A. Ecology of Scolytidae. *Annual Review of Entomology*, 1962 7: 327–348.

SEIDL, R.; SCHELHAAS, M.-J.; RAMMER, W.; VERKERK, P.J. *Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage*. *Nat. Clim. Chang.* 4, 2014. 806–810.

SCHELHAAS, M.-J.; NABUURS, G.-J.; SCHUCK, A. *Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries*. *Glob. Chang. Biol.* 9, 2003.1620–1633.

SCHLYTER, F.; CEDERHOLM I. *Separation of the sexes of living spruce bark beetles, Ips typographus* (L.), (Coleoptera: Scolytidae) *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 92. 1981. 42–47.

SCHLYTER, F. Aggregation pheromone system in the spruce bark beetle *Ips typographus*. Dissertation. Lund, 1985, 157 pp

SCHLYTER, F.; LÖFQVIST, J.; BYERS, J. A. Behavioural sequence in the attraction of the bark beetle *Ips typographus* to pheromone sources. *Physiological Entomology*, 1987, 12.2: 185-196.

SKUHRAVÝ, V. *Lýkožrout smrkový (Ips typographus L.) a jeho kalamity*. Agrospoj. Praha, 2002. 196 pp. ISBN 8070842385.

STADELMANN, G.; BUGMANN, H.; WERMELINGER, B.; MEIER, F.; BIGLER, C. A predictive framework to assess spatio-temporal variability of infestations by the European spruce bark beetle. *Ecography*, 2013, 36.11: 1208-1217.

ŠRAMEL, N.; KAVČIČ, A.; KOLŠEK, M.; DE GROTT, M. Estimating the most effective and economical pheromone for monitoring the European spruce bark beetle. *Journal of Applied Entomology*, 2021, vol. 145, no. 4, s. 312-325.

ŠVESTKA, M., HOCHMUT, R., JANČAŘÍK, V. Praktické metody v ochraně lesa. 2. vyd. Kostelec nad Černými lesy. *Lesnická práce*, 1998.

ŠVIHRA, P. 1968. Účinnost' lapákov prikrývaných vetvami. *Lesnícky časopis*, 1968, 41(4): 363–374.

TESAŘ, V. Lesnické sdružení ProSilva v Evropě a Česku. In: Pro silva bohemia deset let přestavby pasečného lesa. *Lesnická práce*, 2006, s. 1-68. ISBN 978-80-87154-13-7.

VINDSTAD, O.P.L.; JEPSEN, J.U.; EK, M.; PEPI, A.; IMS, R.A. Can novel pest outbreaks drive ecosystem transitions in northern-boreal birch forest? *Journal of Ecology*. 107, 2019, 1141–1153. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13093>.

VITÉ, J. P.; BAKKE, A.; RENWICK, J. A. A. Pheromones in *Ips* (Coleoptera: Scolytidae): occurrence and production1. *The Canadian Entomologist*, 1972, 104.12: 1967-1975.

WERMELINGER, B. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—a review of recent research. *Forest ecology and management*, 2004, 202.1-3: 67-82.

WERMELINGER, B.; SEIFERT, M. Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L)(Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 1998, 122.1-5: 185-191.

WESLIEN, J. Effects of mass trapping on *Ips typographus* (L.) populations. *Journal of Applied Entomology*, 1992, vol. 114, no. 1-5, s. 228-232.

WESLIEN, J.; LINDELÖW, Å. Recapture of marked spruce bark beetles (*Ips typographus*) in pheromone traps using area-wide mass trapping. *Canadian Journal of Forest Research*, 1990, 20.11: 1786-1790.

WULDER, M. A.; WHITE, J. C.; BENTZ, B.; ALVAREZ, M. F.; COOPS, N. C. Estimating the probability of mountain pine beetle red-attack damage. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 101.2: 150-166.

ZATLOUKAL, V. Historické a současné příčiny kůrovcové kalamity v Národním parku Šumava. *Silva Gabreta*, 1998, 2: 327-357.

ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK, M.; KAPITOLA, P. Zpětné odchyty značených lýkožroutu smrkových (*Ips typographus* L.) do feromonových lapačů v podmínkách smrkového a dubového porostu. *Zprávy lesnického výzkumu*, 1993, 38.3: 28-34.

ZAHRADNÍK P.; KNÍŽEK M. Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.). *Lesnická práce*, 2000, 79 (10): s. I–VIII.

ZAHRADNÍK P.; GERÁKOVÁ M. Lýkožrout smrkový. *Ips typographus* (L.) 3. vydání. *Lesnická práce*, 2010, příloha 89(12): I-VIII.

ZUMR, V. Podklady pro prognózu jarního rojení hlavních druhů kůrovce (Coleoptera, Scolytidae) na smrku ztepilém (*Picea excelsa* L.). *Lesnictví-Ceskoslovenská akademie zemědělská, Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství*, 1982.

ZUMR, V. *Biologie a ekologie lýkožrouta smrkového (Ips typographus) a ochrana proti němu*. Academia. Praha. 1985, 116 s

ZUMR, V. *Lýkožrout smrkový – biologie prevence a metody boje*. 1. vyd. Písek : Matice lesnická, 1995, 131 s. ISBN 80-900043-2-9

Internetové zdroje a odkazy

Portál ČHMÚ / Historická data / Počasí / Denní data / Denní data dle z. 123/1998 Sb.. Portál ČHMÚ / Home [online]. Dostupné z: <<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb>>