

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Excelentní tým pro mitigaci



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Porovnání odchyceného množství lýkožrouta smrkového
Ips typographus (L.) do feromonových lapačů s objemem
vytěženého kůrovcového dříví v okolí**

Diplomová práce

Bc. Miroslav Klinovský

Vedoucí práce:

Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

Konzultant:

Ing. Martin Leiner

Praha 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Miroslav Klinovský

Lesní inženýrství

Název práce

Porovnání odchyceného množství lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.) do feromonových lapačů s objemem vytěženého kůrovcového dříví v okolí

Název anglicky

Comparison of caught spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) into the pheromone traps with the volume of the bark beetle attacked trees in surrounding forest stands

Cíle práce

Feromonové lapače jsou podle platné legislativy používány k stanovení základního, zvýšeného a kalamitního stavu populace lýkožrouta smrkového. Je však otázkou, nakolik počet odchycených brouků koresponduje s intenzitou napadení lesních porostů. Cílem práce je ověřit vztah mezi odchylem lýkožrouta smrkového do feromonových lapačů a objemem kůrovcových těžeb v jejich okolí.

Metodika

Využity budou odchyty lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) do feromonových lapačů typu Theysohn, umístěné v letech 2019 – 2022 na školním lesním podniku v Kostelci nad Černými lesy (ŠLP). Jedná se o 8 lokalit rovnoměrně rozmístěných v rámci ŠLP. Odchyty v letech 2019 – 2021 jsou již separované (student zde částečně navazuje na svou bakalářskou práci), odběr odchycených brouků v sezóně 2022 a jejich třídění bude realizováno v praktické části diplomové práce. Pro každý rok sběru bude vypočten model PHENIPS (Baier et al. 2007) a odchyt lýkožrouta bude sumarizován za příslušnou generaci. V prostředí ArcGIS budou poté nad vrstvou lesní hospodářské evidence kůrovcového dříví vytvořeny buffer zóny se středem v každém z feromonových lapačů, o poloměru 100, 500, a 1000 m. K vyhodnocení vztahu mezi odchyty do lapačů a objemem kůrovcových těžeb v dané vzdálenosti od feromonového lapače, bude použit statistický model regresního typu.

Harmonogram:

květen až září 2022 – odběr zachycených brouků do feromonových lapačů

září až říjen 2022 – třídění a sumarizace odchytů lýkožrouta smrkového

říjen až listopad 2022 – tvorba modelu PHENIPS

prosinec 2022 až leden 2023 – sumarizace LHE a tvorba bufferů

únor 2023 – statistické analýzy

Doporučený rozsah práce

50-70 stran

Klíčová slova

ochranná opatření, kůrovcová těžba, PHENIPS, lýkožrout smrkový, ochrana lesa

Doporučené zdroje informací

- 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, vol. 249, s. 171-186.
- 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.
- KLINOVSÝ, M. Letová aktivita kalamitních druhů kůrovců (Coleoptera: Scolytinae) v závislosti na sumě efektivních teplot. ČZU, Praha. Diplomová práce, 2021. 56 s.
- MARKOVIC, C.; STOJANOVIC, A. Differences in bark beetle (*Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus*) abundance in a strict spruce reserve and the surrounding spruce forests of Serbia. *Phytoparasitica*, 2010, vol. 38, no. 1, s. 31–37.
- 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.
- NETHERER, S.; NOPP-MAYR, U. Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management-rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. *Forest Ecology and Management*, 2005, vol. 207: s 99–107.
- 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.
- WICHMANN, L.; RAVN, H.P. The spread of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark, analyse using GIS. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 148, no. 1–3, s. 31–39.
-

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 04. 04. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Liberci dne 5. 4. 2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Romanu Modlingerovi, Ph.D. za soustavný dohled, odborné rady při vedení této diplomové práce a za pomoc se statistickými metodami. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Leinerovi za pravidelné konzultace a také Ing. Karlu Matějkovi, CSc. za vytvoření výběrových bufferů nad lesní hospodářskou evidencí.

Porovnání odchyceného množství lýkožrouta smrkové *Ips typographus* (L.) do feromonových lapačů s objemem vytěženého kůrovcového dříví v okolí

Souhrn

Tato práce obsahuje popis morfologie, bionomie, lesnického významu, managementu ochrany lesa a populační dynamiky lýkožrouta smrkového. Podrobněji se zabývá kontrolními a obrannými metodami v ochraně lesa, zejména monitoringem pomocí feromonových lapačů a aktivní obranou asanací kůrovcového dříví. Tyto přístupy jsou důležité pro redukci škod na lesním majetku, které lýkožrout smrkový způsobuje. Praktická část se věnuje vyhodnocení vztahu mezi odchyty do feromonových lapačů a objemu vytěženého kůrovcového dříví ve vzdálenostech 100, 500 a 1000 m.

Na většině lokalit v rámci Školního lesního podniku Kostelec nad Černými lesy byl zaznamenán mezi lety 2019-2022 kalamitní stav populace lýkožrouta smrkového. Porovnáním odchytů do feromonových lapačů s těžbou během jarního období a kalamitním základem na bufferu 100, 500, a 1000 m byly zjištěny pouze nesignifikantní vztahy. Nejsilnější vazbou byla pozitivní korelace mezi kalamitním základem a objemem vytěženého kůrovcového dříví. Negativní korelace mezi odchyty do feromonových lapačů a objemem vytěženého kůrovcového dříví v přímém okolí do 500 m poukazuje na pravděpodobný vztah těchto proměnných. S rostoucí vzdáleností se tato korelace změnila na pozitivní, což nejspíše zapříčinila klesající účinnost lapače. Těžba kůrovcového dříví v jarním období do vzdálenosti 500 m může nepřímo ovlivnit výši odchytů do feromonových lapačů, nicméně tento vztah nebyl statisticky významný. Předěšlé experimenty dosáhly podobných výsledků. Vliv má zřejmě účinnost feromonového lapače, která pravděpodobně s přibývajícím vzdáleností klesá, podmínky na stanovišti či správa lesních porostů. Řešení této problematiky vyžaduje v budoucnu rozsáhlejší výzkum. Celkově lze usoudit, že pravděpodobně neexistuje těsný vztah mezi odchyty do lapačů a těžbou kůrovcového dříví v jejich okolí.

Klíčová slova: ochrana lesa, ochranná opatření, feromony, kůrovcová těžba, disturbance, PHENIPS, lýkožrout smrkový

Comparison of caught spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) into the pheromone traps with the volume of the bark beetle attacked trees in surrounding forest stands

Summary

This work describes morphology, bionomy, forestry importance, forest pest management and population dynamics of European spruce bark beetle. It focuses on control measures, especially monitoring with pheromone traps and active defence through the infested wood sanitation. These approaches are important for reducing forest damage caused by European spruce bark beetle. The practical part considers the relationship between trapping in pheromone traps and the volume of bark wood harvested at distances of 100, 500 and 1000 m.

In most localities within the School Forest Enterprise in Kostelec nad Černými lesy, a calamitous state of the population of the spruce bark beetle was recorded between 2019-2022. By comparing catches in pheromone traps with sanitation felling during the spring period and the so-called "calamitous base" on buffers 100, 500, and 1000 m, only non-significant relationships were found. The strongest relationship was the positive correlation between the calamitous base and the volume of sanitation felling. The negative correlation between trapping to pheromone traps and the volume of sanitation felling within 500 meters indicates the likely relationship between these variables. As the distance increased, this correlation turned positive, likely causing the traps' declining efficiency. Logging of bark wood in the spring up to 500 m may indirectly affect the trapping level in pheromone traps. The effectiveness of the pheromone trap, site conditions, and forest management may all contribute to these findings. Overall, it can be concluded that there is likely no direct relationship between pheromone trap catches and the harvesting of infested wood in their vicinity.

Keywords: forest pest management, mass trapping, pheromone, harvests, disturbance, PHENIPS, European spruce bark beetle

Obsah

1 Úvod	11
Cíl práce	13
2 Literární rešerše	14
2.1 Morfologie a bionomie.....	14
2.1.1 Morfologie	14
2.1.2 Bionomie.....	15
2.1.2.1 Vývojový cyklus.....	16
2.1.2.2 Letová aktivita	17
2.1.2.3 Rozšíření	18
2.1.2.4 Feromonová komunikace	19
2.2 Lesnický význam a legislativa	20
2.2.1 Lesnický význam	20
2.2.2 Legislativa.....	21
2.3 Management ochrany lesa.....	22
2.3.1 Metody kontroly a obrany.....	22
2.3.1.1 Pochůzková metoda.....	23
2.3.1.2 Těžba a asanace kůrovcového dříví	24
2.3.1.3 Feromonové lapače.....	26
2.3.1.4 Lapáky.....	28
2.3.1.5 Otrávené lapáky	29
2.3.1.6 Srovnání ochranných metod.....	30
2.4 Populační dynamika	31
2.4.1 Populační hustota.....	31
2.4.2 Gradace a dopady.....	32
3 Metodika	34
3.1 Školní lesní podnik Kostelec nad Černými lesy	34
3.1.1 Odchyty do feromonových lapačů	34
3.1.2 Laboratorní rozbor	36
3.1.3 Tvorba modelů PHENIPS.....	36
3.1.4 Statistické metody.....	36
3.1.5 Tvorba mapových podkladů a vyhodnocení	37
4 Výsledky	38

5	Diskuze	45
6	Závěr.....	48
7	Literatura	49

Seznam obrázků a tabulek

Obr. č. 1: Jednotlivá vývojová stádia <i>Ips typographus</i> s detailem tykadla, prohlubně a požerku (NOVÁK et al. 1976)	15
Obr. č. 2: Vývoj objemu vytěženého kůrovcového dříví v ČR (KNÍŽEK & LIŠKA 2022)	33
Obr. č. 3: Mapa jednotlivých lokalit s feromonovými lapači (D. Tyšer).....	35
Obr. č. 4: Výstup z modelu PHENIPS pro rok 2019	38
Obr. č. 5: Výstup z modelu PHENIPS pro rok 2020	38
Obr. č. 6: Výstup z modelu PHENIPS pro rok 2021	39
Obr. č. 7: Výstup z modelu PHENIPS pro rok 2022	39
Obr. č. 8: Vývoj odchytů lýkožrouta smrkového do feromonových lapačů v zájmových lokalitách během jarního rojení 2019–2022	40
Obr. č. 9: Vývoj kalamitního základu (m^3) pro zájmové lokality v 100, 500, 1000 m bufferu během let 2019–2022	41
Obr. č. 10: Vývoj objemu vytěženého smrku (m^3) pro zájmové lokality v 100, 500, 1000 m bufferu během let 2019–2022	41
Obr. č. 11: Korelační matice proměnných pro 100 m buffer. Jejich označení je na úhlopříčné spojnici, pod kterou se nachází hodnoty vycházející z Pearsonova korelačního koeficientu pro vztah dvou proměnných. Nad úhlopříčkou jsou bodové grafy, na kterých jsou vyznačené konkrétní hodnoty a podoba závislosti z vynesené spline křivky	42
Obr. č. 12: Korelační matice proměnných pro 500 m buffer.....	43
Obr. č. 13: Korelační matice proměnných pro 1000 m buffer.....	44
Tab. č. 1: ANOVA tabulka pro GLMM model vlivu těžby a kalamitního základu na odchyty pro buffer 100 m	42
Tab. č. 2: ANOVA tabulka pro GLMM model vlivu těžby a kalamitního základu na odchyty pro buffer 500 m	43
Tab. č. 3: ANOVA tabulka pro GLMM model vlivu těžby a kalamitního základu na odchyty pro buffer 500 m	44

1 Úvod

Lesy na území Evropy poskytovaly po staletí lidem mnohé ekosystémové služby a přinášely významné ekonomické zisky. Díky svým růstovým a technickým vlastnostem byla upřednostňována výsadba smrku ztepilého, ovšem i v oblastech mimo svůj přirozený areál, na úkor ostatních druhů náležících do přirozené druhové skladby. Opakované vysazování smrkových porostů společně s využitím nepůvodního reprodukčního materiálu vedlo ke vzniku tzv. sekundárních lesů, u kterých během posledních desetiletí došlo k rozvoji problémů se zdravotním stavem. Ty jsou nadále znehodnocovány disturbančními činiteli, a to zejména větrem nebo suchem, následně doprovázených kůrovcem (HLÁSNY et al. 2019). Dle některých autorů vliv sucha na rozvoj populační dynamiky kůrovců v nedávné době převýšil působení větru v tomto hledisku (HLÁSNY et al. 2021). Nepříznivá situace je navíc v současnosti negativně ovlivňována probíhající změnou klimatu mající za následek růst intenzity disturbančních událostí a snížení obranyschopnosti stromů, čímž vznikají mimořádné podmínky pro další množení kůrovce (STADELMANN et al. 2013; MODLINGER & TRGALA 2019; HLÁSNY et al. 2019). Lýkožrout smrkový – *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) je považován za hmyz působící nejvýznamnější hospodářské škody v evropských smrkových lesích (WICHMANN & RAVN 2001; STADELMANN et al. 2013) a v budoucnu bude zřejmě podíl poškození dále stoupat (ØKLAND et al. 2016). Během let 2021–2030 se v Evropě předpokládá šestinásobný nárůst objemu kůrovcového dříví oproti období 1971–2010 na 17,9 milionů m³ ročně (SEIDL et al. 2014; HLÁSNY et al. 2019). Podle HLÁSNÉHO et al. (2021) se Česká republika v průběhu posledních let stala evropským epicentrem výskytu tohoto škůdce. Těžba napadených stromů a asanace kůrovcového dříví jsou obvykle nejdoporučovanější strategie k omezení škod na lesních porostech (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015; KUHN et al. 2022), kvantifikace účinnosti těchto metod je však předmětem diskusí a nebyla dosud dostatečně zdokumentována (STADELMANN et al. 2013). Feromonové lapače jsou běžně využívanou metodou pro monitoring lýkožrouta smrkového (ZUMR 1985; GALKO et al. 2016; ČSN 48 1000). Účinnost feromonových pastí však také není jednoznačně definována (FACCOLI & STERGULC 2008; HLÁSNY et al. 2019; KUHN et al. 2022), nicméně celkově zřejmě dosahují nízké efektivity v redukci populační hustoty lýkožrouta za vynaložení poměrně vysokých nákladů (WERMELINGER 2004, HELLAND et al. 1984), proto se od jejich využívání za tímto účelem v některých oblastech (např. Německo, Skandinávie) zcela ustoupilo (HLÁSNY et al. 2019). Vysoké odchyty do feromonových lapačů nemusí nutně korelovat s vysokým objemem napadených stromů a nízké odchyty nemusí znamenat, že dojde k nízkým škodám (WESLIEN

1992; LINDELÖW & SCHROEDER 2001). Téma gradací kůrovcových populací zajímá nejen lesníky a odborníky, kterých se tato problematika bezprostředně týká, ale také širší veřejnost. Při řešení otázek ochrany lesa spolu s vlivem globálních změn je zapotřebí uskutečňovat multidisciplinární přístup (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015).

Cíl práce

Feromonové lapače jsou podle platné legislativy používány k stanovení základního, zvýšeného a kalamitního stavu populace lýkožrouta smrkového. Je však otázkou, nakolik počet odchytených brouků koresponduje s intenzitou napadení lesních porostů. Cílem práce je ověřit vztah mezi odchycením lýkožrouta smrkového do feromonových lapačů a objemem vytěženého kůrovcového dříví v jejich okolí.

2 Literární rešerše

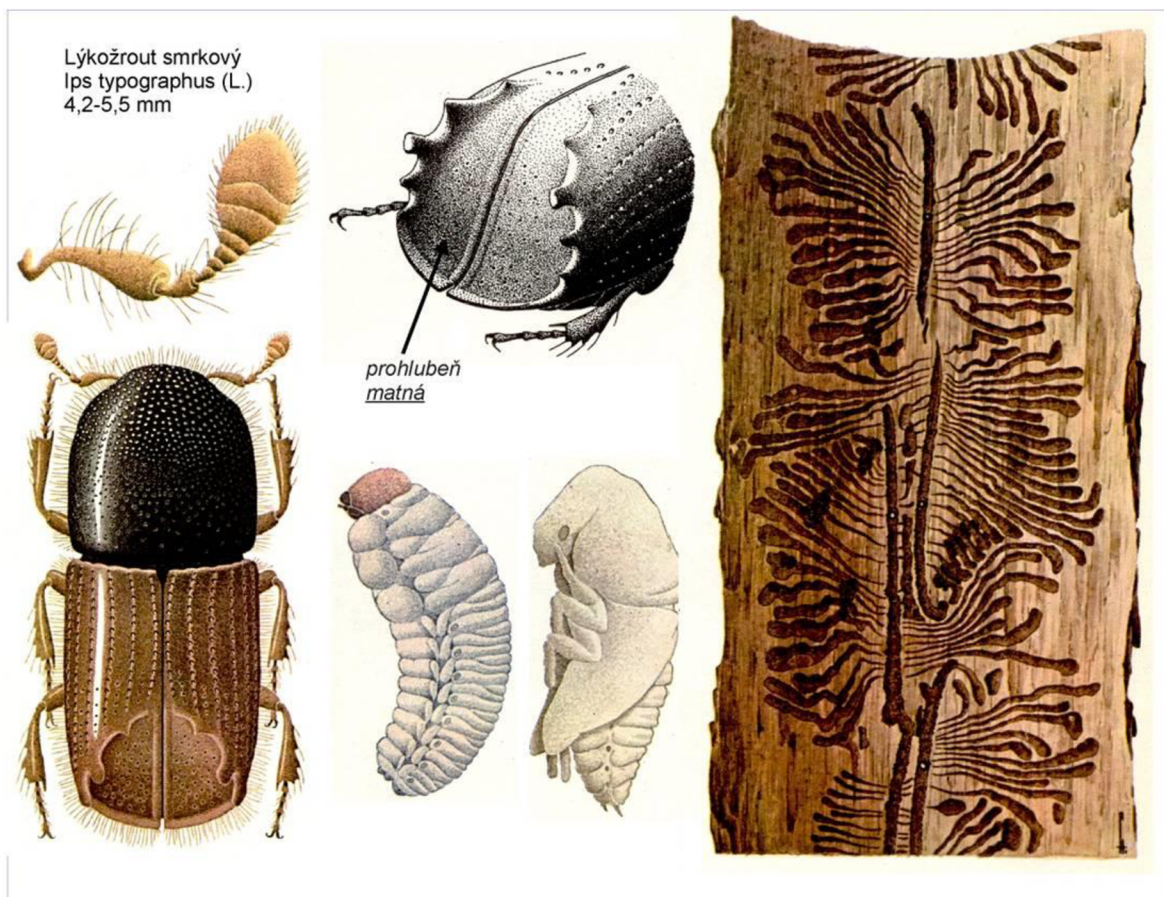
2.1 Morfologie a bionomie lýkožrouta smrkového

2.1.1 Morfologie

Lýkožrout smrkový se podle platné zoologické nomenklatury (BIOLIB 2023) řadí do řádu brouků (Coleoptera), čeledi nosatcovití (Cuculionidae) a podčeledi kůrovcovití (Scolytinae). Je součástí celkem 111 zástupců z této podčeledi vyskytujících se na území České republiky (KNÍŽEK 2005) a jedním ze šesti zástupců *Ips* na našem území (DOLEŽAL 2013). Celosvětově je známo přes 5000 druhů kůrovcovitých (ZUMR 1995; KULA 2014).

Velikost dospělého je 4,2 – 5,5 mm (PFEFFER 1955; ZUMR 1995), JAKUŠ & BLAŽENEC (2015) uvádí rozmezí 4,8 až 5,5 milimetrů, ale v praxi se lze setkat i menšími jedinci, a to z důvodu nižšího příjmu potravy ve stádiu larvy (SKUHRAVÝ 2002). Tělo má válcovitý tvar a na zadní části krovek se nachází 4 zoubky (PFEFFER 1955), z nichž největší je 3. shora (ÚKZUZ 2023). Čelo je zrnitě hrbolkované a jeden ve středu předního okraje vyčnívá svou velikostí. Jeho tykadla jsou žlutavá s pětičlenným bičíkem (ZUMR 1995) a tykadlová palička má viditelně zprohýbané švy (PFEFFER 1955). Mezirýží krovek jsou hladká a značně lesklá (ZUMR 1995). Barva dospělého je tmavě hnědá až černá a imaga jsou lesklá. Na těle jsou při bližším ohledání zřetelné zlatavé chloupky (ÚKZUZ 2023). Jejich hustota může být klíčem při rozeznání pohlaví u lýkožrouta smrkového. Samci je mají na přední části plošky mezi hlavou a krovkami řidší, celkově je však pohlavní dimorfismus nevýrazný (ZAHRADNÍKOVÁ 2014; JAKUŠ & BLAŽENEC 2015). *Ips typographus* lze zaměnit za *Ips duplicatus* (Sahlberg, 1836) nebo *Ips amitinus* (Eichhoff 1871), ti však mají tečkované mezirýží a první zmíněný navíc výrazný dvojjzub z hrbolků (ÚKZUZ 2023). Podobá se také *Ips cembrae* (Heer, 1836), jenž se odlišuje rovnými švy na tykadlové paličce. Je zpravidla větší než ostatní druhy a řadí se mezi největší kůrovce u nás (KINDLMANN et al. 2012).

Požerok tvoří snubní komůrka a obvykle 2-3 rovné matečné chodby (obrázek č. 1), které z ní vychází v podélné ose kmene (PFEFFER 1955; JAKUŠ & BLAŽENEC 2015). Z těch vybíhají postupně se rozšiřující larvové chodby. Délka požerku se pohybuje mezi 10-30 cm (ZUMR 1995).



Obr. č. 1: Jednotlivá vývojová stádia *Ips typographus* s detailem tykadla, prohlubně a požerku (NOVÁK et al. 1976)

2.1.2 Bionomie

V přírodních podmínkách oblasti našeho státu dosahuje lýkožrout smrkový v nižších polohách běžně dvou generací během roku, zatímco ve vyšších polohách (nad 800 m. n. m.) vzniká pouze jedna generace tohoto brouka (DOLEŽAL 2013; JAKUŠ & BLAŽENEC 2015). Panují-li v jeho areálu rozšíření příhodné podmínky, zejména vysoká teplota (ZUMR 1995), může dojít i k vývoji jedné generaci navíc (KULA 2014), případně pokud jsou tyto podmínky nadstandardně příznivé, stihne do zimování ještě půl generace a zimu přečkává ve stádiu kukel či larev (ÚKZUZ 2023). HLÁSNÝ et al. (2021) v nedávných výzkumech upozorňují na přechod ke třígeneračnímu režimu ve vybraných lokalitách na území České republiky, k čemuž došlo dle MODLINGERA & TRGALY (2019) na většině území naší republiky během let 2017 a 2018. Lýkožrout smrkový je totiž schopen účinného fenologického přizpůsobení teplotou regulovaných znaků, což mu napomáhá přizpůsobit počet generací a jejich načasování během roku lokálnímu klimatu (BENTZ et al. 2019). Probíhající klimatická změna a růst teplot (IPCC 2021), kromě negativního vlivu na zdravotní stav a obranyschopnost stromů, snižuje

mortalitu brouků během zimy a podporuje vznik a dokončení jeho dalších generací (ANNILA 1969; BAIER et al. 2007).

2.1.2.1 Vývojový cyklus

Lýkožrout smrkový přezimuje ve všech stádiích vývoje s výjimkou vajíčka (MODLINGER & TRGALA 2019) v půdě nebo pod kůrou stromů (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015). Jeho vývoj probíhá skrze proměnu dokonalou (HŮRKA & ČEPICKÁ 1978). Jako první kolonizuje cílový strom samec (BAKKE 1970) a po přiletu započne hlodání snubní komůrky v časovém horizontu 2–4 dní, kdy ho v daném místě doplní i samice (PFEFFER 1955). Ta i další samci reagují na agregační feromon syntetizovaný během napadení hostitele, během kterého je zdolávána obranyschopnost napadeného stromu a vlivem působení tohoto feromonu na ostatní jedince dochází k hromadnému náletu (BAKKE 1970; ZAHRADNÍK & GERÁKOVÁ 2010). Jeden samec se zpravidla spáří s 1–4 samičkami (RUDINSKY et al. 1971; JEGER et al. 2017), vzácně až s 5 (ZUMR 1995; SKUHRAVÝ 2002), kdy každá z nich poté začne hlodat svou vlastní matečnou chodbu a do krajních zářezů klade vajíčka (PFEFFER 1955), jejichž počet je až 80 (WERMELINGER 2004; JEGER et al. 2017), průměrně 35 kusů (MATOUŠEK et al. 2012). V průběhu celého života naklade samička 20–100 vajíček (PFEFFER 1955). Skutečný počet pak dle KULY (2014) ovlivňuje sesterské rojení a nadmořská výška, ve které se populace vyvíjí, dále teplota (WERMELINGER & SEIFERT 1999) a také samičí kompetice o lýko (MILLS 1986). Samotné kladení probíhá 7–10 dní (SKUHRAVÝ 2002). Následně se během 6–18 dnů líhnou z vajíček larvy, jde tedy o stádium s nejkratším trváním (ZUMR 1995). Vývoj larev je závislý na variabilitě teplotních podmínek (ANNILA 1969) a při nepřízní počasí, zejména vlivem chladného počasí, se doba trvání stádia larvy prodlužuje (SKUHRAVÝ 2002). Tento vývoj trvá 7–50 dní (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015). Dle KULY (2014) vývoj larvy ovlivňuje také kvalita potravy nebo působení parazitů. Stádium kukly trvá průměrně 8 dní (SKUHRAVÝ 2002; DOLEŽAL 2013), ale rozmezí se uvádí 6–17 dní (ZUMR 1995; KULA 2014). Celkové trvání vývoje každého stádia je mimo vajíček často proměnlivé a záleží také, jestli konkrétní stádium zimuje (KULA 2014). Barva vylíhlých brouků je nejdříve bílá, poté žlutne a průběhem vývoje nabývá barvu hnědou, která dále tmavne a v průběhu tohoto procesu brouci pohlavně dospívají (ZUMR 1995). Zároveň procházejí zralostním žirem, který probíhá buď v místě vylíhnutí nebo na náhradním hostiteli po přeletu. Období zralostního žiru trvá zpravidla 2–3 týdny (KULA 2014; ZAHRADNÍK & GERÁKOVÁ 2010). Poměr pohlaví nově vylíhlých brouků v požerku je přibližně 1 : 1 (PFEFFER 1955). To se mění po náletu na strom, protože dochází

k vyšší úmrtnosti samců vůči samicím v poměru 1 : 2 – 1 : 3 (KULA 2014). V porostech Bavorska bylo zjištěno, že čerstvě po začátku zpravidla několik let trvající kalamity převažují samice v poměru 1 : 1,89, poté se od 4. do 7. roku navyšuje podíl samců a to 1 : 0,89 (LOBINGER 1996). Během všech generací dochází k sesterskému přerojení (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2007) zřejmě kvůli nedostatku životního prostoru (KIRKENDALL 1983). To znamená, že již oplozené samice po vykladení první snůšky vajíček a po absolvování zralostního žíru mohou na stejném nebo dalším stromě založit první či druhé sesterské pokolení (WERMELINGER & SEIFERT 1998). K tomuto jevu dochází přibližně do 3 týdnů po hlavním rojení (PFEFFER 1955) a účastní se ho 18–27 % samiček (RECKMANN 1950). Požerek takto vzniklý je typický absencí snubní komůrky (KULA 2014). Podle MARTINKA (1961) jsou samičky schopny až třikrát pokračovat v kladení a celkem 91 % z nich podstoupí první regenerační žír, založí novou sesterskou generaci a 38 % i podruhé.

2.1.2.2 Letová aktivita

Rojení během jarní generace začíná v polovině dubna (ve vyšších polohách později) a kompletní vývojový cyklus trvá do června (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015; ÚKZUZ 2023). K opuštění zimoviště dochází u kůrovcovitých po překročení určitého teplotního prahu (BEREC et al. 2013), přičemž nezáleží jen na teplotě jednoho dne, ale zásadní vliv má i průběh denních teplot během vegetační periody. Po dosažení určité hodnoty sumy těchto teplot dochází k plynulému letu a tento součet je označován jako suma efektivních teplot (ZUMR 1995). Dle WERMELINGERA (2004) je vývoj započat poté, co teplota vzduchu dosáhne minimálně 8,3 °C. Jakmile dosáhne teplota kůry či hrabanky 14 °C, dochází k aktivnímu pohybu lýkožrouta smrkového, následně letu (SKUHRAVÝ 2002) a k napadení stromu dochází po naplnění limitu teploty vzduchu 16,5 °C (BAIER et al. 2007). Při 20 °C počíná silné rojení a 29 °C znamená teplotní optimum pro rojení (PFEFFER 1955; SKUHRAVÝ 2002). V součtu se rovná 6–10týdenní trvání celkového vývoje lýkožrouta smrkového (PFEFFER 1955; DOLEŽAL 2013) 334,2 stupňodním (MATOUŠEK 2012) a po přičtení hodnoty 222,8 (WERMELINGER & SEIFERT 1998) zaznamenané v průběhu úživného žíru získáme celkovou sumu 557 stupňodní (WERMELINGER 2004; BAIER et al. 2007).

Začátek letního rojení probíhá v závislosti na dokončení vývoje jarní generace a je zpravidla nestejně intenzivní (ZUMR 1995), méně intenzivní než první a trvá delší dobu (PFEFFER 1955). Dochází k němu přibližně od poloviny června až do začátku srpna (DOLEŽAL 2013; ÚKZUZ 2023). Ke zmíněné době nástupu letního rojení dochází dle při abnormálně

teplých letních období. Případné deštivé počasí nebo chlad rojení přerušuje (ZUMR 1995). Koncem léta, kdy jsou dny kratší, dochází k dosažení prahu letové aktivity. Ten je udáván jako 14,5 hodin, kdy zároveň klesají noční teploty, což pro lýkožrouta znamená vyvolání takzvané imaginální diapauzy (KULA 2014). Přejít do této fáze je řízen hormony a projevuje se slábnoucí letovou aktivitou, zastavením reprodukce, dále dochází ke zvýšenému příjmu potravy, hromadění zásob energetických látek a zároveň brouci intenzivněji produkují látky, které je chrání před umrznutím v průběhu teplot hluboko pod nulou (DOLEŽAL & SEHNAL 2003).

2.1.2.3 Rozšíření

Nejčastěji lze zaznamenat výskyt lýkožrouta smrkového v porostech s dominancí smrku starších 60 let nebo dosahujících průměru kmene alespoň 20–25 cm (PFEFFER 1955; HLÁSNY et al. 2019), avšak při přemnožení může hojně napadat a rozmnožovat se i v mladších a užších dimenzích (HLÁSNY et al. 2019). Preferuje osluněné porostní stěny s jižní až jihozápadní expozicí. V porostech se vyskytuje na stanovištích se sníženým zakmeněním či za stavu gradace jeho populace (LUBOJACKÝ et al. 2018). Lýkožrout smrkový je obecně považován za sekundárního škůdce (KREUTZ et al. 2004). Primárním zdrojem jeho napadení jsou čerstvě odumřelé a stresované stromy (HUANG et al. 2019). Ty jsou oslabovány zejména suchem, větrem a imisemi (WERMELINGER 2004; MODLINGER et al. 2009). V těchto místech pak dochází ke značnému rozvoji populační hustoty a v tuto chvíli se stává lýkožrout smrkový primárním škůdcem, který je nyní schopen osidlovat i zdravé stromy, je tedy označován i jako fakultativně primární škůdce (KŘÍSTEK 1995; HLÁSNY et al. 2019). Nejintenzivněji se nálet soustřeďuje do části kmene, kde suché větve přecházejí v zelené (MODLINGER et al. 2015). Zde je borka poměrně hladká, ale lýko silné 4–10 mm (DOLEŽAL 2013), v ostatních částech stromu se objevují převážně doprovodné sekundární druhy (KULA 2014). Lýkožrout smrkový je horský druhem, který se ovšem adaptoval na život v nižších nadmořských výškách, obývá tedy běžně pahorkatinný i nížinný výškový stupeň (SKUHRAVÝ 2002), kam se dostal kvůli pěstování smrku mimo jeho přirozený areál (ZUMR 1995). Podle SKUHRAVÉHO (2002) lze jeho výskyt zaznamenat kromě smrku ztepilého i na dalších autochtonních a introdukovaných druzích smrku a také na modřínu, borovici nebo jedli. Výjimečně byl registrován i na douglasce (ÚKZUZ 2023). Celkově jeho areál výskytu zahrnuje Evropu s výjimkou Velké Británie (v Anglii zaznamenán, ale podle WINTERA (1985) se zřejmě jednalo o zavlečené jedince) a oblasti přes Sibiř, Čínu až po Koreu, kde tvoří odlišnou morfologickou formu, která je často

považována za synonymum lýkožrouta smrkového (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2007; ZUMR 1995; DOLEŽAL 2013). Západní hranici jsou Pyreneje a nejvýchodnější polohou je japonský ostrov Hokkaidó. Severní hranice výskytu v Evropě probíhá Laponskem a jižní cíp pak tvoří oblasti v severním Řecku a Turecku (SKUHRAVÝ 2002). Podle HLÁSNEHO et al. (2019) byl již jeho výskyt zaznamenán i v Severní Americe. Nynější široký areál rozšíření naznačuje, že je tento druh schopen se usadit v Evropě kdekoli, kde se vyskytují jeho hostitelé (JEGER et al. 2017) a podle MODLINGERA & TRGALY (2019) v současnosti napadá smrkové porosty ve všech oblastech České republiky.

2.1.2.4 Feromonová komunikace

Lýkožrouti jsou k hostiteli lákáni působením primárních atraktant (RUDINSKY 1962), především terpeny, které se uvolňují z fyziologicky oslabených stromů. U smrku se jedná zejména o α -pinen (ZUMR 1995). Tyto látky jsou zároveň prekurzory sekundárních atraktant – pohlavně agregačních feromonů, které vytvářejí samotní brouci po konzumaci lýka (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015) a jsou mnohem přitažlivější než těkavé látky vylučované smrkem. Jedinci druhu *Ips typographus* jsou lákáni pomocí agregačních feromonů, když je k dispozici vhodný hostitelský substrát pro rozmnožování (WERMELINGER 2004). Při vytlačování zkonzumovaného lýka samcem mimo požerky dochází k jejich uvolňování do okolí a efektem je reakce obou pohlaví. Mezi stěžejní složky samčího feromonu patří methylbutenol a cis-verbenol (BAKKE et al. 1977), jehož produkce závisí na hladině přítomnosti α -pinenu (WAINOUSE 2008; JAKUŠ & BLAŽENEC 2015). Samice svým pohybem vytlačuje trus vyhazovaný samcem pryč z požerku do míst snubní komůrky, čímž se do okolního prostředí dostane i feromon produkovaný samicí. Ten je složen zejména z ipsdienolu a ipsenolu (BIRGERSSON et al. 1984). Účelem samičího feromonu je omezit další náletu samců a samic. K tomu dochází, jakmile koncentrace ipsdienolu a ipsenolu převáží tu cis-verbenolu (MODLINGER et al. 2015). Antiagregační funkci má také verbenon, který je oxidačním produktem cis-verbenolu (RENWICK & VITĚ 1969). Dle FRANCKE et al. (1995) je lýkožrout smrkový schopen produkce odpuzujících feromonů, pokud je substrát nevyhovující pro další rozmnožování. Feromony lýkožrouta smrkového lze využít v činnostech týkajících se kontroly a pokud jsou dodrženy určité podmínky, jde využít tyto látky i v přímé obraně. Rozdíly mezi těmito využitími se prolínají, kdy hlavně při nižších populačních hustotách škůdce plní feromony obě funkce zároveň (ZAHRADNÍK 1996).

2.2 Lesnický význam a legislativa

2.2.1 Lesnický význam

Výskyt kůrovce je významným biotickým faktorem, který se vyskytuje v rámci přirozeného vývoje a dynamiky lesních ekosystémů a může způsobit rozsáhlé územní narušení porostů (BAIER et al. 2007). Lýkožrout smrkový je hlavním biotickým škodlivým činitelem v oblasti smrkových lesů v Eurasii (BIEDERMANN et al. 2019). Nárůst škod v posledních letech ve střední Evropě způsobil velmi významný ekonomický dopad na lesní hospodářství v důsledku ztrát na dříví a vysokých výdajů na kontrolní a asanační opatření (GRODZKI 1999; NOVOTNÝ & TURČÁNI 1998). Na našem území patřil již v minulosti podle LIŠKY et al. (1991) mezi nejvýznamnější lesní hmyzí škůdce a PFEFFER (1955) jej označil za jednoho ze zástupců nejškodlivějších kůrovců v našich krajinách.

Kalamity kůrovce mají více efektů na fungování porostů (HLÁSNY et al. 2019). Významně ovlivňují biogeochemické cykly lesních ekosystémů, protože mají za následek ztrátu asimilačních orgánů stromů, které slouží k sekvestraci uhlíku (NESŇAL et al. 2021). Krom uhlíku je zvýšenou aktivitou kůrovce ovlivněn také dusíkový cyklus formou mineralizace či případných ztrát z ekosystému. Další ovlivněnou složkou je vodní režim, protože napadené stromy spotřebují méně vody, což má za následek zvýšení objemu dostupné vody v půdě a zvětšení povrchového odtoku. U toho dochází ke změnám režimu kvůli snížené schopnosti intercepce a rychlejšímu tání sněhu (HLÁSNY et al. 2019). Disturbance způsobená kůrovcem lze vnímat z více uhlů pohledu. Může například na stanovištích, kde byla pozměněna druhová skladba upřednostňováním smrku, napomoci ke změně dřevinné skladby, která je stanovištně vhodnější (THOM et al. 2017). Dále se díky uvolnění zápoje pozmění světelný režim v porostu a společně s kumulací mrtvého dřeva vznikají vhodné podmínky pro nezanedbatelné množství lesní fauny včetně vzácných a chráněných druhů (BAUDERT et al. 2015). Analýza v kůrovcem ovlivněném NP Bavorský les prokázala, že kalamita měla pozitivní vliv na množství rostlinných i živočišných druhů, jejichž počet se vyrovnal těm v pralesech (HILMERS et al. 2018). Působit však může i negativně, záleží přede vším na stanovištních nárocích a životní strategii daného druhu. Pozitivní dopad kůrovce je však často anulován, jakmile je odstraněno mrtvé dřevo z porostu (HLÁSNY et al. 2019). Z globální meta-analýzy dopadu kůrovcových kalamit na ekosystémové služby lesních porostů vyplynulo, že jsou tyto důsledky ve všech případech negativní (THOM & SEIDL 2016).

2.2.2 Legislativa

Povinnosti týkající se ochrany lesa obsahuje zejména §32 zákona č. 289/1995 Sb. (lesní zákon). Dle tohoto dokumentu je vlastník lesa povinen provádět opatření určená k prevenci a zabránění působení škodlivých účinků na jeho les. Mezi ně patří především aktivní vyhledávání, evidence výskytu a zjišťování rozsahu škod působených škodlivými činiteli. Také je povinen informovat odpovědný OSSL, pokud zjistí zvýšený výskyt hmyzích škůdců a zároveň zajistit opatření vedoucí k zabránění jejich přemnožení. OSSL může nařídít vlastníkovi lesa provádět pouze nahodilou těžbu v daném rozsahu a stanoveném termínu, rozhodnout o ochranném zásahu k hubení či zamezení vývoje škodlivých organismů nebo prokazatelně označovat a zaznamenávat vytěžené dřevo.

Rozboru zmíněného zákona se věnuje vyhláška MZe č. 101/1996 Sb. v aktuálním znění 76/2018 Sb. Vyplývá z ní, že pokud dojde k nečekaným událostem (např. náhlé přemnožení škůdců nebo vznik kalamity vlivem sněhu či větru), je vlastník lesa povinen neprodleně učinit opatření vedoucí k jejich odstranění a zmírnění dopadů.

Počet odchytových zařízení a určení způsobu kontroly pro ochranu lesních porostů se určuje dle kalamitního základu. Tímto spojením se označuje objem kůrovcového dříví, udávaný v m^3 a zpracovaný v rozmezí 1.8. - 31.3. nadcházejícího roku. Pojmem kůrovcové dříví se označují stromy napadené lýkožroutem, který se zde vyvíjí se až do stádia brouka. Populační stav hmyzích škůdců dělí legislativa na základní, zvýšený a kalamitní.

Při základním početním stavu lýkožrouta smrkového činí celkový objem kůrovcového dříví z předešlého roku v průměru do $0,2 m^3$ na 1 ha v porostech nad 50 let věku se zastoupením smrku minimálně 20 % a zároveň nevznikají ohniska jeho výskytu. Během zvýšeného stavu počtu lýkožrouta je objem kůrovcového dříví v průměru $0,2 - 1 m^3$ na 1 ha. Dochází při něm k vytvoření ohnisek výskytu a tento stav upozorňuje na možné dosažení kalamitního přemnožení lýkožrouta, tedy objem kůrovcového dříví $1 m^3$ až $10 m^3$ na 1 ha, kdy vznikají rozsáhlé hospodářské škody na lesním majetku. Silně kalamitní stav je definovaný objemem tohoto dříví nad $10 m^3$ na 1 ha

Technická norma ČSN 48 1000 obsahuje problematiku prevence výskytu hmyzích škůdců, jejich kontrolu a také obranné postupy. Také definuje pro některé druhy stupně odchytu podle množství zachycených jedinců do feromonových lapačů během celého období rojení. U lýkožrouta smrkového se jedná o slabý stupeň, je-li zachycený počet nižší než 1000 jedinců, střední je daný rozmezím 1000–4000 a počet překračující tuto hranici je pak označován za silný stupeň odchytu.

2.3 Management ochrany lesa

2.3.1 Metody kontroly a obrany

Management kůrovce je zaměřen na dva hlavní cíle: prevenci a omezení výskytu ohnisek (WERMELINGER 2004). Nástroje sloužící k přímé ochraně lesa, zejména ty ke snižování početnosti podkorního hmyzu, jsou již dlouhodobě intenzivně zkoumány a největší pozornost je věnována právě kalamitnímu škůdci lýkožroutu smrkovému (MODLINGER et al. 2015). Oborová norma ČSN 48 1000 a vyhláška č. 76/2018 Sb. obsahují základní obranná a preventivní opatření.

Vyskytuje-li se l. smrkový na daném stanovišti v základním stavu početnosti, jsou ke kontrole využity dle 76/2018 Sb. metody odchyťových zařízení a pokud se jedná o porosty starší než 50 let, kde je smrk zastoupen minimálně 20 %, je zapotřebí zajistit alespoň 1 odchyťové zařízení na 20 ha. Zároveň dochází k vyhledávání stromů kůrovcem dosud neopuštěných, které je důležité včas a účinně asanovat.

Během zvýšeného stavu se pro ochranu smrkových porostů využívají odchyťová zařízení a jejich počet pro jarní rojení se stanovuje podle kalamitního základu, konkrétně se jedná o hodnotu odpovídající 1/10 včas zpracovaného kůrovcového dříví. K tomu se dále přidá 1 odchyťové zařízení na každý další m³ kůrovcového dříví z části nebo úplně kůrovcem opuštěného. Stejně jako při základní stavu je nutné vyhledávat a asanovat napadené stromy.

Při kalamitním stavu se prvotně přistupuje k vyhledávání kůrovcových stromů a jejich včasné a vhodné asanaci, případně pokud jsou odváženy, dochází k tomuto postupu u zpracovatele nebo skládkách mimo porost. Počet odchyťových zařízení se opět řídí dle objemu kalamitního základu a odchyťová zařízení zajišťují především obrannou funkci. Během jarního rojení se využije 8 odchyťových zařízení na jeden m³ včas zpracovaného kůrovcového dříví. Pro 1 m³ zpracovaného kůrovcového dříví, které kůrovec již opustil, se umístí zařízení pro kontrolu v poměru počtu 1 na 1-2 m³ (KULA 2014). Počet kontrolních opatření pro letní rojení závisí na stupni napadení zjištěném během jarního rojení. Pokud byl zjištěn pouze slabý stupeň napadení, přesunou se daná zařízení na jiné potenciálně ohrožené stanoviště nebo už je dále nevyužíváme (MODLINGER et al. 2015). Počet odchyťových zařízení se dle ČSN 48 1000 nemění, dochází-li na stanovišti ke střednímu stupni napadení a pokud je naplněn stav silného stupně napadení kůrovcem, navyšuje se počet kontrolních opatření v zájmu zachování účelu vykonávání kontroly. Jejich počet dle zjištěného stupně napadení se doplní vždy o jedno na každý metr krychlový dříví částečně či zcela kůrovcem opuštěného.

Následný monitoring kontrolních opatření je vykonáván v rozmezí 7–14 dní a je třeba zaznamenat písemnou evidenci zdejšího stupně napadení. Během kontroly zařízení se též uvažuje, zda jsou zasaženy napadením i stojící stromy v okolí. Pro zařízení k odchytu platí, že nesmí být omezena funkce feromonového odparníku buření či jinými vlivy (MODLINGER et al. 2015).

2.3.1.1 Pochůzková metoda

Pochůzkovou metodu prevence je vhodné vykonávat během základního stavu přemnožení lýkožrouta smrkového (ZUMR 1995) a vyhledávat, vyznačovat a evidovat napadené stromy je dle ČSN 48 1000 celoročním úkolem, kdy nejdůležitější období pro kontrolu představuje jarní a letní rojení a také krátce poté (LUBOJACKÝ et al. 2018). Jedním ze symptomů, podle kterého lze zaznamenat, že byl smrk napaden kůrovcem, je viditelné smolení v místě závrtu. Pokud je prolomena obranyschopnost stromu, objevují se na kůře stojících stromů malé kupky složené z drtinek tmavohnědé barvy vznikajících během hlodání závrtu a snubní komůrky. Ty však následně oschnou a opadají (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015; LUBOJACKÝ et al. 2018). Lze je potom nalézt za šupinami kůry, zachycené do pavučin, v místech kořenových náběhů a na zemi v okolí paty stromu (ZUMR 1995), což však značně ztěžuje dešť a kontrola jednotlivých bází stromů na přítomnost drtinek je navíc velice časově náročná (MODLINGER & TRGALA 2019). U stromů napadených na jaře zprvu dosahuje jejich jehličí šedé barvy, následně část opadá a část se zbarví do rezava. Letní nálet může být situovaný od vrcholku po bázi kmene, ale i omezený na úsek kmene v koruně. V prvním případě dochází k rychlému zavadání stromu a jehličí se postupně zbarvuje podobně jako na jaře. Pokud jde pouze o korunovou část, nejsou během podzimu a začátku zimy zřetelné symptomy napadení. Až s koncem zimy asimilační orgány šednou a rychle opadají (ZUMR 1995; MODLINGER et al. 2015). Změna barvy, opad jehličí i kůry většinou následují až po momentu, kdy jsou stromy broukem opouštěny (MODLINGER et al. 2015). Po nástupu doby rojení je potřeba kontrolovat zejména místa, na kterých byl kůrovec zaznamenán během minulého roku, na osluněných stěnách porostu vzniklých těžbou či v okolí loňského použití obranných opatření (LUBOJACKÝ et al. 2018), avšak vlivem suchých let se kůrovec objevuje i na zcela nepredikovatelných místech, kde jsou po nalezení stromy kůrovcem již opuštěné (MODLINGER & TRGALA 2019). Progresivní formou detekce napadených stromů je metoda DPZ pomocí dronů (HLÁSNÝ et al. 2019), která umožňuje zaznamenat napadení dřívě, než u jehličí dojde ke změně barvy

(ABDULLAH et al. 2018). Další metodou, která se v současnosti testuje, je cvičení stopovacích psů, schopných zachytit feromony agregované kůrovcem (HLÁSNY et al. 2019).

2.3.1.2 Těžba a asanace kůrovcového dříví

V současnosti se krátkodobé strategie omezování růstu populace *I. typographus* opírají především o dvě doplňující se metody, a to odstraňovat z lesních porostů materiál vhodný pro vývoj škůdce a také vyhledávat a asanovat napadené dříví (sanitární těžba), které dosud populace neopustily (KUHN et al. 2022; WERMELINGER 2004). Atraktivním materiálem, který je důležité odstranit před kolonizací broukem, jsou převážně větrné polomy (MARKOVIC & STOJANOVIC 2010; KUHN et al. 2022). K rozvoji populační hustoty lýkožrouta zde dochází již v prvním roce, k napadení okolních zdravých stojících stromů dochází až během druhé sezóny (KOMONEN et al. 2011; STADELMANN et al. 2014). Jiné studie ukázaly, že větrné polomy zůstávají vhodné ke kolonizaci déle než tři roky a většina stromů je za tuto dobu napadena (SCHROEDER 2010). Sanitární těžba je považována za neúčinnější postup zamezení rozvoje kalamity (WICHMANN & RAVN 2001; WERMELINGER 2004), kdy kromě celkového snižování početnosti a prevence dalšího nárůstu (HLÁSNY et al. 2019), narušuje i propojenost lokálních populací (SEIDL et al. 2016). Má ovšem i nedostatky, především nutnost pokácet napadené stromy před vznikem další generace, jejíž vývoj trvá obvykle 4-6 týdnů v závislosti na teplotě (WERMELINGER & SEIFERT 1999). Poté toto opatření ztrácí na účinnosti. Jelikož ne všechny napadené stromy vykazují viditelné příznaky, je těžké tento termín dodržet a problémem je také nedostatečný zásah v kalamitní fázi vlivem nedostatku lidských zdrojů, schopných vypořádat se s daným rozsahem těžby. Vyhledávání napadených jedinců je navíc časově náročné a na místech s těžko přístupným terénem je možnost těžby výrazně omezena (KUHN et al. 2022). Jakmile je pokácen napadený strom, kde se dosud nevyvinula nová generace lýkožrouta, je důležité dle WERMELINGERA (2004) zajistit zahubení vylíhlých brouků před transportem na odvozní místo nebo dříví rovnou odstranit z porostu a pokud se zde již nachází dospělci, eliminovat je štěpkováním nebo spálením kůry. Tyto postupy však mohou být také náročné na provedení, a tak se na některých místech přistupuje k dostupnějším alternativám odkorňování pomocí tzv. proškrabávání kůry (HLÁSNY et al. 2019). To vykazuje oproti 93-96 % účinnosti u běžného odkorňování nadějných 89 %, co se mortality škůdce týče (THOM et al. 2016; WERMELINGER 2004). Jinou možností asanace kůrovcového dříví je také chemické ošetření povrchu stromů pomocí insekticidů (MODLINGER et al. 2015).

Jednoznačná doporučení pro hospodaření například vyplynula ze studie KAUTZE et al. (2011), kteří zjistili, že 65 % následných napadení se vyskytuje ve vzdálenosti do 100 m od předchozích výskytů a doporučili tak sanitární kácení v tomto rozmezí. Oproti tomu WICHMANN & RAVN (2001) zaznamenali dokonce 90 % nových napadení ve 100 m okruhu kolem předešlých výskytů. Podle WERMELINGERA (2004) je aktivní letová vzdálenost lýkožrouta smrkového více než 500 metrů a vzdálenost 100 m od čerstvých ohnisek výskytu riziková, stejně tak 500 metrů v okolí polomů (WICHMANN & RAVN 2001). Z analýzy, kterou provedli STADELMANN et al. (2013) vyplývá, že sanitární těžba vede ke snížení rizika nově napadených ploch, jak ukázala intenzita asanace, nicméně k tomuto stavu dochází v následujícím roce za předpokladu, že byly napadené stromy pokáceny dříve, než je opustili vylíhlí brouci. Dle HRAŠOVCE et al. (2013) účinnost sanitární těžby jako součásti integrovaného managementu kůrovce silně závisí na podílu brouků přezimujících v lesním lýku. Jelikož většina imag lýkožrouta smrkového v nížinách a přibližně polovina ve vyšších polohách zimují pod kůrou stromů (HRAŠOVEC et al. 2013; KOMONEN et al. 2011), očekává se, že kácení napadených stromů je účinnější provádět v zimě než v létě (STADELMANN et al. 2013). Avšak zimní podmínky mohou těžbu zkomplikovat, proto se provádí až na jaře nebo v letním období. To ale představuje riziko úniku části populace a potlačení mnoha antagonistů (WERMELINGER et al. 2012). VALERIA et al. (2016) na druhou stranu pomocí DNA testů zjistili, že těžební zásahy zřejmě vytvářejí tlak na lýkožrouta pro hledání vhodnějšího prostředí, což vede k šíření na delší vzdálenosti a tento závěr může ovlivnit diskusi o existenci bezzásahových zón. Kvantifikovat vliv sanitárních těžeb na populační početnost lýkožrouta smrkového lze provést například sběrem dat ve dvou srovnatelných lesních jednotkách zasažených současně ohniskem a v dostatečné vzájemné vzdálenosti, aby se u *Ips typographus* vyloučily vlivy plynoucí ze schopnosti jeho rozptylu (STADELMANN et al. 2014), což však není v praxi v evropských podmínkách proveditelné (MIŚCICKI & GRODZKI 2021). MIŚCICKI & GRODZKI (2021) ve své studii měřili, zda má asanační těžba vliv na mortalitu smrků způsobenou žírem *Ips typographus* v hospodářském lese oproti vývoji v bezzásahové zóně a zjistili, že tato aktivní opatření mají pozitivní vliv, což odporuje názoru publikovaném ve zprávě IUCN (2018), podle kterého není možné prokázat, že by sanitární seče, pokud jde o Bělověžský prales, měly významný vliv na redukci ohniskových vln. Na rozdíl od experimentu založeném na simulaci a práci s modely (STADELMANN et al. 2013), jejich studie zahrnuje data z rozsáhlého empirického výzkumu (MIŚCICKI & GRODZKI 2021). Nevýhodou tohoto opatření je značný zásah do biodiverzity (THOM et al. 2017) a při častém užívání této metody může docházet k rozvolňování zápoje lesního porostu při vzniku exponovaných porostních stěn, což může být spíše kontraproduktivní

(HULCR 2004). Navíc GRODZKI (1997) zmínil vznik příhodných podmínek pro jiné škodlivé organismy, např. *Pityogenes chalcographus*. Účinnost této metody také snižuje migrace kůrovce ze sousedních porostů, které nebyly ošetřeny (MEZEI et al. 2017). Primárně je v rámci zmíněné nejefektivnější metody nakládáno s kůrovcovým dřívím během zimy nejpozději do 31. března na stanovištích s nadmořskou výškou do 800 m. n. m., ve vyšších polohách do konce dubna a pokud je nějakým způsobem omezena možnost odstranění pro kůrovce atraktivního dříví, jeho využití lze modifikovat na lapáky či otrávené lapáky (MODLINGER et al. 2015).

2.3.1.3 Feromonové lapače

Feromonový lapač je past z umělé hmoty založená na principu působení syntetických sekundárních atraktantů. Tyto látky lákají obě pohlaví a jsou do těchto pastí umístěny formou návnady, respektive feromonového odparníku (ZUMR 1995; MODLINGER et al. 2015). V současnosti se využívají různé syntetické směsi, mezi které patří například Pheroprax, Pheagr IT, Chalcoprax A nebo Pheagr IDU, (ZAHRADNÍKOVÁ & ZAHRADNÍK 2019). Jedná se o běžnou metodu kontroly a aktivní obrany určenou na daný typ podkorního hmyzu, přičemž v Evropě cílový druh zastupuje převážně lýkožrout smrkový (GALCO et al. 2013). GALCO et al. (2014) označili feromonové lapače za nejrozšířenější metodu monitoringu podkorního hmyzu. Princip spočívá v nalákání imag lýkožrouta. Ta následně do lapače naráží a padají do sběrné nádoby nebo se sem dostanou během po absolvování cesty skrze komplex otvorů po přistání na povrch lapače. Jde tedy o nárazníkový a přistávací typ (ZUMR 1995). V Česku se v praxi objevují dvě základní formy modifikace nárazníkového typu, a to nárazové šterbinové a nárazové křížové (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2016), kdy nejpoužívanějším je Theysohn patřící do první skupiny (MODLINGER et al. 2015). Při kontrole se umísťují jednotlivě na volné plochy k okrajům lesů nebo do porostních mezer, ale také do míst, kde se předpovídá výskyt lýkožrouta a jejich vzájemná vzdálenost by neměla klesnout pod 200 metrů. Aplikují se v časovém rámci 14 dní před předpokládaným nástupem rojení (ZUMR 1995) a odparníky se do nich vyvěšují těsně před ním. Jejich obměna probíhá dle informací poskytnutých výrobcem (MODLINGER et al. 2015). V situaci, kdy jsou určeny k přímé obraně, se jejich vzdálenost doporučuje na 20 m, tu je účelné během rozsáhlého přemnožení během kalamitního stavu snižovat (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2007). U obou případů cíle využití je však důležité dodržovat i další zásady. Mezi ně patří například zachovávat minimální vzdálenost 10 m k nejbližšímu zdravému smrku, jehož výčetní tloušťka by měla dosahovat 20 cm a více, jinak by totiž byly významně ohroženy další stromy v porostu (MODLINGER et al. 2015) a zároveň by tato vzdálenost neměla přesáhnout 25 m

(ZUMR 1995). Ke kontrole lapačů dochází pravidelně každých 7–10 dní a v případě vyšších odchytů se doporučuje toto rozmezí zkrátit. Zároveň se provádí kontrola okolních stromů, zda nejsou lýkožroutem napadeny. Součástí monitoringu je i pečlivá evidence zahrnující údaje o umístění lapače, datum aplikace návnady a kontroly společně se záznamem počtu odchytu (KULA 2014). Krom jednotlivé aplikace lze použít také takzvané hvězdicovité uspořádání, sestávající se z trojice lapačů a při plošném rozšíření kůrovce i bariéry jedné či více linií podél porostních stěn (MODLINGER et al. 2015).

Analýzy účinnosti feromonových lapačů mohou probíhat formou zpětného odchytu označených dospělců (GALKO et al. 2016; WESLIEN & LINDELÖW 1990). Výzkumy běžných feromonových návnad ve výsledku vykazují jejich nízkou efektivitu (HULCR 2004; HELLAND et al. 1984). To potvrdil například WERMELINGER (2004) zjištěním, že lze odchytit 3–10 % celkové populace lýkožrouta smrkového za vynaložení poměrně vysokých nákladů. I v případě nadstandartního zvýšení počtu lapačů je možné zachytit pouze 35 % jedinců (DUELLI et al. 1997). HELLAND et al. (1984) zaznamenal odchyt od 7,3 % do 10 % v okruhu 500 m kolem lapačů, zatímco ANDEBRANT (1985) v okolí 30 m pouze 0,2 %. Výsledky účinnosti jsou rozporuplné a nelze tedy určit přesnou hodnotu (GALKO et al. 2016). Míra odchytu je ovlivňována migračním letem, při kterém se lýkožrout dostává mimo dosah pastí v blízké vzdálenosti a uskutečňuje ho 25–50 % populace (DUELLI et al. 1997). Vliv mají také podmínky stanoviště a nasměrování, kdy jižně exponované pasti odchytí až čtyřikrát větší počet brouků než ty instalované severně (LOBINGER & SKATULLA 1996). WESLIEN (1992a) zachytil lokálně během tří let až 30 % populace a napadení nových stromů kleslo přibližně o 80 %. Podobné procentuální snížení infestace okolních stromů v rádiu 300 m okolo odchytových zařízení zaznamenali i FACCOLI & STERGULC (2008), kteří však krom feromonových lapačů používali i jiná zařízení k odchytu, ale jejich efektivita se ve výsledku vzájemně příliš nelišila. Dle výsledků experimentu z let 2010–2019 na území Tatranského národního parku koreloval odchyt do feromonových lapačů s rozlohou odumřelých stromů v okruhu 500 metrů, korelace však nebyla statisticky významná a nebyl zjištěn žádný vztah mezi odchty a objemem zpracovaného kůrovcového dříví (GRODZKI 2021). Stejně tak KUHN et al. (2022) během své studie nenašli spolehlivý důkaz, který by dokládal vliv feromonových pastí umístěných během jara při rozsáhlé kalamitě na snížení hospodářských škod v místním měřítku v kombinaci se sanitárním kácením. Výhodou feromonových lapačů je poskytování informací ohledně populační dynamiky kůrovce (WESLIEN 1992; GRODZKI 2021). Problémem je aspekt, že nejvyšší podíl z odchytu l. smrkového činí geneticky atypičtí jedinci s nízkým potenciálem reprodukce (BERNHARD & GRUPPE 2000). Podle WATTA et al. (1997) je dokázáno, že není

výjimkou ekologické přizpůsobení některých druhů například změnou hostitele nebo čichové orientace. Existuje tedy riziko, že postupem času dojde k adaptaci a resilienci lýkožrouta smrkového vůči těmto umělým signálům (HULCR 2004). Podle KUHNA et al. (2022) může být dokonce použití feromonových lapačů nebezpečné vzhledem ke vzniku nových míst napadení, jelikož kůrovce sice přilákají, ale nepodaří se jim ho zneškodnit. Vliv feromonových lapačů na hustotu populace koresponduje s mírou reprodukce. V počáteční fázi gradace může průměrná míra reprodukce dosáhnout 2, za těchto okolností může být růst populace významně snížen odchyt. Při hodnotě 0,5 má odchyt na vývoj populace poměrně malý vliv (WESLIEN 1992).

2.3.1.4 Lapáky

Lapáky pro kontrolu lýkožrouta jsou známou, hojně využívanou (ZUMR 1995; KULA 2014) a zároveň nejstarší metodou (PFEIL 1827), která je označovaná jako klasická (ZUMR 1995). HOLUŠA et al. (2017) popsali lapáky jako tradiční kontrolní metodu užívanou ve střední Evropě. Lze je též využít jako přímou variantu přímé obrany. Lapákem se označuje skácený, strom, podléhající evidenci, který bývá většinou zbaven větví a je jimi zakrytý (KULA 2014), což zamezuje nadměrnému vysychání (ZUMR 1995; HOLUŠA et al. 2017). Mezi doporučení patří jej podložit, aby se zvětšila plocha k potenciálnímu napadení (ZUMR 1995), což je ovšem v praxi těžko proveditelné (MODLINGER et al. 2015) Podle ČSN 48 1000 může být lapákem i vývrat splňující určité parametry či polomy, které mohou plnit funkci lapáků v těžko přístupných terénech (MODLINGER et al. 2015). Podle KULY (2014) je lapák vhodný, pokud má výčetní tloušťku alespoň 20 cm, ale ideálně 30 cm a více (ZUMR 1995; KULA 2014). Vhodná doba skácení stromu pro dosažení maximální účinnosti není příliš prozkoumána a autoři v minulém století došli k různým závěrům lišícím se až o dva týdny (HOLUŠA et al. 2017). ZUMR (1995) doporučil kácení lapáků od poloviny února a v průběhu března v pahorkatinách a v horských oblastech do konce dubna. Z výzkumů HOLUŠI et al. (2017) vyplývá, že účinnost lapáků pokácených na podzim pozitivně souvisí s dobou, po kterou byly během zimy pokryty sněhem. Lapáky se kácí ve smrkových porostech starších 60 let s rozlohou větší než 5 hektarů, kde je smrk zastoupen alespoň 20 % v dřevinné skladbě a na místech zpracování kůrovcových stromů (KULA 2014). Aplikace lapáků probíhá v sériích. Ty z I. série se umísťují na okraje porostů, dvě třetiny na osluněné stanoviště a zbylé do stínu (ZUMR 1995). Počet lapáků se odvozuje z kalamitního základu. Lapáky z II. série se kladou do polostínu a dle potřeby i do porostu 1–2 týdny před začátkem dalšího rojení (MODLINGER et al. 2015). Eviduje se číslo lapáku, označení porostu, data přípravy, asanace a kontrol společně s výsledky (KULA 2014).

Kontrola se provádí každých 7–10 dní. Zjišťuje se počet závrtů na 1 dm². 0,5 závrtů a méně nás informuje o slabém stupni napadení, ke střednímu dochází po odhalení 0,5 – 1 závrtu a k silnému při 1 a více závrtů na dm² (MARTINEK 1956). Při silném stupni napadení aplikujeme další lapák či skombinujeme s feromonových lapačem. U lapáků se neřeší vzdálenost od zdravých stromů, jelikož ty rostoucí v okolí nebývají napadány (MODLINGER et al. 2015). Je možné zvýšit atraktivitu lapáků přidáním feromonové návnady a zvýšit tak jejich efektivitu. Tento postup lze uplatnit v lesích s hojným výskytem stresovaných stromů, které brouky přitahují (HOLUŠA et al. 2017). Nevýhodou klasické metody je cenová a časová náročnost (BAKKE 1989) a také fakt, že někdy dochází k neúplnému obsazení celé plochy lýkožroutem smrkovým. Kapacita pro úživnost je omezená a mínusem je i nutnost pravidelných kontrol (ABGRALL & SCHVESTER 1987).

2.3.1.5 Otrávené lapáky

Modifikací lapákové metody je otrávený lapák. Může jím být opět skácený a odvětvový smrk či pouze jeho segment s ideální délkou 4 metry (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015), který se těsně před nástupem rojení krom vyvěšení feromonového odparníku ošetří po celé ploše insekticidem, který musí být schválen (MODLINGER et al. 2015). Ve většině případů však za otrávený lapák označujeme polena délky 1 – 1,5 metrů ve formě trojnožek (ZAHRADNÍK & GERÁKOVÁ 2010), jejichž tloušťka je minimálně 15 cm (KULA 2014), LUBOJACKÝ & HOLUŠA (2011) uvádí minimum 12 cm, kde se feromonový odparník vyvěšuje pod vrchol. Jeho aplikace je zapotřebí kvůli ošetření lapáku insekticidem, protože ten zamezuje tvorbě požerku, a tedy i syntéze přírodního sekundárního feromonu. K využití této metody se přistupuje při zvýšeném a kalamitním stavu přemnožení lýkožrouta smrkového převážně na těžko přístupných stanovištích, kde terén omezuje možnost pravidelných kontrol. Ty nemusí být prováděny v rozsahu jako v případě obyčejných lapáků či feromonových lapačů (MODLINGER et al. 2015). Výhodou je také jejich vysoká účinnost (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015). Při stanovení počtu otrávených lapáků určených k přímé obraně se vychází ze stejných hledisek jako v případě feromonových lapačů. Vzdálenost feromonového odparníku by zde neměla být menší než 6 metrů od nejbližšího zdravého stojícího smrku (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2007), MODLINGER et al. (2015) oproti tomu doporučují vzdálenost otráveného lapáku od tohoto stromu alespoň 10 metrů. Péče o opatření zahrnuje celosezónní obnovu instekticidního nátěru a pravidelnou výměnu odparníku. Při využívání chemických směsí je zapotřebí řídit se pokyny výrobce. Také je důležité odstraňovat nežádoucí buřeň (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015) a zároveň kontrolovat

potenciální tvorbu požerků škůdcem (MODLINGER et al. 2015). Kvůli zjednodušení monitoringu stavu se pod otrávené lapáky umisťují plachty, je však otázkou směřovatnost těchto opatření, protože jsou ovlivňovány větrem a deštěm (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2016). Z hlediska ekologie je metoda otrávených lapáků z důvodu využití chemických látek nepříliš vhodná kvůli ekologické zátěži a mortalitě necílových druhů, i tak ale dochází k jejímu postupnému rozšiřování (JAKUŠ & BLAŽENEC 2015).

2.3.1.6 Srovnání ochranných metod

V ČSN 48 1000 je uvedeno, že zmíněná kontrolní a obranná opatření jsou při důsledném dodržování postupů podobně efektivní a lze je vzájemně nahrazovat. Otrávené lapáky oproti obyčejným zvýhodňuje přítomnost feromonového odparníku. Výhodu oproti lapačům představuje dříve zmíněná četnost kontrol, které jsou navíc prováděny snadno okulárně. Lapače vykazují o 30 % vyšší efektivitu ve srovnání s trojnožkami a zastoupení odchycených samic je v nich významnější než u trojnožek (WERMELINGER 2004; KULA 2014). Podle LUBOJACKÉHO & HOLUŠI (2011) feromonové lapače odchyty asi sedmkrát méně užitečného druhu *Thanasimus formicarius* než trojnožky. Stromové lapáky odchyty 1,7–3,5krát více lýkožroutů než feromonové lapače (RATY et al. 1995), ale jsou významně účinnější jen během jarního rojení a později se tato výhoda vyrovnává. Jejich plusem je také odchyt lýkožrouta menšího, pro kterého neexistuje komerčně využívaná feromonová návnada (KULA 2014). Dle WESLIENA (1992) lze za pomoci lapačů a lapáků předpovědět pouze nízké riziko napadení v lokálně na jeden rok dopředu. Tyto metody společně s pěstováním lesa a využitím bezzásahových zón, které se týkají přemnožení škůdce, jsou zahrnuty v integrovaných plánech. Ty nejsou dostatečným způsobem rozvedeny, což působí jako negativní zpráva do budoucna, jelikož se změnou klimatu bude dosavadní účinnost managementových opatření klesat, a navíc není i přes jejich široké využití v praxi dostatečně objasněna jejich současná efektivita (HLÁSNÝ et al. 2019).

2.4 Populační dynamika

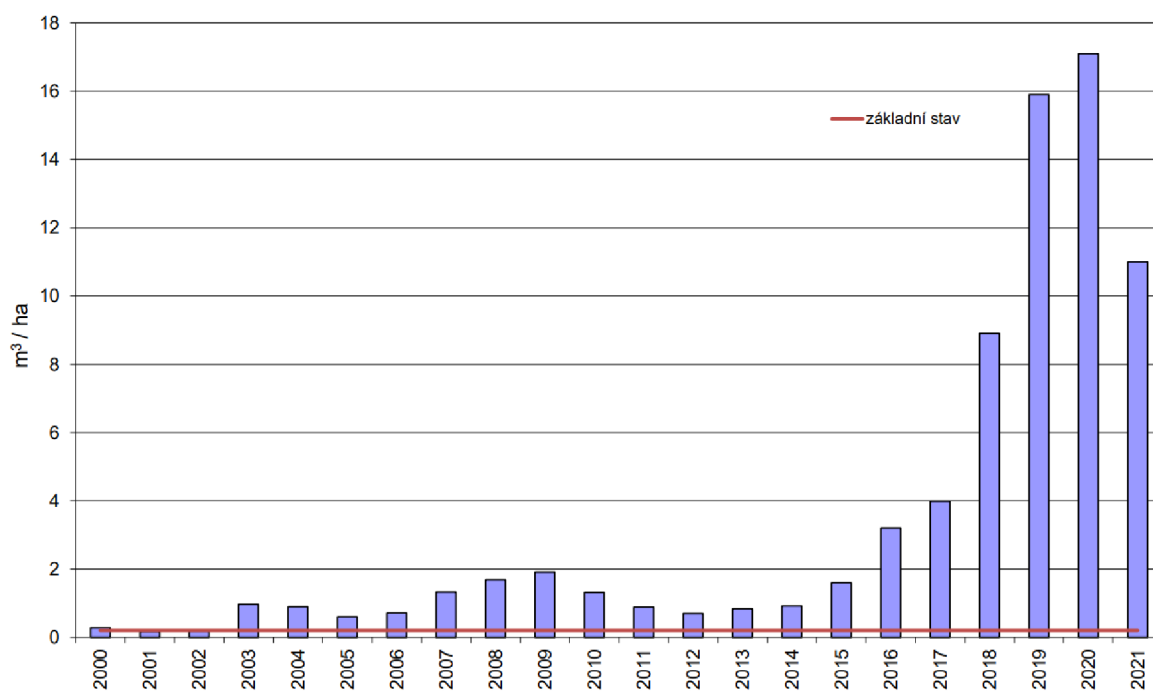
2.4.1 Populační hustota

Při populační dynamice lýkožrouta smrkového je podobně jako u jiných lesních škůdců typické střídání relativně nízkých početnostních stavů s těmi vyššími, během nichž dochází k hospodářským škodám (KINDLMANN et al. 2012). Hustota populací se u lýkožrouta mění buď v daném ročním časovém úseku nebo během celého roku. Takovéto změny se nazývají oscilace. Pokud dochází ke změnám početnosti v průběhu více let, jedná se o fluktuaci (ZUMR 1995). Vlastní průběh kalamitního přemnožení závisí na celé řadě faktorů, zejména na teplotě, srážkách, zdravotním stavu smrkových porostů nebo přirozených nepřítelích kůrovců (HLÁSNY et al. 2019; SKUHRAVÝ 2002), svou roli hrají také činitelé spojené s životními projevy kůrovců (ZUMR 1995) a vnitrodruhová konkurence, jelikož byl dokázán pokles larev s rostoucím počtem matečných chodeb (SCHOPF & KÖHLER 1995). Množství kůrovce v rámci okolních porostů má také zásadní vliv na populační dynamiku škůdce (ERIKSSON et al. 2007). Všeobecně je dle četných studií přijímána představa, že rozšíření lýkožrouta smrkového závisí zejména na rozsahu větrných polomových ploch a vzdálenosti od lokalit, kde byl předtím zaznamenán jeho výskyt (LAUSCH et al. 2011). Expozice je také významným faktorem (JURC et al. 2006), dále vertikální a horizontální struktura porostů a podíl smrku v druhové skladbě (HILCZANSKI et al. 2006). Vývoj kůrovcových ohnisek v prostoru je ale těžké předvídat, neboť poznatky ohledně této problematiky jsou stále sporné (WERMELINGER 2004). K přemnožení bude zřejmě docházet ve vlnách, a nikoliv postupem času (HLÁSNY et al. 2019). Kalamita trvá obvykle 5–7 let (SKUHRAVÝ 2002). Při její gradaci dochází ke konkurenci v rámci druhu o prostor potřebný pro život, čímž je početnost přirozeně regulována (JAROŠÍK 2005). Změna klimatu přispívá k populační dynamice lýkožrouta smrkového nejen zajištěním příhodných podmínek pro život a oslabením hostitele, ale také napomáhá jeho šíření do vyšších poloh a oblastí, kde není původním druhem. Riziko také představuje usnadnění invaze nepůvodních druhů kůrovce. Z dlouhodobého hlediska však tak či tak dojde k regulaci kalamitního přemnožení lýkožrouta smrkového i bez lidského přičinění vlivem vyčerpání zásob přirozených hostitelských stromů a ve střední Evropě dojde v oblastech ovlivněných klimatickou změnou k zalesnění ploch holin zřejmě zejména listnatými dřevinami (HLÁSNY et al. 2019).

2.4.2 Gradace a dopady

Za posledních 40 let v Evropě významně narostlo množství objemu vytěženého kůrovcového dříví, a to konkrétně o 700 %, kdy mezi lety 1971–1980 dosahovala nahodilá těžba 2,1 milionu m³ oproti 14,5 milionů ročně v období od 2002 do 2010 (SEIDL et al. 2014). K tomu přispěla změna struktury porostů a jejich dřevinné skladby. V ČR působí biotické škody jakožto hmyzí škůdce převážně lýkožrout smrkový. Poměrově dosahovaly obvykle těžby tohoto typu třikrát až pětkrát menšího objemového množství, než nahodilé těžby spojené s působením biotických faktorů jako je vítr či námraza. Jenže situace se v těchto ohledech od roku 2015 postupně vyrovnávala a v současné době je objem kůrovcových těžeb 1,5krát větší než těch abiotických, a to i přes poměrně silný orkán Herwart během října roku 2017 (MODLINGER & TRGALA 2019). Vývoj objemu vytěženého kůrovcového dříví m³/ha na našem území je patrný na obrázku č. 2. Náchylnost k napadení kůrovcem podpořilo zejména vysazování smrku mimo přirozený areál, zvýšení objemu zásob a pozměnění věkové struktury. V budoucnu je třeba očekávat výraznější trend klimatické změny a s tím i nárůst objemu kůrovcových škod, jejichž rozsah v Evropě je předpokládán v letech 2021 až 2030 ročně na 17,9 milionů m³ (HLÁSNY et al. 2019). To znamená šestinásobné navýšení objemu kůrovcového dříví oproti 1971–2010 (SEIDL et al. 2014). Růst teplot dle simulace bude celkové škody způsobené kůrovcem dále navyšovat, čímž budou ohroženy také smrkové porosty přirozených stanovišť v Alpách (HLÁSNY et al. 2019), avšak dle jsou SOMMERGELDA et al. (2018) jsou vůči kalamitám obecně náchylnější oblasti s aridnějším a teplejším klimatem. Kůrovcová kalamita v ČR dosáhla v roce 2018 rozsáhlých rozměrů a poměr kůrovcových těžeb vůči těm abiotickým byl zřejmě mnohonásobně vyšší. Během roku 2016 bylo vytěženo v té době rekordních 4,2 mil. m³ kůrovcového dříví, zatímco v roce 2017 již 5,4 mil. m³, tyto údaje se však odlišují z důvodu různého vyložení legislativních postupů (MODLINGER & TRGALA 2019). Ročně bylo na našem území mezi roky 2003-2016 poškozeno kůrovcem 0,2 – 1,4 % porostů smrku ztepilého, během let 2017-2019 toto poškození narostlo na 3,1 – 5,4 %, což způsobilo významné škody v některých regionech (HLÁSNY et al. 2021). Nejvíce zasažené jsou východní oblasti, a to zejména Slezsko, severní a jižní Morava a Vysočina, dle dostupných zdrojů však kalamitní stav přemnožení probíhá ve všech katastrálních územích ČR (MODLINGER & TRGALA 2019). Těžba kůrovcového dříví u nás nejrapidněji vzrostla v roce 2018 na 13 mil. m³ a v roce 2019 vykazoval objem asanovaného kůrovcového dříví rekordních téměř 23 mil. m³ (HLÁSNY et al. 2021). Problémem je krom rostoucích teplot i nerovnoměrné rozložení srážek během roku, kdy vlivem sníženého množství sněhové pokrývky během zimy dochází k nedostatečnému

zavlažení po příchodu jara. Tento deficit vyrovnávají přívalové deště, které kvůli nedostatečnému vsaku povrchově odtékají a mizí pryč z ekosystému (MODLINGER & TRGALA 2019). Mimořádně negativní důsledky související s probíhající kůrovcovou kalamitou stály státní kasu přibližně 260 milionů eur. Před rokem 2018 činil podíl kůrovcového dříví v nahodilé těžbě 10–48 %, jenže mezi lety 2018–2019 vzrostl až na 56–73 %. V tomto období také zaujímala těžba kůrovcového dříví drtivou většinu z celkové těžby, což vedlo k výraznému omezení plánovaných těžeb (HLÁSNY et al. 2021). Četnost klimatických extrémů a nevhodná struktura lesů zřejmě vytlačila smrkové lesy ve střední Evropě na okraj jejich ekologického prostoru a je třeba zahájit proces velkoplošných změn v lesním hospodářství, avšak dle nedávných výzkumů jsou ohroženy i smrkové porosty přirozených stanovišť (HLÁSNY et al. 2019).



Obr. č. 2: Vývoj objemu vytěženého kůrovcového dříví v ČR (KNÍŽEK & LIŠKA 2022)

3 Metodika

3.1 Školní lesní podnik Kostelec nad Černými lesy

ŠLP Kostelec nad Černými lesy se nachází 25–50 km jihovýchodně od Prahy a je účelovým zařízením ČZU v Praze (LACHMANOVÁ 2007; PODRÁZSKÝ et al. 2006). K založení podniku došlo v roce 1935 na pozemcích Liechtensteinského panství a po přiřazení dalších parcel v následujících letech činí současná výměra lesní půdy přibližně 7000 ha (REMEŠ 2006), z toho 5897,36 zahrnují PUPFL. Jedná se zejména o lesy zvláštního určení (DVOŘÁK & BROŽÍK 2010) a dle §8 odst. 2d) zákona 289/1995 Sb. jde o lesy sloužící lesnickému výzkumu a lesnické výuce. Provoz ŠLP se kromě hlavní účelové činnosti zahrnující praxi pro studenty, vědecký výzkum či aktivit určených odborné veřejnosti, soustředí i na vedlejší hospodářskou funkci. Ta spočívá zejména v dřevařské a lesní výrobě, těžební činnost se zde poté soustředí hlavně na obnovní a výchovnou těžbu (LACHMANOVÁ 2007). Probíhá zde snaha o zajištění trvale udržitelného hospodaření v lesích a co nejvíce využívat přírodních procesů zejména při obnově lesních porostů (REMEŠ 2006).

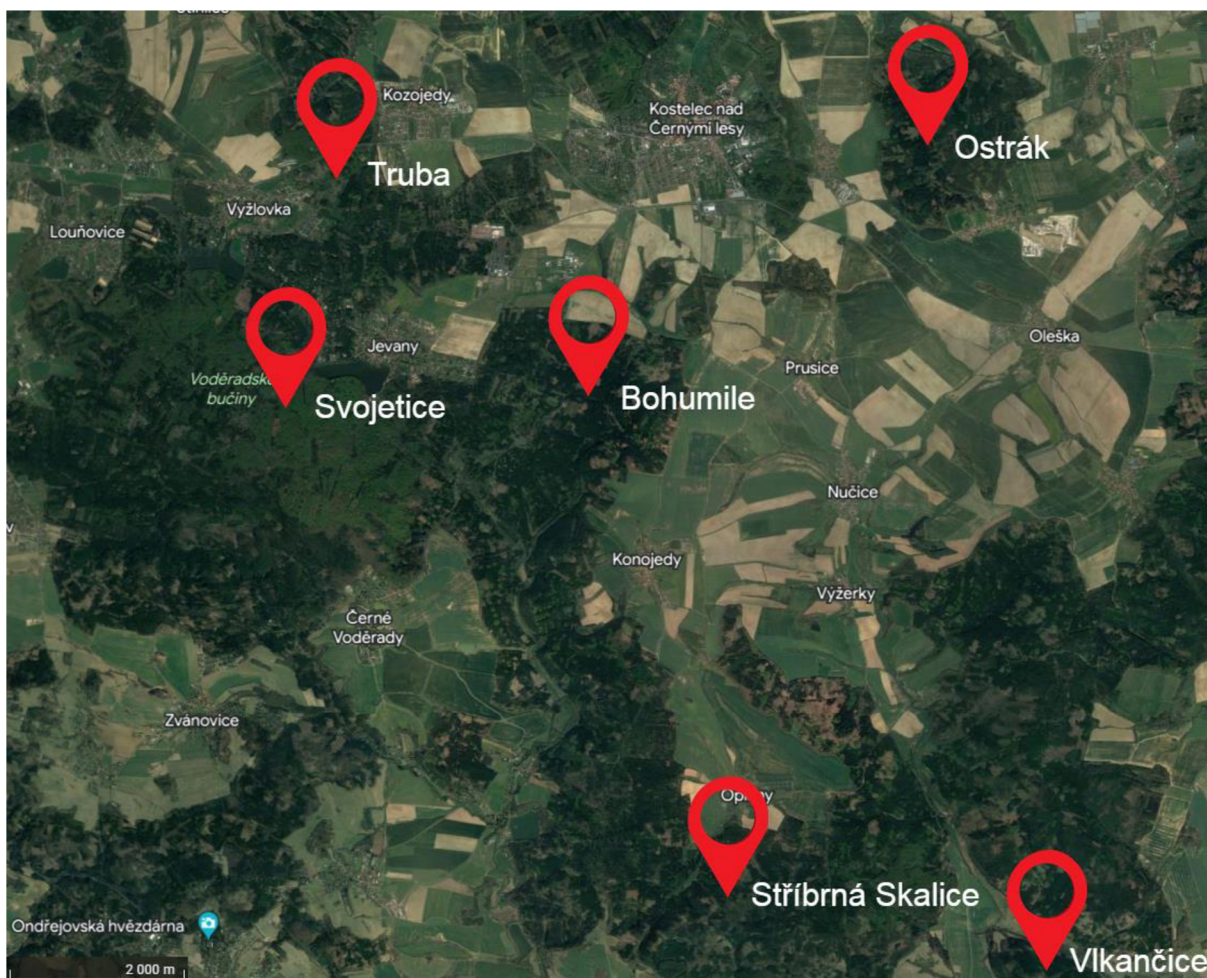
Celkově 99 % území ŠLP je z hlediska geomorfologického systémového rozdělení řazeno do oblasti Středočeské pahorkatiny, zbylé 1 % tvoří na severu podsoustava Polabí (REMEŠ 2006). Jde o mírně teplou semihumidní oblast, kde průměrné roční teploty dosahují 7,5 – 8,5 °C (TESAŘ 2006), dle DVOŘÁKA & BROŽÍKA (2010) 7,0 – 7,5 °C. Roční distribuce srážek činí 650 mm, z toho 65 % během vegetačního období, které zde trvá 150–160 dní (PODRÁZSKÝ et al. 2005; TESAŘ 2006) a průměrné teploty se v tomto intervalu pohybují mezi 13 – 13,8 °C (DVOŘÁK & BROŽÍK 2010). Nadmořská výška je zde v rozmezí 210–528 m. n. m. (REMEŠ 2006).

Místní dřevinná skladba se výrazně odlišuje od přirozené, dominuje smrk s podílem 49,8 % (TESAŘ 2006), 55,73 % uvádí (DVOŘÁK & BROŽÍK 2010) a věková struktura je nevyrovnaná. Zastoupeny jsou lesní vegetační stupně 1, 2, 3 a 4, z nichž největší část území zaujímá LVS 3 – dubobukový (86,9 %). LVS 4 – bukový utváří 6,9 % celku, následuje LVS 2 – bukodubový s 6,1 % a LVS 1 – dubový (DVOŘÁK & BROŽÍK 2010). Místní hospodářské soubory jsou HS 43, 47, 45 a 23 (TESAŘ 2006; DVOŘÁK & BROŽÍK 2010)

3.1.1 Odchyty do feromonových lapačů

Pro analýzu provedené studie byly využity odchyty do feromonových lapačů typu Theysohn mezi lety 2019–2022. Lapače byly rovnoměrně rozmístěny na 8 lokalitách ŠLP

Kostelec n. Č. l., kdy na každý lesní úsek (Svojetice, Truba, Ostrák, Bohumile, Stříbrná Skalice, Kachní louže, Penčice a Vlkančice) připadala jedna z těchto lokalit. Nakonec však byly použity údaje pouze ze šesti z nich (Svojetice, Truba, Ostrák, Bohumile, Skalice a Vlkančice). Jejich rozmístění je zobrazeno na obrázku č. 3.



Obr. č. 3: Mapa jednotlivých lokalit s feromonovými lapači (D. Tyšer)

Na každou z těchto lokalit byly umístěny tři feromonové lapače. Jeden určený k odchytu lýkožrouta smrkového doplněný o feromonový odparník typu Pheagr IT, druhý speciálně na lýkožrouta severského s návnadou Pheagr IDU a třetí byl určen pro odchyt jedinců druhu lýkožrouta lesklého a byl tedy navnaděný Chalcopraxem. Pro účely této práce byla využita data týkající se odchytů lýkožrouta smrkového během let 2019-2022. Odparníky byly vyvěšeny přibližně na začátku dubna a vyměněny dle pokynů výrobce Pheagr IT. Ke kontrole a sběru odchycených brouků docházelo v pravidelném intervalu 7–10 dní.

3.1.2 Laboratorní rozbor

Odebrání lýkožrouti z jednotlivých odchytů byli následně hubeni a umístěni do plastových laboratorních nádob s obsahem 95 % ethanolu kvůli snadnějšímu uchování a konzervaci. Ty byly ještě v porostu z důvodu přehlednosti popsány označením dané lokality, jménem odebírající osoby, datem sběru a druhem, pro který byl feromonový lapač určen. Poté byl obsah každé z těchto nádob jednotlivě vysušen a přítomní brouci determinováni a rozděleni na základě morfologických znaků dle PFEFFERA (1955). Necílové druhy byly vyřazeny. Detailnější pohled zajišťovala binokulární lupa Olympus typu 110AL1.5X WD61. Po separaci byli jednotlivé odchyty sumarizovány pomocí odměrných válců, kdy 1 ml = 35 lýkožroutů smrkových, 42 lýkožroutů severských a 550 lýkožroutů lesklých (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2016) a zaznamenány do elektronické podoby, aby se usnadnily následné procesy vyhodnocování.

3.1.3 Tvorba modelů PHENIPS

Vstupními daty pro fenologický model PHENIPS dle BAIERA et al. (2007) byla průměrná a maximální teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$] a denní suma solárního záření [$\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$]. Tyto byly získávány ze dvou nejbližších meteorologických stanic ČHMÚ Mrzky a Ondřejov v nadmořských výškách 260 a 491 m n. m. (ČHMÚ 2023). Pomocí tohoto programu lze predikovat počátek rojení, resp. období v kterém lýkožrout smrkový začíná atakovat stromy, predikovat dokončení vývoje jednotlivých generací lýkožrouta smrkového. Dále je zde potřeba definovat parametry modelu: Start day – pořadové číslo dne od něhož bude prováděn výpočet model (např. dle BAIERA et al. (2007) 1. duben), Parametr K – limitní suma efektivních teplot pro dokončení požadované fáze vývoje, v našem případě 1. generace, podle BAIERA et al. (2007) 557 dd nad $8,3^{\circ}\text{C}$, Day length – limitní délka dne po jejímž dosažení nastávají fyziologické procesy vedoucí k diapauze lýkožrouta smrkového, parametr dle BAIER et al. (2007) nebo DOLEŽAL & SEHNAL (2007).

3.1.4 Statistické metody

K zjištění vzájemných vztahů mezi proměnnými byl použit Pearsonův korelační koeficient. K statistickému vyhodnocení vlivu kůrovcových těžeb na sumu odchytu do feromonových lapačů byl použit generalizovaný lineární model se smíšenými efekty (GLMM),

jako grupovací skupina byla zadán lesnický úsek. K výpočtu byl použit balíček nlme (PINHEIRO & BATES, 2022) v programu R verze 4.1.3. (R CORE TEAM 2022)

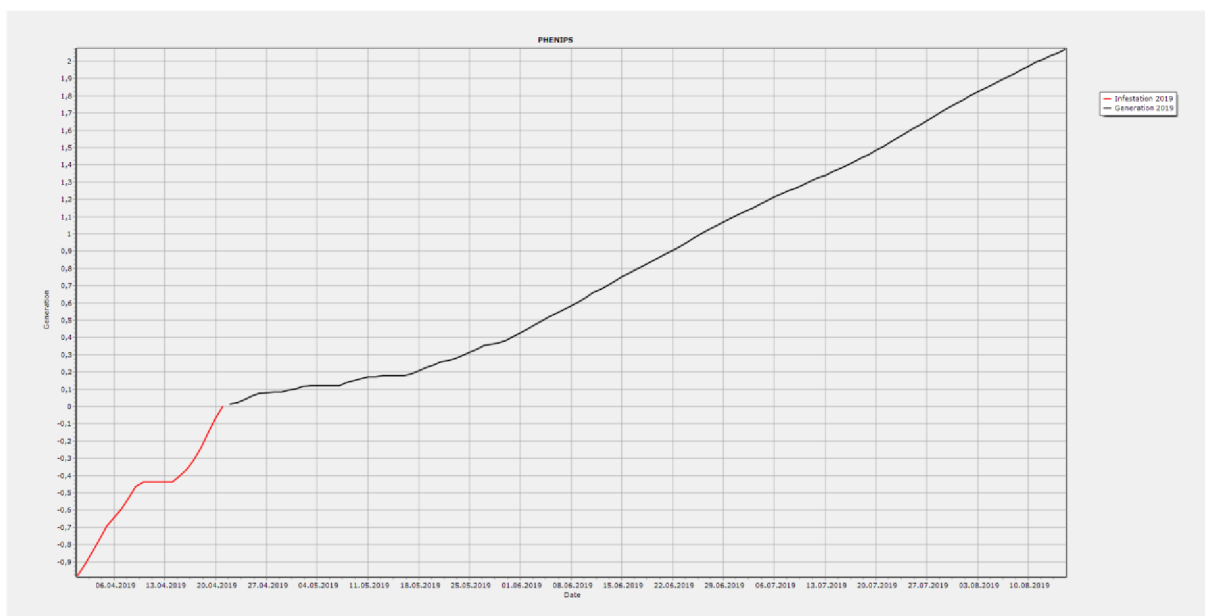
3.1.5 Tvorba mapových podkladů a vyhodnocení

Mapové podklady byly vytvořeny v prostředí programu ArcGIS. Nad vrstvou lesní hospodářské evidence kůrovcového dříví zde byly vytvořeny buffer zóny o poloměru 100, 500 a 1000 metrů, jejichž střed byl situován do pozice každého z feromonových lapačů. Následně byl k vyhodnocení vztahu mezi odchyty do lapačů a objemem kůrovcových těžeb v dané vzdálenosti od feromonového lapačem použit statistický model regresního typu.

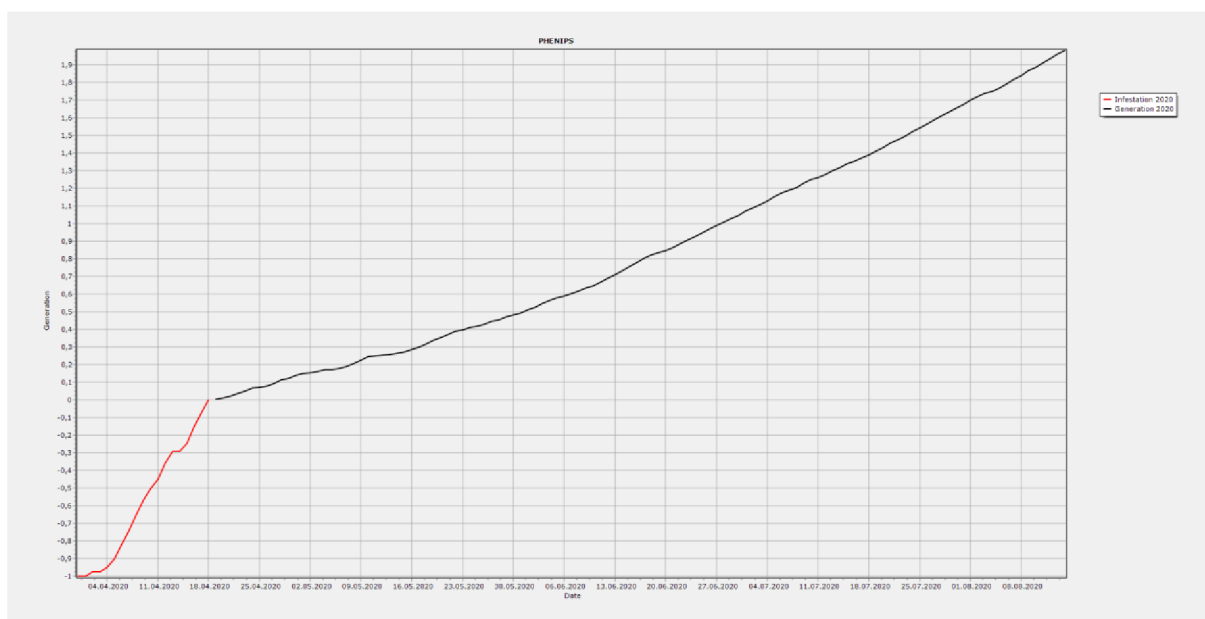
Pro vyhodnocení vztahu mezi kůrovcovými těžbami a odchyty do feromonových lapačů, byly použity počty brouků zaznamenaných v průběhu jarního rojení a vývoje první generace, tedy od dubna do června. Těžba napadeného smrkového dříví v období od dubna do července a kalamitní základ v rozmezí daném vyhláškou MZe 76/2018 Sb. Tyto údaje z roku 2019 na lokalitě Stříbrná Skalice se nepodařilo dohledat.

4 Výsledky

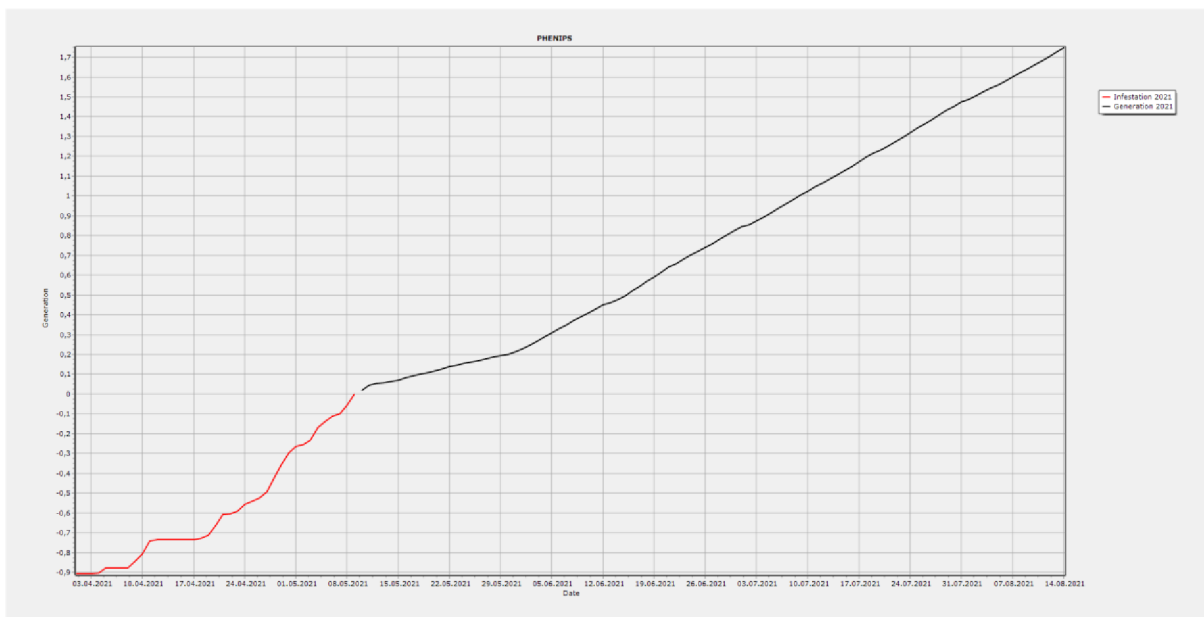
Predikce pro ŠLP z modelu PHENIPS: počet generací v roce, datum rojení, datum dokončení vývoje první/druhé generace pro jednotlivé roky je zřetelná na obrázku č. 4, obrázku č. 5, obrázku č. 6 a obrázku č. 7. Během roku 2019 byly předpokládány 2 generace, u ostatních let pouze jedna. Předpokládané datum nástupu rojení pro jednotlivé roky: 21. 4. 2019, 18. 4. 2020, 9. 5. 2021, 28. 4. 2022. Prognóza data dokončení jednotlivých generací se ve sledovaném období také lišila, konkrétně: 26. 6. 2019, 28. 6. 2020, 9. 7. 2021, 26. 6. 2022.



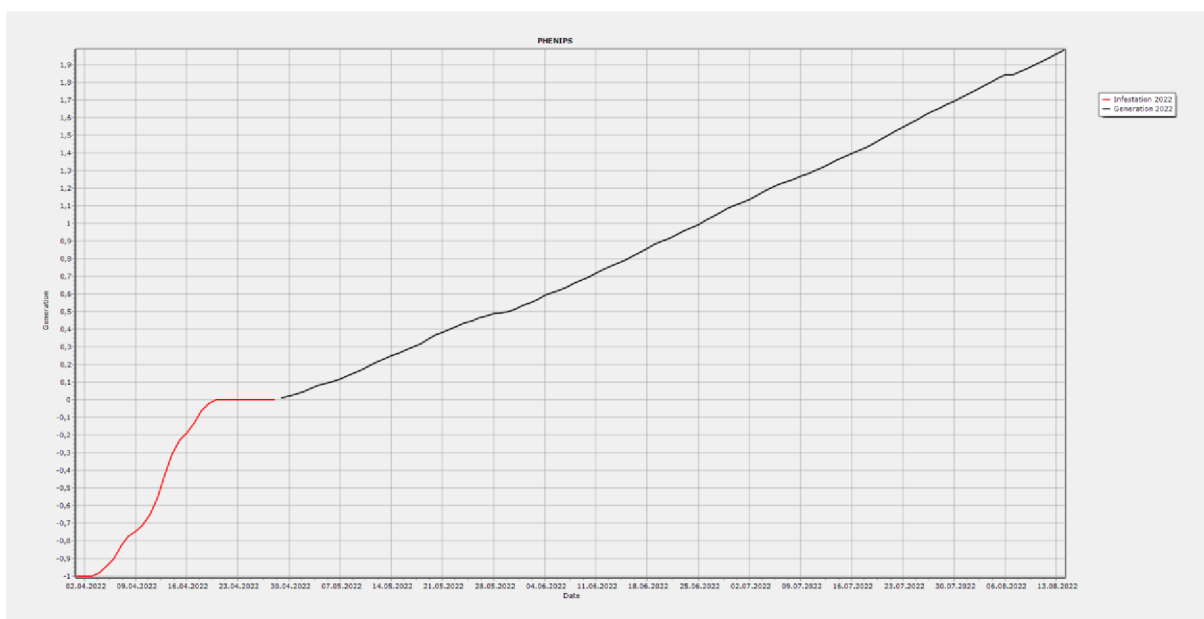
Obr. č. 4: Výstup z modelu PHENIPS pro rok 2019



Obr. č. 5: Výstup z modelu PHENIPS pro rok 2020



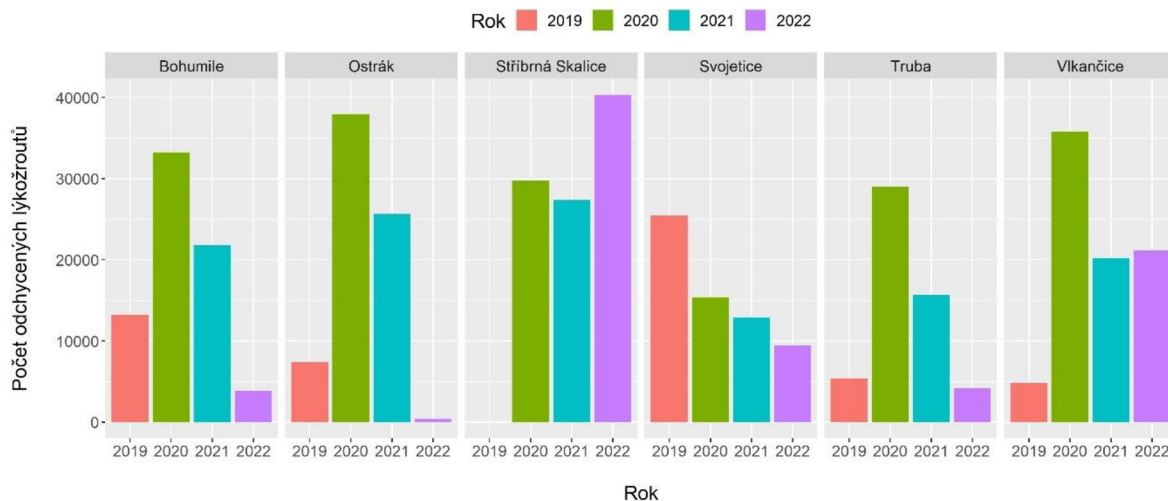
Obr. č. 6: Výstup z modelu PHENIPS pro rok 2021



Obr. č. 7: Výstup z modelu PHENIPS pro rok 2022

Počet odchycených lýkožroutů během let 2019–2022 (obrázek. č. 8) měl na polovině lokalit (Bohumile, Ostrák, Truba) podobný trend vývoje, kdy nejvyšší odchty byly při jarním rojení zaznamenány v roce 2020 a v následujícím roce došlo k výraznému poklesu. Dle odchyceného množství pak rok 2019 předčil rok 2022, jehož kvantifikaci byla věnována praktická část této diplomové práce. Podobný vývoj byl sledován i na lokalitě Vlkančice, tam však odchty během 2022 významně narostly oproti roku 2019. Nejvíce se vymyká Stříbrná Skalice, kdy odchty během jarního rojení byly podobné v období 2020–2021, avšak největší

množství bylo zaznamenáno následující rok jako v jediném případě a během 2019 odběry neprobíhaly. Vývoj odchytů ve Svojeticích měl postupem let sestupnou tendenci.



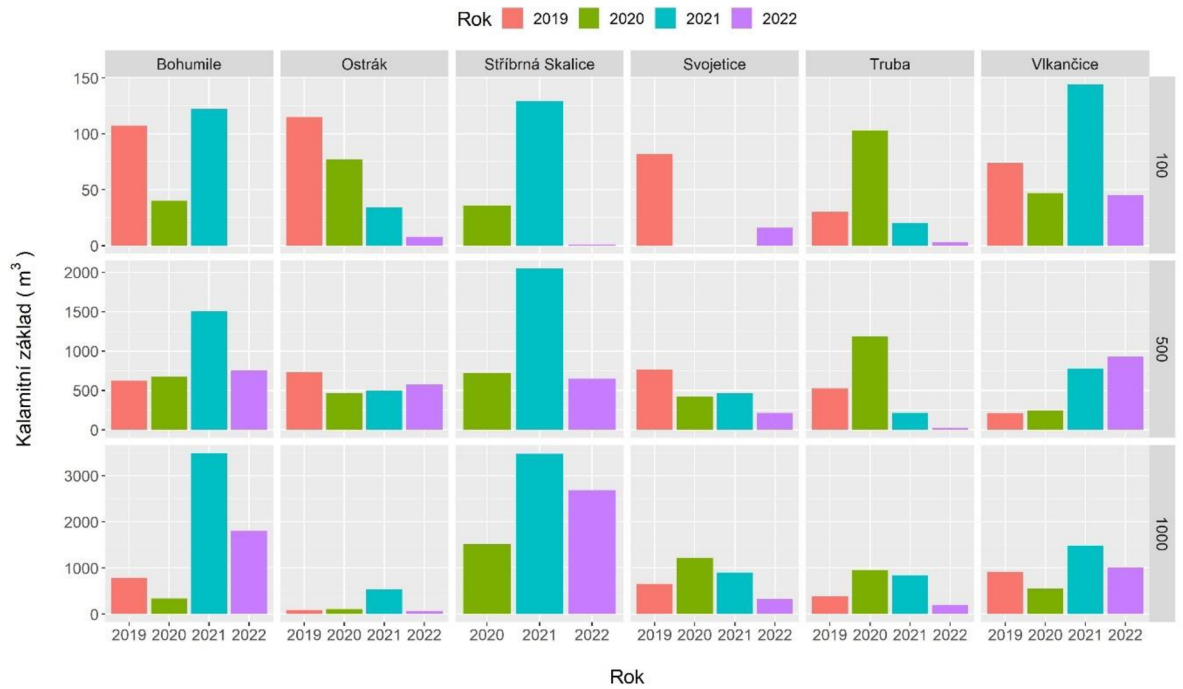
Obr. č. 8: Vývoj odchytů lýkožrouta smrkového do feromonových lapačů v zájmových lokalitách během jarního rojení 2019–2022

Vývoj kalamitního základu během sledovaného období na daných lokalitách v rámci 100, 500 a 1000 m bufferu, je patrný na obrázku č. 9. Na většině lokalit byla výše kalamitního základu nejvyšší v roce 2021. S postupným zvětšováním zájmové plochy okolo feromonových lapačů se zvyšoval také kalamitní základ. Výrazný pokles je viditelný na příkladu LÚ Ostrák v letech 2019, 2020 a 2022 (buffer 500 m > 1000 m), kde byl lapač patrně umístěn v epicentru lokálního ohniska.

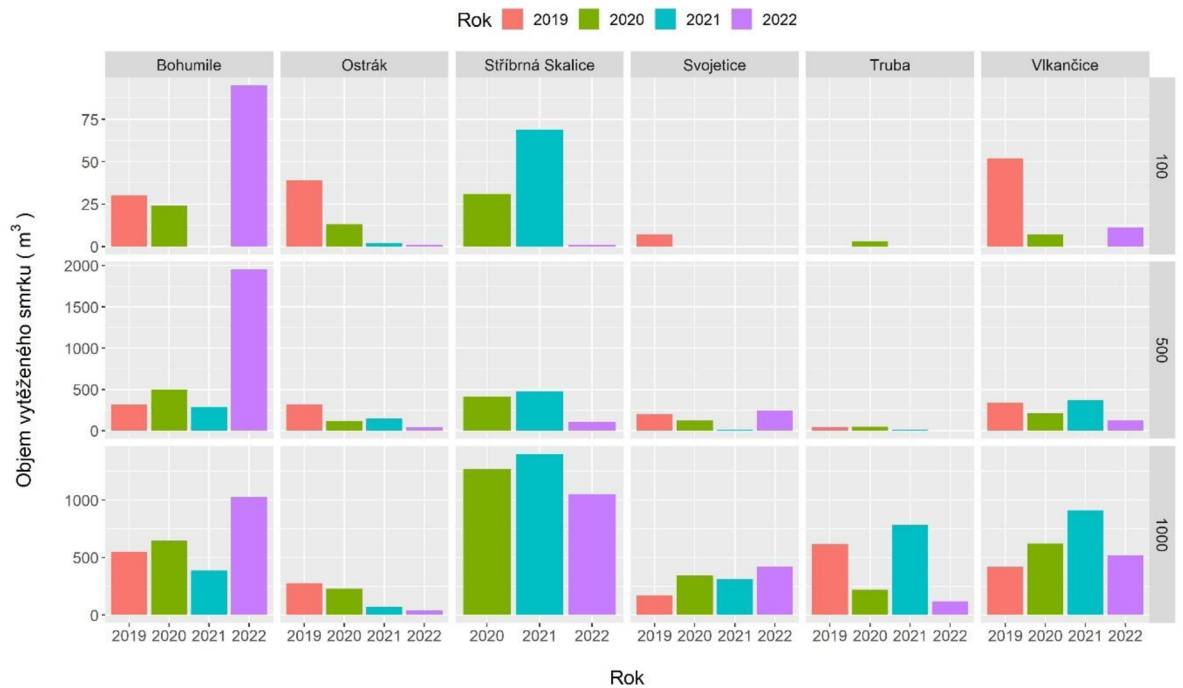
Vývoj objemů těžby napadeného kůrovcového dříví od dubna do července ve sledovaném období s postupným rozšiřování bufferů je zaznamenán na obrázku č. 10. Stejně jako u kalamitního základu většinou rostl objem s narůstající zájmovou plochou. Také zde v některých případech (500 m buffer > 1000 m buffer) např. v Bohumile došlo ke snížení objemu.

Z matice korelačních vztahů pro 100 m buffer okolo feromonových pastí (obrázek č. 11) lze usoudit, že s rostoucí těžbou napadených smrků klesají odchyty do feromonových lapačů. Tento vztah je však poměrně slabý ($r = -0,2$). Dále je zřejmý pozitivní vztah mezi kalamitním základem a odchty do lapačů, ovšem opět nízké korelace ($r = 0,2$). Nízká míra korelace byla potvrzena následnou regresní analýzou, kdy kůrovcové těžby v jarním období a

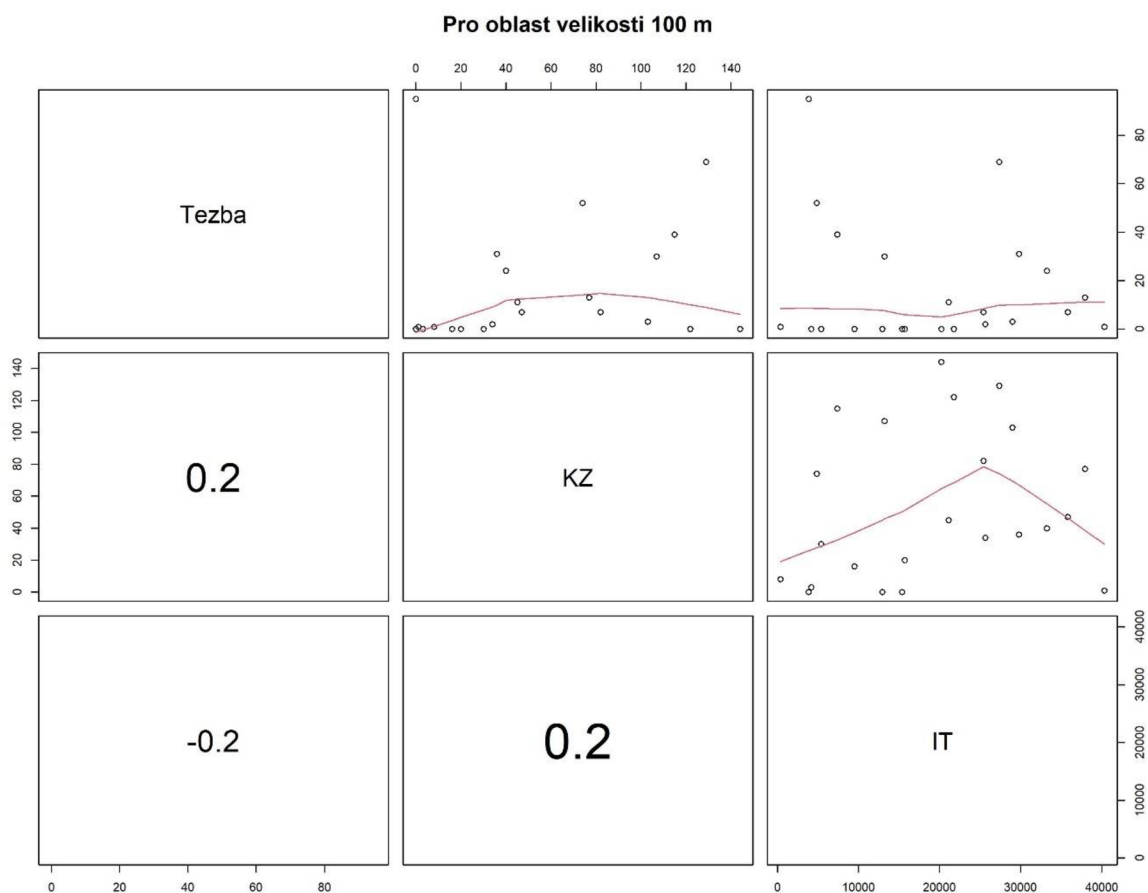
kalamitní základ se ukázaly být faktorem nevýznamným pro závisle proměnnou – počet lýkožroutů odchycených do feromonového lapače (GLMM $p = 0,35$ a $p = 0,23$; Tabulka č. 1).



Obr. č. 9: Vývoj kalamitního základu (m³) pro zájmové lokality v 100, 500, 1000 m bufferu během let 2019–2022



Obr. č. 10: Vývoj objemu vytěženého smrku (m³) pro zájmové lokality v 100, 500, 1000 m bufferu během let 2019–2022

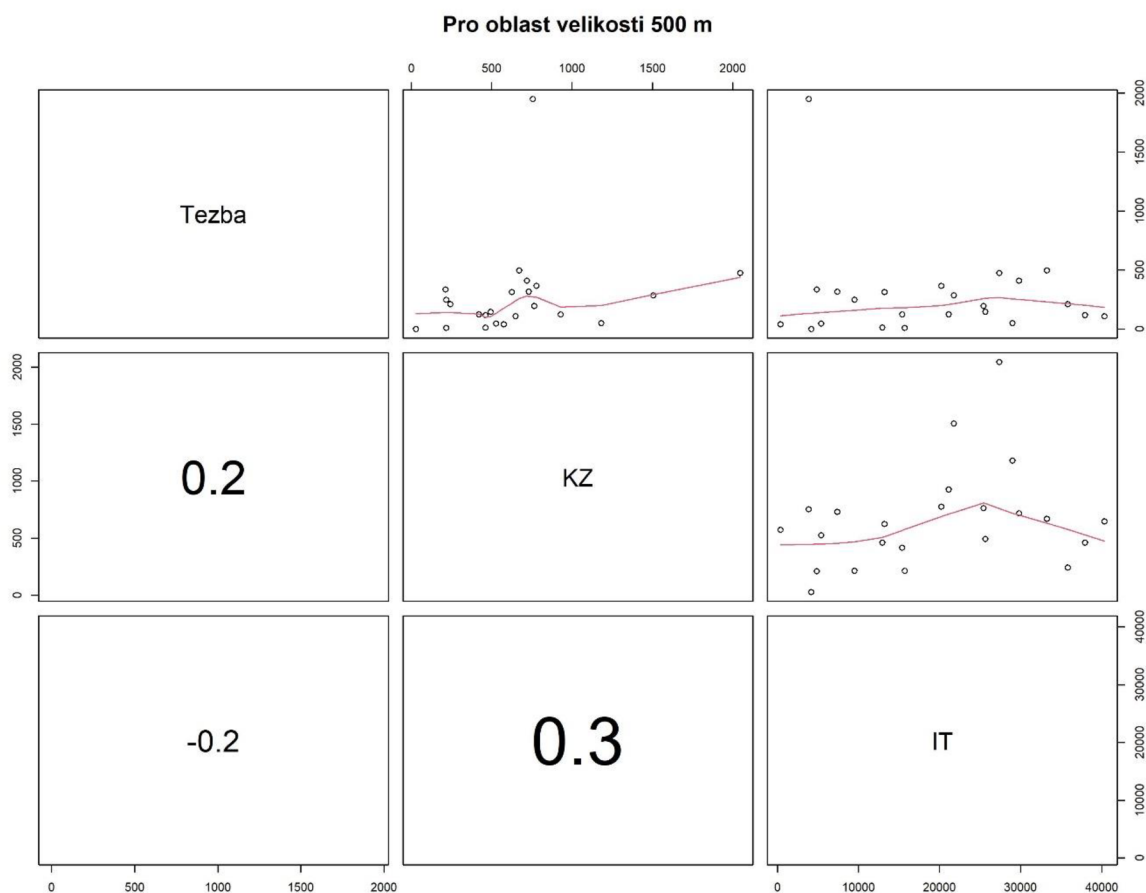


Obr. č. 11: Korelační matice proměnných pro 100 m buffer. Jejich označení je na úhlopříčné spojnici, pod kterou se nachází hodnoty vycházející z Pearsonova korelačního koeficientu pro vztah dvou proměnných. Nad uhlopříčkou jsou bodové grafy, na kterých jsou vyznačené konkrétní hodnoty a podoba závislosti z vnesené spline křivky

Tab. č. 1: ANOVA tabulka pro GLMM model vlivu těžby a kalamitního základu na odchyty pro buffer 100 m

Buffer 100 m	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	15	44,417	< 0,0001
Kalamitní základ	1	15	0,95046	0,3451
Těžba	1	15	1,5779	0,2283

Po zvětšení bufferu na 500 m rádius nedošlo k výrazným změnám ve vztazích porovnávaných proměnných v korelační matici, nepatrně se zvýšila pouze korelace mezi kalamitním základem a odchylem do lapačů (obrázek č. 12). Objem těžeb a kalamitní základ nebyly signifikantně významné pro odchycený počet lýkožroutů (tabulka č. 2).

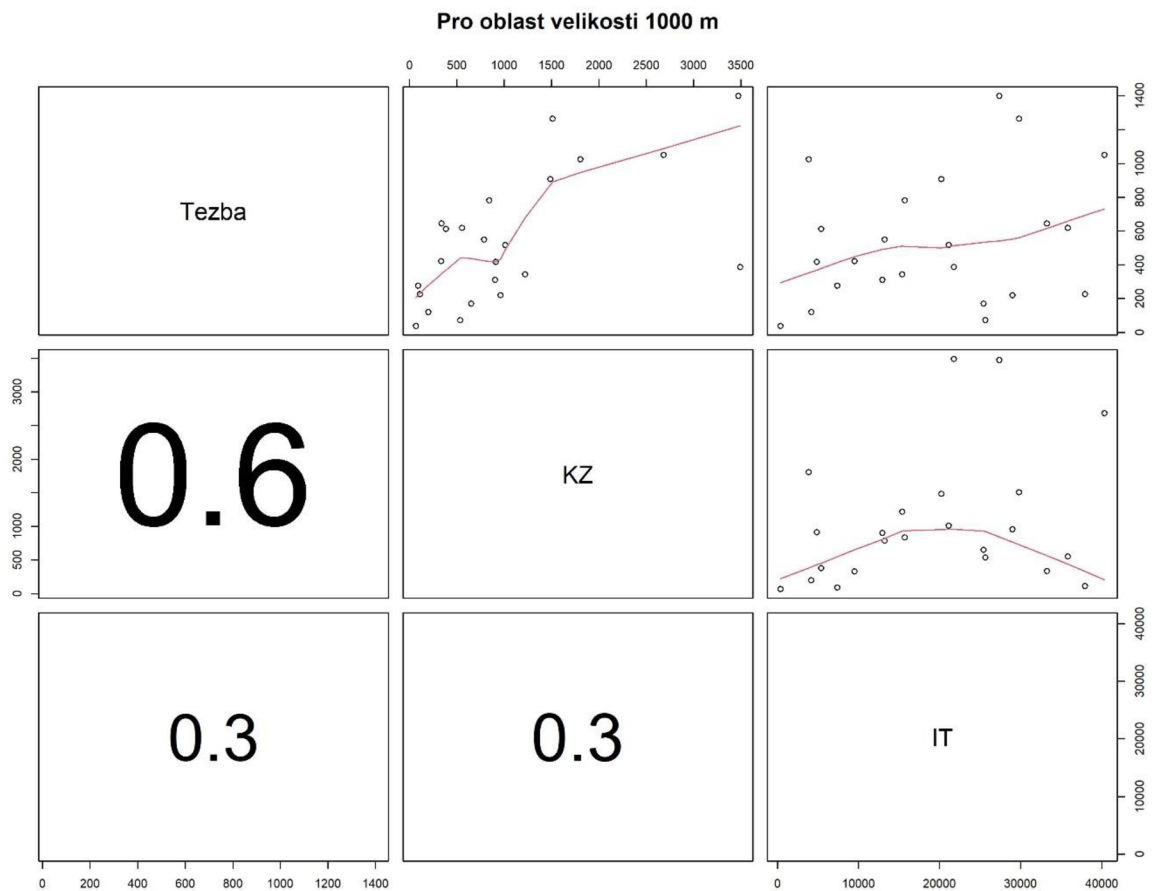


Obr. č. 12: Korelační matice proměnných pro 500 m buffer

Tab. č. 2: ANOVA tabulka pro GLMM model vlivu těžby a kalamitního základu na odchvy pro buffer 500 m

Buffer 500 m	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	15	61,15644	<.0001
Kalamitní základ	1	15	1,92032	0,1861
Těžba	1	15	1,21816	0,2871

Výraznější změny přinesla až aplikace 1000 m bufferu (obrázek č. 13). V tomto případě se zřetelně zvýšila korelace mezi těžbou a kalamitním základem a došlo k výstupu nejvyššího korelačního vztahu ($r = 0,6$) mezi jarní těžbou a kalamitním základem. Vztah mezi výší těžby v jarním období a odchytom do feromonových lapačů se stal pozitivní, nicméně stále relativně slabý ($r = 0,3$). Závěry korelační analýzy potvrdil i statistický model se smíšenými efekty, kde ani jeden z faktorů neměl signifikantní vliv na počet jedinců odchycených do feromonového lapače (GLMM $p = 0,19$ a $p = 0,54$; tabulka č. 3).



Obr. č. 13: Korelační matice proměnných pro 1000 m buffer

Tab. č. 3: ANOVA tabulka pro GLMM model vlivu těžby a kalamitního základu na odchty pro buffer 500 m

Buffer 1000 m	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	15	58,79099	<.0001
Kalamitní základ	1	15	1,84927	0,194
Těžba	1	15	0,39424	0,5395

5 Diskuze

Prognóza nástupu rojení na ŠLP Kostelec n. Č. lesy se dle modelu PHENIPS ve sledovaném období meziročně příliš nelišila (druhá polovina dubna), ovšem výjimkou byl rok 2021, kdy byl nástup rojení předpovězen na 9. 5. Dle KNÍŽKA & LIŠKY (2022) bylo v tomto roce mimořádně chladné jarní období oproti dlouhodobému normálu, což v důsledku významně ovlivnilo vývoj a letovou fázi lýkožrouta smrkového a zároveň se jednalo se o nejméně přívětivé podmínky pro podkorní hmyz od roku 2010.

ČSN 48 1000 udává stupeň výskytu lýkožrouta smrkového podle odchytů do feromonových lapačů. Silný stupeň výskytu je definován odchylem nad 4000 ks do jednoho feromonového lapače během celého období jarního rojení. Dle naměřených hodnot byl v letech 2019–2022 na ŠLP v Kostelci n. Č. 1. dosažen lokálně silný stupeň odchytu lýkožrouta smrkového na všech lokalitách s výjimkou zájmových oblastí Ostráku a Bohumile v roce 2022, kdy se odchty v Bohumile pohybovaly těsně pod touto hranicí. KLINOVSKÝ (2021) v roce 2020 zaznamenal několikanásobné překročení horní hranice silného stupně odchytu na všech lokalitách. Populace lýkožrouta smrkového na území ŠLP postupně klesala.

Početní stav se u vybraných hmyzích škůdců určuje dle 76/2018 Sb. podle objemu včas zpracovaného kůrovcového dříví na jeden hektar porostů starších než 50 let se zastoupením smrku 20 % a více. Kalamitní stav je v tomto dokumentu určen objemem 1–10 m³ na danou plochu. Vezmeme-li v úvahu plochu 314 m² odpovídající bufferu 1000 m kolem každého feromonového lapače, lze usoudit, že kalamitní stav byl v období 2019–2022 na lokalitách Svojetice, Bohumile a Vlkančice a v roce 2021 byl zde zaznamenán dokonce silně kalamitní stav, definovaný vyhláškou č. 76/2018 kalamitním základem nad 10 m³ na 1 ha. Na lokalitě Stříbrná Skalice chybí údaje z roku 2019, ovšem následující roky zde kalamitní základ mnohonásobně překračuje spodní hranici, i tady zřejmě docházelo nepřetržitě ve sledovaném období ke kalamitnímu stavu přemnožení lýkožrouta smrkového. Na lokalitě Truba klesl kalamitní základ v roce 2022 pod spodní hranici tohoto stavu a v okolí lapače Ostrák probíhal kalamitní stav pouze v roce 2021. Na většině zájmových ploch tedy docházelo k rozsáhlým škodám na lesního majetku.

KNÍŽEK & LIŠKA (2022) evidovali v roce 2021 v okresech Kutná hora a Benešov objem smrkového kůrovcového dříví 5,10 – 10 m³/ha, v okrese Kolín dokonce 10,1 m³/ha. Tři lokality tedy překročily toto rozpětí. Nejnižší kalamitní základ (1,7 m³/ha) v tomto roce byl na lokalitě Ostrák, kde v roce 2020 dosahovaly odchty lýkožrouta smrkového nejvyšších hodnot ze všech lokalit, což by mohlo znamenat, že feromonové lapače neodpovídají objemu napadených

stromů, ovšem tento objem se zde navýšil oproti předchozímu roku téměř pětinásobně. Hodnoty KNÍŽKA & LIŠKY (2022) sice vyjadřují objem smrkového dříví kůrovcového na hektar, což představuje poněkud odlišný údaj, než je kalamitní základ, ale pro obecné porovnání místní kůrovcové situace je tato diskrepance nepodstatná. Dle KNÍŽKA & LIŠKY (2022) byl vývoj těžby kůrovcového dříví v ČR během let 2019–2021 následovný: 14,492 m³ v roce 2019, 14,894 m³ v roce 2020 a 9,540 m³ v příštím roce. Trend mírného nárůstu nahodilé těžby a poté výrazného poklesu kopíroval vývoj pouze jedné z lokalit, a to Bohumile. Hojný výskyt lýkožrouta smrkového na území ŠLP je zřejmě podpořen i vlivem nadměrného pěstování smrku ztepilého mimo přirozený areál výskytu (DVOŘÁK & BROŽÍK 2010; MATĚJKA 2014).

Dle několika autorů je asanační těžba kůrovcového dříví často užívaným a účinným nástrojem tlumení populační hustoty lýkožrouta smrkového (WICHMANN & RAVN 2001; WERMELINGER 2004; STADELMANN et al. 2013; JAKUŠ & BLAŽENEC 2015; KUHN et al. 2022). Při použití 100 m bufferu se středem v každém z feromonových lapačů a následném vyhodnocení vyšlo najevo, že přestože vztah mezi rostoucím objemem těžby napadeného smrkového dříví a klesajícím množstvím odchycených imag lýkožrouta smrkového nelze s jistotou potvrdit na základě statistické významnosti, určitá závislost však pravděpodobně existuje a tak 100 m poloměr nebyl zvolen náhodou. Dle literatury a dřívějších experimentů dochází k nejvyššímu rozsahu nových napadení právě v této vzdálenosti, a to až v 65-90 % (WICHMANN & RAVN 2001; WERMELINGER 2004; KAUTZ et al. 2011). Tomu by možná mohl odporovat výsledek této studie, jelikož po rozšíření bufferu na 500 m rádius, se zmíněný vztah o mnoho nelišil. Tuto přibližnou vzdálenost určili (WICHMANN & RAVN 2001) jako rizikovou pro výskyt nového napadení. Dle WERMELINGERA (2004) není aktivní letová vzdálenost lýkožrouta smrkového vyšší než právě 500 m. S narůstající vzdáleností by ale měla klesat četnost nových napadení (WICHMANN & RAVN 2001), čemuž by mohla napovídat zjištění z tohoto experimentu, jelikož došlo k překlenutí negativní korelace mezi odchycením do feromonových lapačů a těžbou napadených stromů po aplikaci 1000 m bufferu. To by mohl vysvětlovat únik brouků z aktivního dosahu feromonových lapačů. Také dostupnost hostitelského materiálu ovlivňuje výskyt nových napadení (WERMELINGER 2004).

Ve všech případech bufferů 100, 500, 1000 m spolu pozitivně koreloval kalamitní základ s objemem vytěženého smrkového dříví napadeného kůrovcem. Toto zjištění je žádoucím potvrzením smysluplnosti výpočtu kalamitního základu. Závislost mezi těžbou a kalamitním základem však nebyla testována prostřednictvím regresního modelu. Nicméně na bufferu 1000 m byl zaznamenán nejsilnější vztah v tomto experimentu, který představovala

právě pozitivní korelace mezi kalamitním základem a celkovým objemem vytěžené kůrovcového dříví.

Absenci korelace mezi rozsahem napadení porostů a výší odchytů do feromonových lapačů uvádějí i WESLIEN (1992) a LINDELÖW & SCHROEDER (2001). Vyhodnocování těchto typů studií má řadu úskalí a skutečná účinnost feromonových pastí je stále diskutabilní. Závěry doposud provedených experimentů, které měly za cíl efektivitu stanovit, se často lišily (ANDEBRANT 1985; WESLIEN 1992a; WERMELINGER 2004; GALKO et al. 2016). Dle WERMELINGERA (2004) je například možné zachytit pouze 3-10 % populace lýkožrouta. Navíc jsou odchyty ovlivňovány lokálními podmínkami, tedy nejen počasím, ale také dřevinnou skladbou, rozsahem vhodného materiálu pro reprodukci kůrovce, stresovaných stromů atd. (LOBINGER 1995; NETHERER & NOPP-MAYR 2005). Podstatným aspektem je i populační hustota brouků (MODLINGER et al. 2015). V neposlední řadě má dle mého názoru velký vliv přístup jednotlivých pověřených osob, jejichž úkolem je včasná detekce napadených stromů. Jelikož ty je třeba asanovat před vylétnutím nové generace škůdce, aby tato metoda nepostrádala na účinnosti (WERMELINGER & SEIFERT 1999; STADELMANN et al. 2013), ale znaky napadení se často objevují až poté, co část brouků napadený strom již opustí (MODLINGER et al. 2015). Problémem je navíc podle MODLINGERA & TRGALY (2019) nedostatek pracovních sil v lesním hospodářství.

Celkově lze usoudit, že pravděpodobně neexistuje těsný vztah mezi odchty do lapačů a těžbou kůrovcového dříví v jejich okolí. Což koresponduje s výsledky více autorů (WICHMANN & RAVN; FACCOLI & STERGULC 2008; GRODZKI 2021; KUHN et al. 2022).

6 Závěr

Lýkožrout smrkový způsobuje rozsáhlá poškození smrkových porostů na území Evropy a výjimkou není ani ŠLP Kostelec nad Černými lesy. S globální klimatickou změnou bude zřejmě negativní vliv na tyto porosty stoupat, což pravděpodobně povede k přestavbě lesů. Je potřeba mít k této problematice multidisciplinární přístup a investovat do výzkumu a managementu.

Na území ŠLP byl v posledních letech zaznamenán silný stupeň odchyту lýkožrouta smrkového odpovídající kalamitnímu stavu. Porovnáním odchyतů do feromonových lapačů s těžbou v jarním období a kalamitním základem na bufferu 100, 500 a 1000 m byly zjištěny pouze nesignifikantní vazby. Nejsilnější vztah tohoto experimentu byla pozitivní korelace mezi kalamitním základem a objemem vytěženého kůrovcového dříví. Odchyty do feromonových lapačů pravděpodobně korespondují s vytěženým kůrovcovým dřívím v okolí, jelikož byla zjištěna negativní korelace těchto dvou proměnných v přímém okolí lapačů do vzdálenosti 500 metrů. S rostoucí vzdáleností se tento vztah změnil na pozitivní, účinnost lapače zřejmě klesala. Těžba kůrovcového dříví v jarním období může mít nepřímo úměrný vliv na počet odchycených brouků do feromonových lapačů, a to na území do 500 m. Tento vztah však nebyl statisticky průkazný. Podobných výsledků bylo dosaženo i v předchozích studiích. Otázkou je účinnost lapačů, která zřejmě s přibývajícím vzdáleností klesá, vliv stanovištních podmínek a také počet a přístup lesnického personálu. Tato problematika vyžaduje v budoucí době širší výzkum.

7 Literatura

- ABDULLAH, H.; DARVISHZADEH, R.; SKIDMORE, A. K.; GROEN, T. A.; HEURICH M. European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) green attack affects foliar reflectance and biochemical properties. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 2018, vol. 64, s. 199-209.
- ABGRALL J.-F.; SCHVESTER, D. Observations sur le piégeage de *Ips typographus* L. apres chablis, *Revue Forestière Française*, 1987, vol. 39, no. 4, s. 359–377.
- ANDEBRANT, O. Dispersal of reemerged spruce bark beetles, *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae): a mark-recapture experiment, *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 1985, vol. 99, no. 1-5, s. 21-25.
- ANNILA, E. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae), *Annales Zoologici Fennici: Societas Biologica Fennica Vanamo*, 1969, s. 161-208.
- 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, vol. 249, s. 171-186.
- BAKKE, A. Evidence of a population aggregating pheromone in *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae), 1970, vol. 24, no.13, s. 309-310.
- BAKKE, A. The recent *Ips typographus* outbreak in Norway – experiences from a control program, *Holarctic Ecology*, 1989, vol. 134, s. 515–519.
- BAKKE, A.; FRØYEN, P.; SKATTEBØL, L. Field response to a new pheromonal compound isolated from *Ips typographus*, *Naturwissenschaften*, 1977, vol. 64, no. 2, s. 98-99.
- BENTZ B.; JÖNSSON A.M.; SCHROEDER M.; WEED A.; WILCKE RAI.; LARSSON K. *Ips typographus* and *Dendroctonus ponderosae* models project thermal suitability for intra- and

inter-continental establishment in a changing climate, *Frontiers in Forests and Global Change*, 2019, vol. 2, s. 1–17.

BEREC, L.; DOLEŽAL, P.; HAIS, M. Population dynamics of *Ips typographus* in the Bohemian Forest (Czech Republic): Validation of the phenology model PHENIPS and impacts of climate change, 2013, vol. 292, s. 1-9.

BERNHARD, H.; GRUPPE, A. Are beetles caught in pheromone traps representative for a population of the bark beetle *Ips typographus* L.?, *Mitteilungen der Deutschen Gessellschaft fuer allgemeine und angewandte Entomologie*, 2000, vol. 12, s. 1-6.

BEUDERT, B.; BÄSSLER, C.; THORN, S.; NOSS, R.; SCHRÖDER, B.; DIEFFENBACH-FRIES, H.; FOULLOIS, N.; MÜLLER, J.; Bark beetles increase biodiversity while maintaining drinking water quality. *Conservation Letters*, 2015, vol. 8, no. 4, s. 272-281.

BIEDERMANN, P.H.; MÜLLER, J.; GRÉGOIRE, J.C.; GRUPPE, A.; HAGGE, J.; HAMMERBACHER, A.; HOFSTETTER, R.W.; KANDASAMY, D.; KOLARIK, M.; KOSTOVCIK, M.; KROKENE, P. Bark beetle population dynamics in the Anthropocene: challenges and solutions, *Trends in ecology & evolution*, 2019, vol. 34, no. 10, s. 914-924.

BIRGERSSON, G.; SCHLYTER, F.; LÖFQVIST, J.; BERGSTRÖM, G. Quantitative variation of pheromone components in the spruce bark beetle *Ips typographus* from different attack phases, *Journal of Chemical Ecology*, 1984, vol. 10, s. 1029-1055.

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. 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. Vláda. Zákon č. 289 ze dne 3. listopadu 1995 o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon). Dostupné z WWW: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-289>

ČESKO. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Česká technická norma. Ochrana lesa proti kůrovcům na smrku ČSN 48 1000. Český normalizační institut, 2005.

DOLEŽAL, P. Jak se žije v lese (smrkovém) – kapitoly ze života lýkožrouta smrkového, *Živa*, 2013, s. 229-230.

DOLEŽAL, P.; SEHNAL, F. Imaginal diapause in the bark beetle *Ips typographus*, *Proceedings: Ecology, Survey and Management of Forest Insects*, 2003, 127 s.

DUELLI, P.; ZAHRADNÍK P.; KNÍŽEK M.; KALINOVÁ, B. Migration in spruce bark beetles (*Ips typographis* L.) and the efficiency of pheromone traps, *Journal of Applied Entomology*, 1997, vol. 121, no. 1-5, s. 297-303.

DVOŘÁK, T.; BROŽÍK, V. *ŠLP Kostelec nad Černými lesy – Textová část lesního hospodářského plánu 2011-2020*, Lesprojekt Stará Boleslav, 2010, 335 s

ERIKSSON, M.; NEUVONEN, S.; ROININEN, H. Retention of wind-felled trees and the risk of consequential tree mortality by the European spruce bark beetle *Ips typographus* in Finland, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2007, vol. 22, no. 6, s. 516–523.

FACCOLI M.; STERGULC F. Damage reduction and performance of mass trapping devices for forest protection against the spruce bark beetle, *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae Scolytinae), 2008, *Annals of Forest Science*, vol. 65, no. 3, s. 1-23.

FRANCKE, W.; BARTELS, J.; MEYER, H; SCHRÖDER, F.; KOHNLE, U.; BAADER, E.; PIERRE VITÉ, J. Semiochemicals from bark beetles: new results, remarks, and reflections. *Journal of Chemical Ecology*, 1995, vol. 21, s.1043-1063.

GALKO, J.; RELL, S.; NIKOLOV, CH.; GUBKA, A.; VAKULA, J. Pheromone traps for monitoring population density of bark beetles – comparison, practical information. Národné lesnícké centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2013, 1 s.

GALKO, J., NIKOLOV, C., RELL, S., KUNCA, A., VAKULA, J., GUBKA, A.; ZÚBRIK, M., Vývoj nových typov feromónových lapačov, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2014, s. 161-165.

GALKO, J.; NIKOLOV, C.; KUNCA, A.; VAKULA, J.; GUBKA, A.; ZÚBRIK, M.; RELL, S.; KONÔPKA, 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, vol. 62. no. 4, s. 207-215.

GRODZKI, W. *Pityogenes chalcographus* (Coleoptera, Scolytidae) - an indicator of man-made changes in Norway spruce stands, *Biologia Bratislava*, 1997, vol. 52, no. 2, s. 217-220.

GRODZKI, W. Phytosanitary situation in Polish mountain forests in 1998 and forecast for 1999. Methodology of forest insect and disease survey in Central Europe, *Proceedings of the Second Workshop of the IUFRO Working Party 7.03.10, Sion-Chateauneuf, Switzerland*, 1999, s. 20–23.

GRODZKI, W., Do pheromone trapping always reflect (L.) population level? A study from the Tatra National Park in Poland, *Folia Forestalia Polonica*, 2021, vol. 63, no. 1, s. 36-47.

HELLAND, I.; HOFF, J. M.; ANDERBRANT, O. Attraction of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) to a pheromone trap, *Journal of Chemical Ecology*, 1984, vol. 10, s. 723-752.

HILCZANSKI J.; JANISZEWSKI W.; NEGRON J.; MUNSON A.S. Stand characteristics and *Ips typographus* (L.) (Col., Cuculionidae, Scolytinae) infestation during outbreak in northern Poland, *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 2006, vol. 48, s. 53–64.

HILMERS, T.; FRIESS, N.; BÄSSLER, C.; HEURICH, M.; BRANDL, R.; PRETZSCH, H.; SEIDL, R.; MÜLLER, J. Biodiversity along temperate forest succession, *Journal of Applied Ecology*, 2018, vol. 55, no. 6, s. 2756-2766.

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 lesnícký institut*, 2019, 52 s.

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, vol. 490, s. 1-8.

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, s. 65–173.

HRAŠOVEC, B.; KASUMOVIĆ, L.; FRANJEVIĆ, M. Overwintering of eight toothed spruce bark beetle (*Ips typographus*) in spruce forests of North Velebit. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 2011, vol. 32, no. 1, s. 211-221.

HUANG, J.; HAMMERBACHER, A.; WEINHOLD, A.; REICHEL, M.; GLEIXNER, G.; BEHRENDT, T.; VAN DAM, N.M.; SALA, A.; GERSHENZON, J.; TRUMBORE, S.; HARTMANN, H. Eyes on the future – evidence for trade-offs between growth, storage and defense in Norway spruce. *New Phytol.*, vol. 222, 2019, s. 144–158.

HULCR, J. Lýkožrout v lese z pohledu entomologa, *Lesnická práce*, 2004, vol.4., s. 18-19.

HŮRKA, K.; ČEPICKÁ, A. *Rozmnožování a vývoj hmyzu*, 1978, SPN, Praha, 223 s.

IPCC: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; Connors, S. L.; Péan, C.; Berger, S.; Caud, N.; Chen, Y.; Goldfarb, L.; Gomis, M.I.; Huang, M.; Leitzell, K.; Lonnoy, E.; Matthews, J.B.R.; Maycock, T.K.; Waterfield, T.; Yelekçi, O.; Yu, R.; Zhou, B. (eds.)], *Cambridge University Press*, 2021, s. 1-46.

JAKUŠ, R.; BLAŽENEC, M. (eds.). *Princípy ochrany dospělých smrekových porastov pred podkôrnym hmyzom*, 2015, 1. vyd. Zvolen, ÚEL SAV, 231 s.

JAROŠÍK, J. *Růst a regulace populací*. Academia. Praha. 2005, 170 s.

JEGER, M.; BRAGARD, C.; CAFFIER, D.; CANDRESSE, T.; CHATZIVASSILIOU, E.; DEHNEN-SCHMUTZ, K.; GILIOLI, G.; JAQUES MIRET, J. A.; MACLEOD, A.; NAVAJAS NAVARRO, M.; NIERE, B.; PARNELL, S.; POTTING, R.; RAFOSS, T.; ROSSI, V.; UREK, G.; VAN BRUGGEN, A.; VAN DER WERF, A.; WEST, J.; WINTER, S.; KERTÉSZ, V.; AUKHOJEE, M.; GRÉGOIRE, M.C. Pest categorisation of *Ips typographus* EFSA J., vol. 15, no. 7, 2017, 23 s.

JURC M.; PERKO M.; DŽEROSKI S.; DEMŠAR D.; HRAŠOVEC B.; Spruce bark beetles (*Ips typographus*, *Pityogenes chalcographus*, Col.: Scolytidae) in the Dinaric mountain forest of Slovenia: monitoring and modeling. *Ecological Modeling*, 2006, vol. 194, no. 1–3, s. 219–226.

KANGAS, E. On population regulation of forest insects living in tree rind, *Finland. II*, 1953, s. 224-228.

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, vol. 262, no. 4, s. 598-608.

KINDLMANN, P.; MATĚJKA, K.; DOLEŽAL, P. *Lesy Šumavy, lýkožrout a ochrana přírody*. 1. vyd. Praha, Karolinum, 2012. 325 s. ISBN 978-80-246-2155-5.

KIRKENDALL L. R. The evolution of mating systems in bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Scolytidae and Platypodidae). *Zoological journal of the Linnean Society*, 1983, vol. 77, s. 293-352.

KLINOVSKÝ, M. *Letová aktivita kalamitních druhů kůrovců (Coleoptera: Scolytinae) v závislosti na sumě efektivních teplot*. ČZU, Praha. Diplomová práce, 2021. 56 s.

KNÍŽEK, M. Scolytinae (kůrovcoví), 2005, s. 527–530. In FARKAČ et al. (ed.): Červený seznam ohrožených druhů České republiky Bezobratlí. Red list of threatened species in the Czech Republic Invertebrates., Praha, 2005, AOPK ČR, 760 s.

KNÍŽEK, M.; LIŠKA, J. (eds): Výskyt lesních škodlivých činitelů v roce 2021 a jejich očekávaný stav v roce 2022. *Strnady, VÚLHM*, 2022, *Zpravodaj ochrany lesa*, 86. s.

KOMONEN, A.; SCHROEDER, L. M.; WESLIEN, J. *Ips typographus* population development after a severe storm in a nature reserve in southern Sweden, *Journal of Applied Entomology*, 2011, vol. 135, no. 1-2, s. 132-141.

KREUTZ, J.; ZIMMERMANN, G.; VAUPEL, O. Horizontal transmission of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* among the spruce bark beetle, *Ips typographus* (Col., Scolytidae) in the laboratory and under field conditions, *Biocontrol Science and Technology*, 2004, vol. 14, no. 8, s. 837-848.

KŘÍSTEK J. Škůdce primární [Primary pest], p. 415. In: Lesnický naučný slovník, POLENO Z. (ed.) Ministerstvo zemědělství, Praha, 1995, 683 s.

KUHN, A.; HAUTIER, L.; SAN MARTIN, G. Do pheromone traps help to reduce new attacks of *Ips typographus* at the local scale after a sanitary cut? 2022, *PeerJ*, vol. 10, s. 1-23.

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

LACHMANOVÁ, Z. Aplikace kalkulační metody transformačních tabulek na školním lesním podniku v Kostelci nad Černými lesy. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2007, s. 56-73.

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, vol. 261, no. 2, s. 233–245.

LINDELÖW, Å.; SCHROEDER, M. Spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.). *Sweden: monitoring and risk assessment*, 2001, *J. For. Sci.*, vol. 47, s. 40-42.

LIŠKA J.; PÍCHOVÁ V.; KNÍŽEK M.; HOCHMUT R. Přehled výskytu lesních hmyzích škůdců v Českých zemích [Review of the occurrence of forest pests in Bohemia, Moravia and Silesia]. *Lesnický průvodce*, 1991, vol. 3, s. 1–37.

LOBINGER, G. Einsatzmöglichkeiten von Borkenkäferfallen. *Allg. Forst. Z. Waldwirtsch., Umweltvorsorge*, 1995, vol. 50, s. 198-201.

LOBINGER, G. Variations in sex ratio during an outbreak of *Ips typographus* (Col., Scolytidae) in Southern Bavaria, *Anzeiger für Schadlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 1996, vol. 69, no. 3, s. 51–53.

LOBINGER, G. V.; SKATULLA, U. Untersuchungen zum Einfluss von Sonnenlicht auf das Schwärmverhalten von Borkenkäfern. *Anzeiger für Schadlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 1996, vol. 69, no. 8, s. 183-185.

LUBOJACKÝ J.; HOLUŠA J. Comparison of spruce bark beetle (*Ips typographus*) catches between treated trap logs and pheromone traps. *Šumarski list*, 2011, vol. 35, no. 5–6, s. 233–242.

LUBOJACKÝ, J.; KNÍŽEK, M.; LIŠKA, J. Symptomy napadení stromů kůrovci ve smrkových porostech, *Lesnická práce*, 2018, s. 1-4.

MARKOVIC, C; STOJANOVIC, A. Differences in bark beetle (*Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus*) abundance in a strict spruce reserve and the surrounding spruce forests of Serbia. *Phytoparasitica*, 2010, vol. 38, no. 1, s. 31-37.

MARTINEK, V. Číselné vyjádření hustoty náletu kůrovce *Ips typographus* L. na kmenech při přemnožení, *Lesnictví*, 1956, vol. 29, s. 411-425.

MARTINEK, V., *Problém natality a gradace kůrovce Ips typographus L. ve střední Evropě*, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1961. Řada MPV. Sešit 3, 77 s.

MATOUŠEK, P.; MODLINGER, R.; HOLUŠA, J., TURČÁNI, M. Počet vajíček kladených lýkožroutem smrkovým *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) na stromových lapácích: vliv vybraných faktorů, *Zprávy Lesnického Výzkumu*, 2012, s. 126–132.

MATOUŠEK, P. *Populační dynamika lýkožrouta smrkového (Ips typographus L.) v různých gradačních fázích: plodnost na klasických lapácích*, Disertační práce, Praha, 2012, 172 s.

MEZEI, P.; BLAŽENEC, M.; GRODZKI, W.; ŠKVARENINA, J.; JAKUŠ, R. Influence of different forest protection strategies on spruce tree mortality during a bark beetle outbreak. *Annals of forest science*, 2017, vol. 74, no. 4, s. 1-12.

MATĚJKA, K. Klimatické gradienty a modelování lesních vegetačních stupňů v ČR, *Geobiocenologie a její aplikace v lesnictví a krajinářství-Geobiocenologické spisy*, vol. 15, s.103-118.

MILLS, N. J. A preliminary analysis of the dynamics of within tree population of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Scolytidae), *Journal of Applied Entomology*, 1986, s. 402– 416.

MIŚCICKI, S.; GRODZKI, W. Can sanitation cutting contribute to reduced mortality of Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst., due to infestation by *Ips typographus* (L.). *sylvan*, 2021, vol. 165, no. 11, s. 749-762.

MODLINGER R.; HOLUŠA J.; LIŠKA J.; KNÍŽEK M. Stav populace lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.) v NPR Žofínský prales (Novohradské hory, Česká republika). *Silva Gabreta*, 2009, vol. 15, no. 2, s. 143–154.

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. VŮLHM, Strnady. *Lesnický průvodce*, vol. 9, 2015. 67 s.

MODLINGER, R.; TRGALA, K. *Možné příčiny a důsledky kůrovcové kalamity v lesích Česka s ohledem na specifika při zpracování*, Praha, 2019, 41 s.

NESŇAL, Z.; KLEM, K.; CHUCHMA, R.F.; TOLASZ, R.R.; VOPRAVIL, J.; HOLUBÍK, O. ČEŠPIVA, M., Podkladové analýzy pro přípravu SZP v programovém období, 2021, s. 1-161.

NETHERER, S.; NOPP-MAYR, U., Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management—rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. *Forest Ecology and Management*, 2005, vol. 207, no. 1-2, s. 99-107.

NOVÁK V.; HROZINKA F.; Starý B. *Atlas hmyzích škůdců lesních dřevin*, Liberec, 1974, 127 s. ISBN 07-007-74 1974

NOVOTNÝ, J.; TURČÁNI, M., Bark beetles as injurious factors in protected areas of the Slovak Republic. In *Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe, Proceedings of the IUFRO WP*, 1998, vol. 7, no. 03.10, s. 21-24.

ØKLAND, B.; NIKOLOV, C.; KROKENE, P.; VAKULA, J. Transition from windfall-to patch-driven outbreak dynamics of the spruce bark beetle *Ips typographus*. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 363, s. 63-73.

PFEFFER, A. *Fauna ČSR, svazek 6. Kůrovci – Scolytoidea. 1. vyd.*, Praha, Nakladatelství ČSAV, 1955. 324 s

PFEIL, W. *Über Insektenschaden in den Wäldern, die Mittel ihm vorzubeugen und seine Nachteile zu vermindern*, Verlag Boicke, Berlin. 1827, 72 s.

PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J.; KRATOCHVÍL, J., Vývoj půdního chemismu ve smrkových lesních ekosystémech na území ŠLP Kostelec nad Černými lesy, *Zprávy lesnického výzkumu*, 2005, s. 200-203.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY S.; SARKAR D. R CORE TEAM *_nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models_*. R package version 3.1-155, 2022, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>.

QUASCHIK, E. Der Fichtenborkenkäfer. (*Ips typographus L.*). Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, 1953. 35 s.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2022, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

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, vol. 78, no. 1-3, s.191-205.

- RECKMANN, G. The Control of the Spruce Bark-beetle (*I. typographus*) during an Outbreak. Berlin, *Deutscher Zentralverlag*, 1950, 218 s.
- 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, vol. 52, no. 4, s. 158-171. ISSN 1212-4834
- RENWICK, J.A.A; VITÉ, J.P. Bark beetle attractants: mechanism of colonization by *Dendroctonus frontalis*, *Nature*, 1969, vol. 224, n. 5225, s.1222-1223.
- RUDINSKY, J. A. Ecology of scolytidae, *Annual review of entomology*, vol. 7, no. 1, 1962, s 327-348.
- RUDINSKY, J. A.; NOVAK, V; ŠVIHRA. P. Attraction of the Bark Beetle *Ips typographus* L. to Terpenes and a Male-Produced Pheromone 1., *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, vol. 67, no. 1-4, 1971, s. 179-188.
- SEIDL, R.; SPIES, T. A.; PETERSON, D. L.; STEPHENS, S. L.; HICKE, J. A. Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services, *Journal of applied ecology*, 2016, vol. 53, no. 1, s 120-129.
- SCHOPF, R., KÖHLER, U. Untersuchungen zur Populationsdynamik der Fichtenborkenkäfer im Nationalpark Bayerischer Wald. Nationalpark Bayerischer Wald - 25 Jahre auf dem Weg zum Naturwald, *Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Neuschönau*, 1995, s. 88–110.
- SEIDL, R.; SCHELHAAS, M. J.; RAMMER, W.; VERKERK, P. J. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage, *Nature climate change*, 2014, vol. 4. no. 9, s. 806-810.
- SCHROEDER, L. Colonization of storm gaps by the spruce bark beetle: influence of gap and landscape characteristics, *Agricultural and Forest Entomology*, 2010, vol. 12, no. 1, s. 29-39.

SKUHRAVÝ V. *Lýkožrout smrkový (Ips typographus L.) a jeho kalamity*. 1. vyd., 2002, Praha, Agrospoj, 196 s

SOMMERFELD, A.; SENF, C.; BUMA, B.; D'AMATO, A. W.; DESPRÉS, T.; DÍAZ-HORMAZÁBAL, I.; SEIDL, R. Patterns and drivers of recent disturbances across the temperate forest biome, *Nature communications*, 2018, vol. 9, no. 1, s. 1-9.

STADELMANN, G.; BUGMANN, H.; MEIER, F.; WERMELINGER, B.; BIGLER, C. Effects of salvage logging and sanitation felling on bark beetle (*Ips typographus* L.) infestations, *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 305, s. 273-281.

STADELMANN, G.; BUGMANN, H.; WERMELINGER, B.; BIGLER, C. Spatial interactions between storm damage and subsequent infestations by the European spruce bark beetle, *Forest Ecology and Management*, 2014 vol. 318, s. 167-174.

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

THOM, D.; SEIDL, R. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests, *Biological Reviews*, 2016, vol. 91, s. 760–781.

THOM, D.; RAMMER, W.; SEIDL, R. Disturbances catalyze the adaptation of forest ecosystems to changing climate conditions, *Global Change Biology*, 2017, vol. 23 no. 1, s. 269-282.

WICHMANN, L.; RAVN, H.P. The spread of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark, analyse using GIS. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 148, no. 1–3, s. 31–39.

WINTER T.G. Is *Ips typographus* (Linnaeus) (Coleoptera: Scolytidae) a British insect?, *Entomol Gaz*, 1985, 36: s. 153–160.

WERMELINGER, B. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—a review of recent research. *Forest ecology and management*, 2004, vol. 202, vol. 1-3, s. 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, vol. 122, no. 1-5, s. 185-191.

WERMELINGER, B.; SEIFERT, M. Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus*, and analysis of the potential population growth. 1999, *Ecological Entomology*, vol. 24, no. 1, s.103-110.

WORLD HERITAGE CENTRE/IUCN. Report of the joint WHC/IUCN Reactive Monitoring mission to Bialowieza Forest (Belarus/Poland), 24 September to 2 October 2018. UNESCO, 2018 WHC.19/43.COM/, 88 s.

ZAHRADNÍK, P.; *Kůrovci a jejich feromony v ochraně lesa*. Jíloviště-Strnady VÚLHM, 1996, 35 s.

ZAHRADNÍK, P.; GERÁKOVÁ M. Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.). *Lesnická práce*, 2010, no. 12, s. 1-8.

ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK, M. Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.), *Lesnická práce*, 2007, s. 1-8.

ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK, M. Lýkožrouti na smrku a sucho, *Lesnická práce*, 2016, no. 3, s. 1-8.

ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK, M.; KAPITOLA, P.: Recapture of marked spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) in pheromone traps in conditions of spruce and oak stand, *Zprávy lesnického výzkumu*, 1993, vol. 38, no. 3, s. 28-34.

ZAHRADNÍKOVÁ, M. Attempt to define morphological parameters enabling sex determination of *Ips typographus* (Linnaeus, 1758)(Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) using PCA and CLU, *Journal of Forest Science*, 2014, vol. 60, no. 10, s. 401-405.

ZAHRADNÍKOVÁ, M.; ZAHRADNÍK P. *Metodická příručka integrované ochrany rostlin pro lesní porosty: Seznam povolených přípravků a dalších prostředků na ochranu lesa*, 2019, 136 s.

ZUMR, V. *Biologie a ekologie lýkožrouta smrkového (Ips typographus) a ochrana proti němu*, Academia, Praha, 1985, 234 s.

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

Internetové odkazy:

<https://www.biolib.cz/cz/formsearch/?action=execute&searcharea=1&string=ips+typographus>

[https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key="c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c4c3cd7"#r1p|so|skudci|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c4c3cd7|popis](https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=)

https://hydro.chmi.cz/hppsoldv/hpps_srzstationdyn.php?day_offset=0&seq=26964114&x=13

https://hydro.chmi.cz/hppsoldv/hpps_srzstationdyn.php?day_offset=4&seq=10052388&x=13