

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Oddělení výzkumu rizik pro lesy



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Stanovení změn váhy kadaver lýkožrouta smrkového
Ips typographus (L.) v závislosti na teplotě**

Diplomová práce

Bc. Petr Mokrý

Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

Konzultant:

Ing. Daniel Tyšer

2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Petr Mokrý

Lesní inženýrství

Název práce

Stanovení změn váhy kadaver lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.) v závislosti na teplotě

Název anglicky

Determination of the cadavers' weight changes of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) as a function of temperature

Cíle práce

Vážení je jednou z možností, jak stanovit početnost hmyzu. V rámci projektu EXTEMIT-K byl vyvinut lapač na zjišťování početnosti lýkožrouta smrkového se zabudovaným váhovým systémem. Obecným předpokladem pro použití tohoto nového postupu je stabilita hmotnosti jedinců cílového druhu. V případě kůrovců lze předpokládat, že jejich hmotnost bude závislá na obsahu vody, a to zejména v případě jejich úmrtí. Cílem práce je stanovit změnu váhy lýkožrouta vlivem úbytku obsahu vody v těle, při různých konstantních teplotách.

Metodika

Z feromonového lapače bude odebrána skupina minimálně 100 jedinců lýkožrouta smrkového, brouci budou umístěni do plastického boxu a v živém stavu transportováni do laboratoře. V laboratorních podmínkách bude každý jedinec vážen a evidován samostatně v skleněné lahvičce. Vstupními údaji bude čerstvá váha jedince a váha lahvičky (tára). Brouci v lahvičkách budou poté vloženi do sušičky s nastavenou konstantní teplotou a vždy po 12 hodinách bude každý jedinec zvážen. Vážení se bude opakovat, dokud bude docházet ke změně hmotnosti vzorku. Rozdílem suché a čerstvé váhy bude stanoven obsah vody a poměrově pak křivka změn obsahu vody v čase. Stanovení úbytku hmotnosti, resp. obsahu vody, bude realizováno při konstantní teplotě 35°C a 50°C, a to ve třech opakováních. Získaná měření budou statisticky vyhodnocena.

Harmonogram:

srpen až září 2022 – odběry brouků v terénu, vážení, sušení

říjen až listopad 2022 – sumarizace dat, statistické analýzy

listopad 2022 až březen 2023 – vyhotovení práce

Doporučený rozsah práce

50-70 stran

Klíčová slova

kůrovci, ochrana lesa, suchá váha hmyzu, čerstvá váha hmyzu, feromonový lapač

Doporučené zdroje informací

- BEDNARZ, B.; KACPRZYK, M. An Innovative Method for Sex Determination of the European Spruce Bark Beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytinae). *Entomologia Generalis*, 2012, vol. 34, no. 1-2, s. 111-118.
- HLÁSNÝ, T. ZIMOVÁ, S., MERGANIČOVÁ, K., ŠTĚPÁNEK, P., MODLINGER, R., TURČÁNI, M. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management*, 2021, vol. 490, 119075.
- HO, S.H.; FAN, L.; BOON, K.S. Development of a PC-based automatic monitoring system for *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in a rice warehouse. *Journal of Stored Products Research*, 1997, vol. 33, no. 4, s. 277-281.
- KACPRZYK, M.; BEDNARZ, B. The Possibilities of Six-toothed Bark Beetle (*Pityogenes chalcographus* L.) (Coleoptera: Scolytinae) Sex Identification Based on Adults' Biometric Characteristic. *Journal of the Entomological Research Society*, 2015, vol. 17 no. 1, s. 71-82.
- LOBINGER, G. Variations in sex ratio during an outbreak of *Ips typographus* (Col., Scolytidae) in Southern Bavaria. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 1996, vol. 69, s. 51-53.
- 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.
- 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.
- 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, s. 185-191.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

Garantující pracoviště

Excelentní tým pro mitigaci

Konzultant

Ing. Daniel Tyšer

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2024

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2024

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Stanovení změn váhy kadaver lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.) v závislosti na teplotě vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR... ..

V Praze dne: 5. 4. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval všem osobám, které se podílely na vzniku této práce. Zejména panu Ing. Romanu Modlingerovi Ph.D. za vedení této práce a pomoc se statistickým zpracováním dat a také Ing. Danielu Tyšerovi za pravidelné konzultace obsahu a formy a za pomoc s praktickou částí.

Stanovení změn váhy kadaver lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.) v závislosti na teplotě

Souhrn

Stanovení populační hustoty lýkožrouta smrkového (*Ips typographus* L.) je důležité pro plánování ochrany lesa proti tomuto kalamitnímu druhu kůrovce. Kontroly feromonových lapačů jsou pro lesnický personál časově náročné a automatizace je vhodnou možností, jak tento typ opatření zefektivnit. Diplomová práce navazuje na provozní testy autonomního lapače, který pomocí integrované váhy automaticky vyhodnocuje počet odchycených kůrovců. Obecným předpokladem pro použití tohoto nového postupu je stabilita hmotnosti jedinců cílového druhu. V případě kůrovců lze předpokládat, že jejich hmotnost bude závislá na obsahu vody, a to zejména v případě jejich úmrtí. Proto nemůžeme váhové přepočty uskutečnit pouze dle průměrné hmotnosti lýkožrouta smrkového, protože obsah vody v každém z nich je rozdílný. Za účelem zjištění změn hmotností byli z feromonových lapačů odebráni jedinci 1. smrkového. V laboratorních podmínkách byli brouci ve 12 – ti hodinových intervalech váženi a sušeni při konstantní teplotě 50 °C, 30 °C a 20 °C. Opětovné vážení se provádělo až do okamžiku, kdy vzorky nevykazovaly další úbytek hmotnosti. Za pomoci poznatků získaných z měření byla sestavena křivka úbytku hmotnosti, s jejíž pomocí je možné určit hmotnost kadaver různého stáří.

Klíčová slova: kůrovci, ochrana lesa, suchá váha hmyzu, čerstvá váha hmyzu, feromonový lapač

Determination of the cadavers' weight changes of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) as a function of temperature

Summary

"Determining the population density of the spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) is important for forest protection planning against this calamitous species of bark beetle. Monitoring with pheromone traps is time-consuming for forestry personnel, and automation is a suitable option to enhance the efficiency of such measures. The thesis builds upon operational tests of an autonomous trap that automatically evaluates the number of captured bark beetles using an integrated scale. A fundamental assumption for employing this new approach is the stability of the weight of individuals of the target species. In the case of bark beetles, it can be assumed that their weight will depend on the water content, especially in the event of their death. Therefore, weight conversions cannot be made solely based on the average weight of the spruce bark beetle because the water content varies in each individual. To determine weight changes, individuals of *I. typographus* were removed from the pheromone traps. In laboratory conditions, the beetles were weighed and dried at constant temperatures of 50 °C, 30 °C, and 20 °C at 12-hour intervals. Re-weighing was carried out until the samples showed no further weight loss. Using the insights gained from the measurements, a weight loss curve was constructed, which enables the determination of the weight of cadavers of different ages."

Keywords: Bark beetles, forest protection, dry weight of insects, fresh weight of insects, pheromone trap

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Cíl práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Bionomie lýkožrouta smrkového	12
3.1.1 Rozšíření	12
3.1.2 Morfologie	13
3.1.3 Vývojový cyklus	15
3.1.4 Faktory ovlivňující hmotnost	17
3.2 Lesnický význam lýkožrouta smrkového	20
3.2.1 Kalamity lýkožrouta smrkového	20
3.2.2 Legislativa	23
3.3 Metody odhadu populační hustoty lýkožrouta smrkového	25
3.3.1 Lapáková metoda	25
3.3.2 Metoda feromonových lapačů	27
3.4 Změny váhy hmyzu	28
4 Materiál a Metodika.....	29
4.1 Získávání dospělců lýkožrouta smrkového	29
4.2 Laboratorní sušení	29
4.3 Statistické vyhodnocení.....	31
5 Výsledky	32
6 Diskuse.....	36
7 Závěr.....	39
8 Literatura	41

Seznam obrázků

Obr. 1: Rozlišovací znaky lýkožrouta smrkového <i>Ips typographus</i> (NOVÁK et al. 1974)	14
Obr. 2: Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví od roku 1990 s prognózou vývoje (Zpravodaj ochrany lesa, 2023).....	22
Obr. 3: Kalibrované váhy	30
Obr. 4: Sušicí trouba se vzorky.....	30
Obr. 5: Křivky úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového.....	32
Obr. 6: Křivka úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového při 50 °C	33
Obr. 7: Křivka úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového při 30 °C	34
Obr. 8: Křivka úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového při 20 °C	35

Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled teplot vážení a počtu opakování.....	31
---	----

1 Úvod

Evropské lesy, které po staletí přinášely lidem mnoho ekosystémových služeb a ekonomických výhod, jsou stále více ohrožovány změnou klimatu a s tím také narůstající četností a intenzitou disturbančních faktorů, jako jsou např. kalamity kůrovců (PATACCA et al. 2022). K tomuto stavu přispělo i pěstování smrku ztepilého *Picea abies* (L.) H. Karst v místech mimo jeho přirozený areál. Kalamity způsobené lýkožroutem smrkovým jsou dlouhodobým problémem smrkových monokultur, které postupně nahrazují smíšené lesy. Lýkožrout smrkový je považován za jednoho z nejvýznamnějších „škůdců“ smrkových lesů v Eurasii (SKUHRAVÝ 2002).

Ochrana lesa proti kůrovcům, resp. lýkožroutu smrkovému, je realizována pomocí obranných opatření, zpravidla stromových lapáků a feromonových lapačů. Tyto metody mají své výhody a nevýhody, ale obě neúměrně zaměstnávají lesní personál. Automatizace kontrol pomocí speciálních lapačů by představovala významný přínos. V rámci projektu EXTEMIT-K byl zkonstruován automatický lapač, který pomocí váhové metody stanovuje počet zachycených jedinců lýkožrouta smrkového. Hlavní podíl hmotnosti hmyzího těla tvoří voda a je tedy otázkou, nakolik se bude váha brouků a tím i stanovený počet jedinců měnit vzhledem ke ztrátám vlhkosti těla po odumření zachycených brouků.

Toto téma jsem si vybral z důvodu zájmu o ochranu lesa a většího porozumění aktuální situaci ohledně kůrovce a dalších možností ohrožení našich porostů, které mohou přijít s měnícím se klimatem. Zároveň pocházím z Podkrkonoší, kde díky vyšší nadmořské výšce a chladnějšímu podnebí kůrovec zpočátku nenapáchal tolik škod, ale v posledních letech i zde začal působit velké škody. Proto bych rád blíže poznal specifika biologie tohoto kalamitního škůdce a tím mohl přispět k ochraně přírody jak pro moji generaci, tak pro ty budoucí.

2 Cíl práce

Vážení je jednou z možností, jak stanovit početnost zachyceného hmyzu. V rámci projektu EXTEMIT-K byl vyvinut lapač na zjišťování množství lýkožrouta smrkového se zabudovaným váhovým systémem. Cílem práce je stanovit změnu váhy lýkožrouta smrkového vlivem úbytku obsahu vody v těle. Při realizaci tohoto cíle bude určena doba potřebná pro úplné vysušení kadaver ve sledovaných 20; 30; a 50 °C, a vytvořena detailní křivka hmotnostních změn ve sledovaných dvanáctihodinových intervalech.

3 Literární rešerše

3.1 Bionomie lýkožrouta smrkového

Lýkožrout smrkový – *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) je významným škůdcem smrkových porostů v Evropě (SKUHRAVÝ, 2002). V aktuálním taxonomickém pojetí (BIOLIB, 2023) jej řadíme do řádu brouci (*Coleoptera*), čeledi nosatcovití (*Curculionidae*) a podčeledi kůrovcovitých (*Scolytinae*). V České republice se vyskytuje zhruba 110 zástupců podčeledi kůrovcovitých (PFEFFER, 1955). Z toho 6 druhů náleží do rodu *Ips*, ve kterém je *I. typographus* zastoupen (PFEFFER & KNÍŽEK, 1999). Jedná se o hmyz s proměnou dokonalou, který upřednostňuje svůj vývoj na poraněných nebo jinak oslabených stromech (HŮRKA & ČEPICKÁ, 1978; KAUSRUD et al. 2011).

3.1.1 Rozšíření

Areál výskytu *I. smrkového* sahá mimo Evropu i do značné části Asie. Nejzápadnějším bodem výskytu lýkožrouta smrkového jsou Pyreneje na hranicích mezi Španělskem a Francií, na východě sahá až k ostrovu Hokkaidó. Na severu se rozšíření tohoto druhu táhne přes Laponsko a na jihu dosahuje až k severnímu Řecku a Turecku. V Asii tvoří severní hranici jižní oblast arktické tundry mezi 68° a 69° severní šířky, a jižní hranice zahrnuje nejsevernější části Kazachstánu, Mongolska a severní Číny. Výskyt na území České republiky odpovídá rozšíření smrkových porostů a zahrnuje celé území státu. Výskyt lýkožrouta smrkového je zaznamenán rovněž na Kavkaze na borovici lesní – *Pinus sylvestris* (L.). V pobaltských republikách se vyskytuje také na jedli sibiřské – *Abies sibirica* (Ledeb.) a modřínu opadavém – *Larix decidua* (Mill.) (SKUHRAVÝ, 2002).

3.1.2 Morfologie

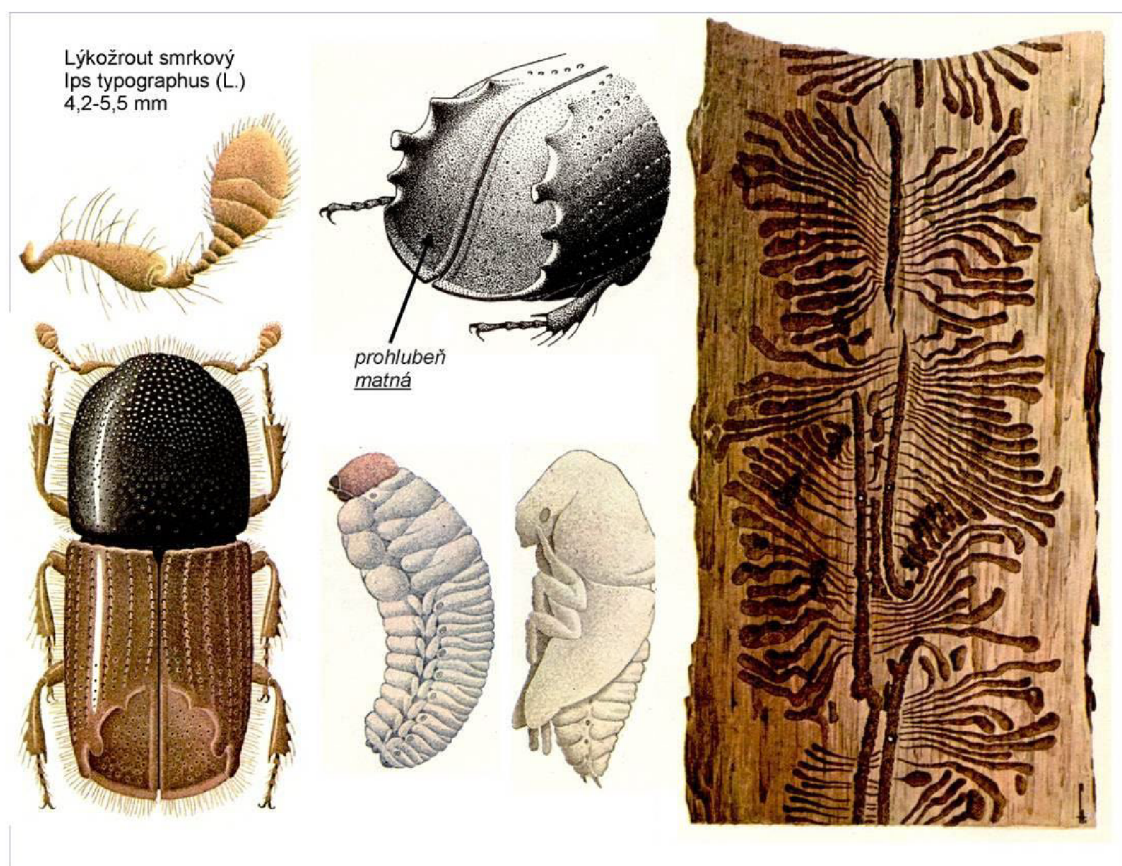
Dospělý brouk je charakteristický válcovitým tělem. Má také poměrně velký štít a kratší, na zadní straně ozubené krovky (PFEFFER, 1955). Brouk dosahuje velikosti mezi 4,2 – 5,5 mm ale mohou se vyskytovat i menší jedinci, např. 3,9 mm dlouzí, jako důsledek menšího množství potravy ve stádiu larvy (SKUHRAVÝ, 2002). Jeho tělo je obvykle široké 1,9 mm (PFEFFER, 1955).

Brouci jsou lesklí, což je vidět při pozorování pod lupou nebo binokulárním mikroskopem. Jelikož je ale většina horní a postranní části těla pokryta velkým množstvím drobných chloupků, tělo vypadá jako matné (SKUHRAVÝ, 2002).

Hlava je kryta podlouhlým a kulovitě zaobleným štítem, který má vpředu výrazné hrbolkování, které v zadní části štítu přechází ve zřetelné tečkování. Tykadla mají na konci poměrně velkou kulovitou paličku s typickými lomenými švy, což je důležitým rozlišovacím znakem od dalších druhů spadajících do rodu *Ips*. Zadní část krovek tvoří 4 páry zoubků, kde třetí pár shora je největší (PFEFFER, 1955). Hustota chloupků je jedním ze způsobů rozlišování pohlaví, přičemž samečci mají na přední části pronota řidší chloupky než samičky. Samice má oproti samcům výraznější hrbolek na horní části hlavy. Dalším rozlišovacím znakem je velikost třetího hrbolku na zadní části krovek, který je u samců větší než u samic (Obr. 1) (SCHLYTER & CEDERHOLM, 1981).

I. typographus je velmi podobný lýkožroutu menšímu – *Ips amitinus* (Eichhoff, 1871), od kterého se liší charakteristickou tykadlovou paličkou a tečkovaným mezirýžím. Dále je 1. smrkový zaměnitelný s lýkožroutem modřínovým – *Ips cembrae*, (Heer, 1836), který se dá rozpoznat tečkovaným mezirýžím a lesklou prohlubní na zadní části krovek (PFEFFER, 1955). Požerek lýkožrouta smrkového vzniká po proniknutí samečka přes kůru do lýka a vyhlodání snubní komůrky. Zde dochází ke kopulaci obvykle s dvěma až třemi samičkami, které následně hlodají matečné chodby (KULA, 2014). Matečné chodby jsou svislé, rovné a nezprohýbané jako u příbuzných druhů kůrovců. Délka chodeb se zmenšuje během přemnožení. Požerek je nejčastěji dvouramenný, ale často jsou nacházeny i tříramenné, kde na jednu stranu vede jediná svislá chodba a na opačnou dvě od sebe oddálené chodby (PFEFFER, 1955).

Samice klade 1–2 vajíčka denně do bočních zářezů chodby v odstupe 1–10 mm. Vajíčko lýkožrouta smrkového je drobné, eliptické, o průměrné velikosti 1 mm a stejně jako larvy je bílé (KULA, 2014). Nově vylíhlá larva je 2 mm dlouhá, beznohá, bílá. Pouze hlava je hnědě chitinisovaná. Kukla je také bílá a rýsuje se na ní tykadla, nohy a křídla (SKUHRAVÝ, 2002).



Obr. 1: Rozlišovací znaky lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (NOVÁK et al. 1974)

3.1.3 Vývojový cyklus

Životní cyklus 1. smrkového je vázán na jehličnaté porosty. Primárně kolonizuje porosty smrku ztepilého, nicméně vývoj může výjimečně probíhat i na borovici lesní a na modřínu opadavém (KULA, 2014).

Při nižších populačních hustotách se projevuje jako sekundární škůdce, který kolonizuje zejména poškozené či jinak oslabené stromy (PFEFFER, 1955). Podle HLÁSNÉHO et al. (2019) upřednostňuje smrkové stromy starší šedesáti let s průměrem kmene větším než 20-25 cm. Avšak v epidemické fázi napadá i mladší stromy menších dimenzí (HLÁSNY et al. 2019). V takovéto populační hustotě může napadat i stromy zcela zdravé (ZUMR 1995; SKUHRAVÝ 2002).

Brouci přezimují v půdě nebo pod kůrou stromů (SKUHRAVÝ, 2002). Jejich aktivita započne v momentě, kdy se půda nebo hrabanka zahřeje na 14 °C. Silné rojení nastává při 20 °C, které vrcholí při 29 °C, kdy zároveň teplota v noci neklesá pod 10 °C (PFEFFER, 1955). Lýkožrouti se vyvíjejí v lýku pod kůrou stromů, do kterého jsou přitahováni uvolňovanými těkavými látkami, jako jsou pineny, carén, limonen a kamfén (LINDELÖW et al., 1992). Tyto látky jsou uvolňovány vyvrácenými smrky, které vznikly v důsledku větrné kalamity nebo sněhových polomů (PFEFFER, 1955).

Lýkožrout smrkový je polygamní druh, kdy jeden samec oplodňuje více samiček (SKUHRAVÝ, 2002). Samička klade jedno až dvě vajíčka denně, a se samcem se opakovaně páří. Nejprve vyhlodá ve stěně matečné chodby, která má již určitou délku, zářez. Poté couvá do snubní komůrky, kde se otočí a opět couvá k místu zářezu, do kterého naklade vajíčko a znovu se vrací do snubní komůrky. Zde se opět otočí a vrátí se hlavou napřed až k nově položenému vajíčku, které zakryje zátkou z jemných drtinek (PFEFFER, 1954).

Počet nakladených vajíček závisí na délce matečné chodby, tj. populační hustotě (ANDERBRANT, 1990; MATOUŠEK et al., 2012), počtu sesterských přerojení (PFEFFER, 1954; MARTÍNEK, 1961) či nadmořské výšce (ZUMR, 1995). Nejširší rozmezí (20–100 ks) uvádí PFEFFER (1954). Většina autorů (ZUMR, 1995; WERMELINGER, 2004; MATOUŠEK et al., 2012) však uvádí rozmezí cca 20–80 nakladených vajíček na samici. Z nich se líhnou larvičky, které vytvářejí boční chodby. Larvy se živí lýkem stromu. Třetí instar larvy vytváří kukelní komůrku. Po

kuklení z ní vylézá již dospělý brouk. Na jaře se na stromech vyvíjí první generace lýkožrouta smrkového. Zahrnuje fázi vajíčka, kukly a dospělého hmyzu. Část potomstva zahyne již ve vajíčku, další ve stadiu larvy nebo kukly. Celkový vývoj trvá až deset týdnů. (SKUHRAVÝ, 2002).

Mnoho vlastností prostředí a jejich vzájemné působení může ovlivnit zdraví hostitelských stromů a jejich náchylnost k napadení lýkožroutem smrkovým. V severských oblastech lýkožrout smrkový obecně produkoval jednu generaci za rok, ale v důsledku oteplování klimatu se zvyšuje pravděpodobnost dvou generací ročně (BENTZ et al., 2019; LANGE et al., 2006). Za vhodného počasí ale může stihnout i další generaci navíc (SKUHRAVÝ 2002). Při 20 °C je rojení dostatečně silné a vrcholí při teplotě 29 °C, kde má lýkožrout své tepelné optimum (PFEFFER, 1955).

V níže položených oblastech mezi 400–600 m n. m. mohou dospělci létat již od poloviny dubna, v horských oblastech o pár týdnů později (PFEFFER, 1955). Po dokončení prvního pokolení dochází k letnímu rojení, jehož počátek se liší v závislosti na nadmořské výšce a expozici daného území. Podle ZUMRA (1995) je hranice přibližně v polovině července. Letní rojení je tedy méně intenzivní a rozložené na delší období. Část poletujících brouků ale nezačíná s rozmnožováním, ale hromadně nalétá na okraje odchlíplé kůry na pařezech a na okrajích neoloupaných klád, na čerstvě odříznuté vrcholky, na spodní stranu silnějších, čerstvě odseknutých větví. Zde hlodají svůj úživný žír a pohlavně dospívají. Žír ukončují po 7–14 dnech a nalétají na kmeny, kde se začínají rozmnožovat. Dospělí brouci, kteří dokončili svůj úživný žír již na podzim, zakládají snubní komůrky již po prvním poletování, takže se začínají rozmnožovat o něco dříve než brouci vylíhnutí na jaře toho roku, přesto, že se rojí o něco později (PFEFFER, 1955).

Až do objevení feromonů nebylo možno řešit mnoho problémů z oblasti bionomie, ekologie a etologie kůrovců. Objev feromonů v roce 1960 dal podnět k řešení otázek vztahu v poměru samců a samic, jejich disperzi v lese a ke studiu náletů brouků obou pohlaví na stromy. Pomohl zároveň řešit otázky vzájemných vztahů různých druhů kůrovců a možnosti sledovat vzdálenosti, které mohou přeletět (SKUHRAVÝ, 2002). V porostech při letu se lýkožrout orientuje pomocí terpenů, z nichž nejhlavnější je alfa – pinen. Smrk má ještě další, jako beta – pinen, kamfen, carén (ZUMR, 1995). Uvedený alfa-pinen se uvolňuje z fyziologicky

oslabeného stromu. Jakmile začnou samečci pronikat do kůry a hloubit snubní komůrku dochází také k požívání lýka. Obsažený terpen se přemění na chemické sloučeniny a vyloučí v trusu. Chemické sloučeniny obsažené v trusu působí jako sekundární atraktanty pro samičky. Hromadná invaze na napadený strom je podmíněna hlavně těmito atraktanty (KRAWIELIZKI et al., 1977). Aktivní kůrovcové stromy se vyhledávají podle charakteristických symptomů (smolení, drtinky na kořenových náběžích, závrtové otvory, barevné změny jehličí, oklovávání kůry ptáky), v případě aktivních kůrovcových (stojících) stromů je nejdůležitějším symptomem přítomnost drtinek na kořenových náběžích (MODLINGER et al., 2015).

3.1.4 Faktory ovlivňující hmotnost

Množství vody v těle významně ovlivňuje hmotnost všech živočichů. I přes tu skutečnost, že velké organické molekuly jsou v těle členovců nejtěžší, menší a lehčí molekuly vody tvoří více než 99 % celého organismu. Samotné tělo je tvořeno vodou asi ze 70 %. Poměr vody v těle je velmi variabilní jak mezidruhově (např. rozdílná tloušťka vnější kostry), tak u zástupců stejného druhu (rozdíly ve fyziologickém stavu). Například množství tuku v těle bude zásadně ovlivňovat celkový obsah vody vyjádřený jako procento hmotnosti těla (EDNEY, 1977).

Obsah tuku může vysvětlit některé výkyvy obsahu vody napříč vývojovými stádii. Například u brouka *Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758) mají larvy s přibližně 58 % vody mezi 13,7 až 16,9 % tuku, kukly s 64 % vody mají pouze 7,5 % tuku a dospělci s přibližně 61 % vody disponují 6,3 až 7,2 % tuku (EDNEY, 1977). Pokud tento poměr hmotnosti k obsahu vody vyjádříme bez tuku, larvy by měly mezi 67 a 70 %, kukly 69 % a dospělci 65,1 až 66,5 % vody. Z tohoto důvodu (JACKSON, 1937; BURSELL, 1959) ve své práci na mouchách tse-tse upřednostňovali tukem nezátíženou suchou hmotnost jako základ pro vyjádření obsahu vody.

Hlavním úložištěm vody u členovců je krev, která umožňuje průběžně vyrovnávat úbytek nebo nadbytek vody ve tkáních, např. během transpirace nebo trávení potravy (MELLANBY, 1939; EDNEY, 1968). U většiny hmyzu představuje voda v hemolymfě 20–25 % celkového množství vody v těle. Zbývající část tvoří voda uvnitř buněk (CHAPMAN et al. 2013). NICOLSON & LEADER (1974) zjistili, že

během dehydratace klesá obsah vody v těle až na 50 %. Tyto vodní ztráty jsou téměř zcela kompenzovány krví, jejíž objem může klesnout až na sedminu normální kapacity. V okamžiku, kdy objem hemolymfy klesne k nule, dochází ke smrti. Zbývající část tělních tekutin pochází z metabolismu tuků. Úplným spálením 100 g tuku (kyseliny palmitové) je uvolněno 112 g vody. Oproti tomu 100 g glykogenu uvolní pouze 56 g vody. Ačkoliv se zdá být tuk vhodnějším zdrojem pro uvolňování vody než glykogen, energetické nároky vynaložené na uvolnění jedné kilokalorie z tuku vedou k menšímu zisku vody než při spalování sacharidů. Členovci získávají více vody z oxidace tuku pouze v případě, že spotřebuje více energie, například během letu (CHAPMAN et al. 2013).

U některého hmyzu můžeme nalézt specializované tělesné orgány, které jim umožňují přečkat nepříznivá teplá a suchá období. Jedním z příkladů je Malpighiho trubice, která slouží k vylučování odpadních látek a regulaci vodního obsahu v těle, ale současně může sloužit k uchovávání vody (EDNEY, 1977). Obdobnou zásobní funkci mohou mít u některých druhů členovců i slinné žlázy (LAIRD et al. 1972; HEWITT et al. 1971). Jako poslední můžeme zmínit kutikulu, jejíž obsah vody je relativně nízký a u členovců se liší v rozmezí 13-70 % (RICHARDS, 1951).

Rychlost ztráty tělních tekutin je ovlivněna mnoha faktory: velikostí těla, transpirací, integumentem, nebo exkrecí a osmotickou regulací (EDNEY, 1977).

Velikost těla je klíčovým faktorem, který ovlivňuje výměnu vody a tepla. Čím menší je velikost vnější schránky, tím větší je relativní povrch vzhledem k objemu u živočichů. Například zvíře vážící 1 mg má poměr povrchu k objemu 100krát větší než zvíře vážící 1 kg stejného tvaru (EDNEY, 1977). Pokusy (GUNN & NOTLEY, 1936) v laboratorních podmínkách ukázaly, že hmyz o velikosti švába může během krátkých expozic vydržet vyšší okolní teploty při nízké vlhkosti než v nasyceném vzduchu. Oproti tomu malý hmyz o velikosti potemníka moučného *Tenebrio molitor* (Linnaeus) při expozicích trvajících 24 hodin přežívá na suchém vzduchu pouze při nižších teplotách, protože pak umírá na dehydrataci (MELLANBY, 1932).

Ztráty vody lze jasně rozdělit na její kutikulární a spirakulární složky (LIGHTON et al., 1993; QUINLAN & HADLEY, 1993). Vnější kutikula pomáhá zamezit ztrátám vody. Vývody kožních žláz a pórů se zdají být hlavními cestami,

kterými voda prochází skrz kutikulu, a míra ztráty vody koreluje s počtem kožních žláz spojených s kutikulou. Ztráta vody touto cestou může být hormonálně regulována uzavíráním nebo otevíráním kanálů.

Propustnost kutikuly se výrazně liší v závislosti na teplotě a vlhkosti okolního vzduchu a životnímu stylu konkrétního hmyzu. U mnoha druhů se výpar skrz kutikulu zvyšuje s rostoucí teplotou pouze mírně, dokud nedosáhne určité fyziologické hranice. Nad touto hranicí dochází k prudkému nárůstu ztráty vody. Jednou z příčin může být roztavení vosku na povrchu kutikuly, který snižuje výpar vody (CHAPMAN et al. 2013).

Mimo kutikulu dochází k vodním ztrátám přes permeabilní dýchací průduchy (EDNEY, 1977). Jejich výpar vzrůstá při zvýšené aktivitě hmyzu a dosahuje maxima během letu v důsledku zvýšeného proudění vzduchu. Toto odpařování vody z průduchů současně napomáhá k ochlazení těla. Z toho vyplývá, že poměr vody ztracené skrze dýchání zákonitě stoupá s nárůstem teploty (CHAPMAN et al. 2013). Naopak během odpočinku dokáže hmyz tyto spirákuly uzavírat a výpar vody je redukován (MELLANBY 1934). Dosud všechny studie, které se zabývaly kutikulární a respirační ztrátou vody, dospěly k závěru, že průměrná spirakulární transpirace tvoří obvykle méně než 20 % celkové ztráty (CHOWN, 2002).

Dalším faktorem, který ovlivňuje hmotnost brouků, je doba letu. Vzhledem k tomu, že se lipidy používají jako zdroj energie, jejich množství se s dobou letu snižuje. U samců *Dendroctonus pseudotsugae* (Hopkins, 1905) se obsah tuku během 5 hodin letu snížil z 15 % na 5 % (THOMPSON & BENNET, 1971).

Hmotnost je odlišná i mezi jarní a letní generací. Brouci vylétávající na podzim disponují většími tukovými zásobami než brouci druhé, letní generace (BOTTERWEG, 1983). To může být důsledkem klesající teploty na podzim, která může přimět brouky k ukládání více tuku před zimním spánkem (ANDERBRANT et al. 1985).

Významným faktorem ovlivňujícím hmotnost lýkožroutů je množství zárodků v reprodukčních orgánech. Ze studie BEDNARZ & KACPRZYK (2012), ve které se pokoušeli determinovat pohlaví *I. typographus* na základě rozdílné hmotnosti víme, že významné navýšení hmotnosti je způsobeno právě množstvím

vajíček, kterými samice disponuje. Samice, jejichž těla obsahovala mezi třiceti a padesáti vajíčky, dosahovaly o 42% vyšší hmotnosti oproti samcům v živém stavu. U suchých brouků byl váhový rozdíl mezi pohlavími ještě výraznější (BEDNARZ & KACPRZYK, 2012).

3.2 Lesnický význam lýkožrouta smrkového

3.2.1 Kalamity lýkožrouta smrkového

Během období větrných polomů v letech 1873–1876 se lýkožrout rozšířil především v oblastech smrkových lesů v horách a podhůří. V následujících letech došlo k výraznému poklesu dostupného dřeva, což zapříčinilo vymizení lýkožrouta z nižších nadmořských výšek a vyskytoval se pouze v horských oblastech. (PFEFFER, 1955).

Další velké přemnožení lýkožrouta nastalo během druhé světové války. V letech 1939–1941, kdy byly velké větrné a sněhové polomy, nastaly ideální podmínky pro jeho rozšíření. Protože dříví nebylo odkorňováno nebo jinak zpracováváno, připravily se podmínky pro jeho rozšíření na celém území střední Evropy v obrovském měřítku. Vzhledem k dostatku kvalitní potravy a ideálním podmínkám pro rozmnožování napadal i stojící zdravé stromy, kterým se dříve vyhýbal. Kalamita se šířila i dlouho po tomto období až do roku 1956, i přes často poctivě prováděnou asanaci.

Od šedesátých let se lýkožrout neustále střídavě přemnožuje vždy v závislosti na větrných a sněhových polomech a spolu se škodami, které způsobují imise na porostech. V České republice v první polovině 60. let, kdy padlo v polomech téměř milion kubických metrů dřeva, se lýkožrout opět přemnožil. Vzhledem k množství se dřevo nepodařilo zpracovat včas a lýkožrout napadl dalších 3,5 milionu krychlových metrů dříví, které se zpracovávalo až do roku 1970 (PAŘEZ, 1979).

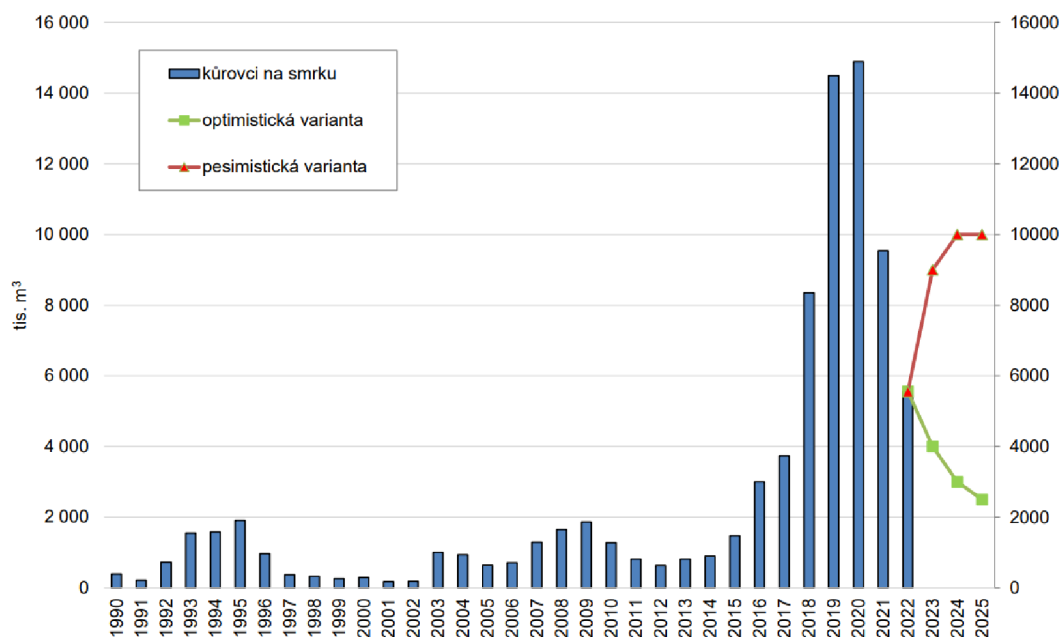
Mimořádné sucho a teplo v Evropě na počátku 80. let minulého století přispělo ke kalamitnímu přemnožení kůrovců (KULA, 2014). SKUHRAVÝ A ŠROT (1988) uvádějí objem zpracovaného dřeva za první polovinu osmdesátých let 4,366

miliónů kubických metrů. Hlavní ohniska se nacházela hlavně v hraničních oblastech s Německem a Polskem a v severovýchodních Čechách. Další rozsáhlá ohniska byla v Jeseníkách a v jižních Čechách. Průběh kalamit v letech 1990–2000 ovlivnily změny vlastnictví lesní půdy, k nimž došlo nedlouho před tím. Dříve tvořily státní lesy většinu všech lesů, po roce 1990 přešla část lesů do vlastnictví obcí a soukromých vlastníků (SKUHRAVÝ, 2002).

Na počátku nového tisíciletí začínala sezona kůrovců již koncem května, o pět let později v polovině května a v posledních letech se objevují brouci ve feromonových lapačích již koncem dubna. Prodloužením vegetační sezony se také zvýšil počet dceřiných generací (DOLEŽAL, 2021).

Nedávné změny klimatu, které zahrnovaly zvýšenou teplotu vzduchu, snížený úhrn srážek a zvýšenou frekvenci období horka a sucha, výrazně přispěly k nárůstu populace l. smrkového. V důsledku toho pozorujeme v posledních desetiletích násobnou mortalitu smrkových porostů v Evropě (MARINI et al. 2017; SEIDL et al. 2014).

V červnu roku 2015–2018 došlo ve většině podhorských a nižších poloh k vyčerpání vody v půdě (intersucho.cz). Nedostatek vody měl zásadní vliv na obranyschopnost dřevin, které se v době rojení nemohly účinně bránit náletu. Snížení vitality stromů umožnilo lýkožroutům úspěšně kolonizovat smrky s výrazně menším počtem jedinců škůdce (MODLINGER & TRGALA, 2019). Tento dlouhodobý stav zapříčinil strmý vzestup populace, která vyvrcholila v roce 2021 téměř 15 mil m³ kůrovcového dříví (Obr. 2). Výraznější pokles kalamity může být vyvolán dvěma nebo více podprůměrnými teplotami a/nebo dostatečnými srážkami, které podporují obranné mechanismy smrku (HLÁSNY et al. 2021).



Obr. 2: Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví od roku 1990 s prognózou vývoje (Zpravodaj ochrany lesa, 2023)

Rozsah kalamity několikanásobně překonal pozorované údaje za poslední dvě století (SENF & SEIDL 2021). Navzdory skutečnosti, že v roce 2022 došlo k výraznému snížení celkového objemu evidovaného smrkového kůrovcového dříví na 5,6 mil. m³, na jeden ha smrkových porostů připadá cca 6,5 m³ kůrovcové hmoty. To představuje více než třicetinásobné překročení hodnoty základního stavu, který činí 0,2 m³ /ha (Zpravodaj ochrany lesa, 2023).

Návrat do předkalamitního období bude i v případě příznivých klimatických podmínek pozvolný, protože přemnožení má jistou setrvačnost a brouci jsou schopni přežít jednotlivé sezóny (WERMELINGER et al. 2004; HLÁSNÝ et al. 2021).

Jiné modelové projekce naznačují, že intenzita napadení lýkožroutem smrkovým se bude v nadcházejících desetiletích i nadále zvyšovat, což způsobí rozsáhlou transformaci lesní krajiny s důsledky pro celý lesnický sektor (ALBRRICH et al. 2020).

3.2.2 Legislativa

Ochrana lesních porostů před lýkožroutem smrkovým je legislativně ukotvena v § 32 zákona č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů („lesní zákon“), v platném znění. Podrobněji je rozvedena v navazující vyhlášce ministerstva zemědělství č. 101/1996 Sb., ve znění její novely č. 76/2018 Sb., a dále v České technické normě ČSN 48 1000 Ochrana lesa proti kůrovcům na smrku, vydané roku 2005. Z uvedených předpisů vyplývá povinnost věnovat lýkožroutu smrkovému patřičnou pozornost ve všech lesních porostech s významnějším zastoupením smrku, tedy i v ochranných pásmech ZCHÚ. Při stanovení způsobu kontroly a množství kontrolních opatření se vychází z kalamitního základu, tedy objemu kůrovcového dříví, které bylo zpracováno mezi 1. 8. – 31.3 předchozího roku. Pojmem kůrovcové dříví se označují ležící stromy napadené lýkožroutem, ve kterých se dosud nachází lýkožrout v kterémkoli stádiu vývoje, nebo je jím čerstvě opuštěno. Populační stav zmíněných hmyzích škůdců dělí vyhláška č. 76/2018 Sb. na základní, zvýšený a kalamitní.

Stav základní je takový početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru nedosáhl 1 m^3 na 5 ha smrkových porostů, a nedošlo k vytvoření ohnisek výskytu lýkožrouta.

Zvýšený stav je takový početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru dosáhl nebo překročil 1 m^3 na 5 ha, ale nedosáhl 5 m^3 na 5 ha smrkových porostů, a došlo k vytvoření ohnisek výskytu lýkožrouta. Tento stav upozorňuje na možnost kalamitního přemnožení lýkožrouta.

Kalamitní stav je takový stav, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru dosáhl nebo překročil 5 m^3 na 5 ha smrkových porostů, a který způsobuje rozsáhlá poškození lesních porostů na stěnách nebo vznik ohnisek uvnitř lesních porostů až plošné napadení lesních porostů.

Při základním stavu se početnost lýkožroutů kontroluje pomocí odchyťových zařízení – lapáků nebo lapačů. Ve všech porostech starších 60 let se zastoupením smrku nejméně 20 % se umísťuje minimálně jedno odchyťové zařízení na 5 ha, a to pro jarní i letní rojení. Současně se ve všech porostech zjišťuje výskyt napadených stromů a probíhá jejich včasná asanace. V základním, zvýšeném a kalamitním stavu se mění množství kontrolních opatření v závislosti na kalamitním

základu. Kontrola přebírá obrannou roli ve zvýšeném stavu, zatímco v kalamitním stavu je hlavním účelem odchyťových zařízení obrana.

V základním stavu se kontrola lýkožrouta provádí prostřednictvím odchyťových zařízení, která se umísťují v jarním a letním období, a to minimálně 1 kus na každých 20 ha smrkových porostů. Při zvýšeném stavu se ochrana proti lýkožroutu ve smrkových porostech provádí pomocí odchyťových zařízení. Počet odchyťových zařízení k ochraně pro zachycení jarního rojení lýkožrouta se stanoví podle kalamitního základu a rovná se početně ekvivalentu 1/10 objemu včas zpracovaného kůrovcového dříví. K takto určenému počtu se přidá jedno odchyťové zařízení na každý započatý 1 m³ kůrovcového dříví, které je lýkožroutem nově částečně nebo zcela opuštěno. Současně se provádí aktivní vyhledávání kůrovcových stromů a zabezpečuje jejich včasná a účinná asanace.

Při kalamitním stavu je primárním cílem zajistit aktivní vyhledávání kůrovcových stromů, jejich včasnou a účinnou asanaci v porostu nebo jejich navazující odvoz ke zpracování. Počet odchyťových zařízení je stanoven minimálně na takové množství, které odpovídá množství odchyťových zařízení pro horní hranici zvýšeného stavu.

Pro letní rojení se odvozuje počet odchyťových zařízení podle stupně jejich napadení. Při slabém stupni napadení se odchyťová zařízení přemisťují na vhodnější lokalitu, nebo se již neobnovuje jejich funkčnost (v případě lapáků se nepokládá další série). Při středním stupni napadení zůstává počet odchyťových opatření nezměněn. Silný stupeň napadení vyžaduje přiměřené zvýšení počtu odchyťových zařízení tak, aby byla zajištěna realizovatelnost kontrol a v případě lapáků zejména včasnost jejich asanace. K množství odchyťových zařízení stanovených podle stupně napadení se přidá jedno opatření za každý 1 m³ částečně nebo zcela kůrovcem opuštěný strom (MODLINGER et al. 2015).

Ministerstvo zemědělství přistoupilo k řešení kalamitní situace v lesích v souladu s ustanovením § 51 a zákona č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých předpisů (lesní zákon), v platném znění. V rámci tohoto postupu vydalo opatření obecné povahy, označované jako „OOP“.

Institut opatření obecné povahy ministerstva zemědělství se obvykle týká právního nástroje, kterým ministerstvo zemědělství může upravovat záležitosti

v oblasti zemědělství a souvisejících odvětví. Tato opatření bývají širšího rozsahu a obecnější povahy než konkrétní zákony nebo nařízení. Obsahem OOP jsou mimořádná opatření pozitivního charakteru, která mají za cíl uvolnit pro vlastníky lesů stávající pravidla tak, aby mohli co nejlépe využít omezené pracovní kapacity k efektivnějšímu zasahování proti kůrovci a postupné obnově lesních porostů na kalamitních holinách.

3.3 Metody odhadu populační hustoty lýkožrouta smrkového

3.3.1 Lapáková metoda

Lapák se vytváří z pokáceného a odvětveného stromu, jehož větve se ořežou, aby byla odhalena celá plocha stromu, díky čemuž se pak zvětšuje plocha pro nálet lýkožroutů. Často se ještě pokryje větvemi z důvodu snahy o zpomalení korního vysychání (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK, 2016). Mělo by se jednat o evidovaný, zdravý, úrovnový smrk. Jako lapák je možné využít i vývrát nebo zlom uvedených parametrů (ČSN 48 1000, 2005). Ideální jsou stromy s výčetní tloušťkou 30 cm a více, stromy s tloušťkou pod 20 cm nejsou vhodné, protože lýko je příliš slabé (ZUMR, 1995). HOLUŠA et al. (2017) doporučuje pro zvýšení výkonnosti lapáků používat stromy s velkým průměrem na nezastíněných stanovištích.

Pro zvýšení obsazenosti lapáku se doporučuje vyloučit kontakt se zemí umístěním lapáku na podvalky nebo kmene neodvětvovat (ZUMR, 1995). Prakticky se ale zdá, že mezi odvětvenými a neodvětvenými lapáky významné rozdíly v rychlosti obsazování kůrovcem nejsou. Neodvětvené lapáky bývají obsazeny spíše v podkorunové a středokorunové části, u odvětvených bývá preferována silnější část kmene (KULA & ŠOTOLA, 2017).

Lapáky se umísťují do míst, kde se dříve vyskytoval lýkožrout nebo se předpokládá, že se může vyvinout nová generace. Lapáky by však neměly vytvářet nové kotlíky, ani porušovat zdravé porostní stěny (MARTÍNEK, 1960). Lapáky jarní série jsou umísťovány na okraj porostů (dvě třetiny na výsluní, třetina v polostínu). Tyto zastíněné lapáky vysychají pomaleji a jejich atraktivita dosahuje odpovídající intenzity s odstupem tří týdnů od lapáků na okraji porostu, čímž slouží k zachycení

sesterského pokolení. Lapáky letních sérií se připravují v nižších polohách na dno širších údolí, při úpatí svahů a do okraje porostů tak, aby nebyly vystaveny přímému oslunění (ZUMR, 1995). Případná druhá série lapáků se klade vždy do polostínu (případně bylo doporučeno je nezakrývat (ČSN 48 1000, 2005).

Stupeň napadení u lapáků se posuzuje podle počtu závrťů na 1 dm². Do 0,5 závrťů na dm² se jedná o slabý výskyt, od 0,5 do 1,0 závrťů/dm² je střední výskyt a nad 1,0 závrťů/dm² se jedná o silný výskyt (ČSN 48 1000, 2005).

V určitých případech mohou lapáky způsobovat napadení okolních stojících stromů. Při vyšších koncentracích feromonu mají samci lýkožrouta tendenci přistávat spíše v okolí než v původním místě napadení, čímž rozšiřují zónu napadení (BYERS, 1989). Tato situace se nesmí zaměňovat se stavem, kdy ze zapomenutých lapáků vylétne nová generace lýkožroutů, která může být mnohonásobně početnější, proto je nutné i tyto lapáky včas zpracovat (VANICKÁ et al. 2020). Pozitivní vliv na počty nalétnutých lýkožroutů má pokácení lapáků do sněhu a doba, po kterou celé lapáky ve sněhu leží. Sníh pomáhá zachovávat kvalitu lýka (HOLUŠA et al. 2017) nebo to může být důsledek minoritních složek volatilních látek, které mohou mít neznámý význam pro lýkožrouty z hlediska vhodnosti hostitele (KALINOVÁ et al. 2014).

Kontrola lapáků by měla být v intervalu 7–10 dní (ŠVESTKA et al. 1996). Lýkožrout preferuje části stromů s minimální tloušťkou kůry a lýka 2,5 mm a optimální tloušťkou 5,0 mm (GRUNWALD, 1986). Včasná asanace lapáků je důležitá pro úspěšné používání této metody. Asanace se provádí buď odvozem, mechanickým loupáním, proškrabáváním nebo chemickou asanací (HOLUŠA et al. 2021). Chemická asanace se nedoporučuje z hlediska dopadu na necílové organismy. Používají se pouze schválené přípravky na ochranu rostlin v souladu s podmínkami jejich povolení uvedené v registru přípravků na ochranu rostlin. Používají se zejména syntetické pyrethroidy (ZAHRADNÍK, 2014). Asanace lapáků odvozem je nejjednodušší, ale je nutné ho provádět v období vykladení samic, protože může nastat i sesterské rojení, kdy lýkožrouti opustí strom a po úživném žíru založí požerky nové (WERMELINGER, 2004).

Lapáky jsou poměrně finančně nákladné a časově náročné na přípravu (BAKKE, 1989). Zachycují i druhy, které nereagují na feromonové lapače. Je zároveň nutné dbát na jejich kvalitní asanaci (KAUSRUD et al. 2012).

3.3.2 Metoda feromonových lapačů

Jedná se o umělou, nárazovou lapací past, která pomocí feromonového atraktantu vábí dospělé kůrovce daného druhu. Výhodou je jejich lehká přenosnost, kontrola a opakovatelné použití. Jejich umístění však musí podléhat těmto zásadám: Vzdálenost od nejbližšího stojícího smrkového stromu je minimálně od 10 m. Maximální vzdálenost není stanovena, pro optimální účinnost pasti se nedoporučuje vzdálenost více jak 25 m. Během celého období odchytu nesmí být past zakryta vegetací. Účinná výška umístění lapače je doporučena okolo 1,5 m. Množství lapačů se stanovuje v závislosti letního nebo jarního rojení. Kontrola by se měla provádět pravidelně každých 7–10 dní v závislosti na výši odchytu (KUROVCOVEINFO.CZ).

Lapače se umísťují v porostech, nejpozději 14 dnů před předpokládaným rojením. Návnady se do nich umísťují těsně před začátkem rojení. Kontrola se provádí v kratších nebo stejných intervalech jako u lapáků, od začátku do ukončení rojení. Zjišťuje se celkový stav lapačů i stav návnady. Lapače se zároveň evidují. Zaznamenává se datum a místo postavení, datum vyvěšení feromonové návnady a data pravidelných kontrol. Stupeň výskytu se určuje podle odchycených lýkožroutů. Pokud je v jednom lapači méně než 1000 lýkožroutů, jedná se o slabý výskyt, pokud jich je zachyceno 1000–4000, jde o střední výskyt, nad 4000 zachycených jedinců značí silný výskyt. Feromonové lapače lze využít také k přímému hubení lýkožroutů (ZUMR, 1995).

3.4 Změny váhy hmyzu

V entomologii jsou za účelem sušení hmyzu využívány dvě nejběžnější techniky. Jedná se o techniku sušení za využití horkého vzduchu a techniku sušení mrazem, známou také pod pojmem „lyophilizace“ (KRÖNCKE et al. 2019; BEZANSON & FLOATE, 2020). Lyophilizace je proces dehydratace, při kterém je objekt zamražen (-50 °C) a vystaven sníženému tlaku zapříčiněnému odsáváním vzduchu v mrazící komoře. Tento proces zmrazování vytváří ledové krystaly ve vzorcích. Led v objektu je následně vypařován desublimací (FOMBONG et al. 2017). K sušení vzorků horkým vzduchem se využívá specializovaných pecí nebo sušiček s aktivní cirkulací horkého vzduchu s rozpětím teplot obvykle mezi 20–60 °C. Nevýhodou sušení je smršťování vzorků a porušení buněčné struktury (ULLAH et al. 2021). Lyophilizační metoda ukázala ve studii (BEZANSON & FLOATE, 2020) nižší úbytek hmotnosti (28,49 %) v porovnání s klasickým sušením v sušičce (22,85 %). Výhodou této metody je zejména rychlejší doba sušení a nižší degradace vzorku (deformace, scvrkávání a degradace nutričních hodnot).

Ve studii autorů (ULLAH et al. 2021) byli sušeni brouci druhu *Dendroctonus ponderosae* nejen v sušárně za pomoci vyšších teplot, ale také pomocí lyophilizace při teplotách – 50 °C. Brouci byli nejdříve na 24 hodin umístěni do chladicího zařízení při teplotě – 80 °C a následně rozděleni do 16 skupin po 5 vzorcích. Tyto skupiny byly rozděleny na polovinu a každá z nich podstoupila dvě různá sušení. Jedna byla umístěna do sušící pece při teplotě 50 °C a druhá do lyofilizačního zařízení při teplotě – 50 °C na 48 hodin. Poté došlo k rozdělení každé skupiny opět na polovinu s tím, že polovina zůstávala ve stávajícím sušícím zařízení a druhá byla přemístěna do opačného sušícího zařízení. Výsledky ukázaly, že při sušení pouze lyofilizací byla hmotnost brouků o 6 % nižší než při sušení pouze v sušárně za stejné časové období. Kombinací obou metod sušení se dosáhlo o 2,66 % vyšší hmotnosti brouků oproti využití lyofilizace a sušárny samostatně.

4 Materiál a Metodika

4.1 Získávání dospělců lýkožrouta smrkového

Materiál pro provedení pokusů – živí jedinci lýkožrouta smrkového – byl získáván z feromonových lapačů umístěných v lesních porostech Lesů ČZU se sídlem v Kostelci nad Černými lesy. Lapače byly vždy před odběrem vyčištěny, aby se minimalizovala šance na odebrání brouků již vystavených působení vyšších teplot. Odběry brouků se uskutečňovaly průběžně, vždy před započítím nové série laboratorních pokusů. K získání dostatečného počtu vitálních jedinců bylo k odběru využíváno více lapačů. Aby se zabránilo vysychání, brouci byli do laboratoře převáženi v plastových kontejnerech s vlhčenými ubrousky nebo s kouskem smrkové kůry.

4.2 Laboratorní sušení

K pokusu bylo vybráno 200 vitálních jedinců, kteří byli následně umístěni jednotlivě do samostatně evidovaných skleněných lahviček. Zaznamenána byla samostatná váha lahvičky a váha lahvičky s broukem s přesností na 0,1 mg, k vážení byly použity analytické váhy KERN (Obr. 3). Lahvičky s lýkožrouty byly rozděleny do dvou skupin po 100 ks a sušeny v sušárně Incucell 222, při konstantní teplotě 20 °C, 30 °C a 50 °C (Obr. 4). Změna hmotnosti vzorku byla zjišťována vždy po 12 hodinách a opětovně vážení se provádělo až do okamžiku, kdy vzorky nevykazovaly další úbytek hmotnosti. Jedinci sušení při teplotě 50 °C vyžadovali pro dosažení konstantní hmotnosti 48–60 hodin. Při 30 °C bylo zapotřebí 120 hodin sušení a při 20 °C přes 300 hodin sušení. Celkem bylo provedeno 11 sušení.



Obr. 3: Kalibrované váhy



Obr. 4: Sušící trouba se vzorky

Tab. 1: Přehled teplot vážení a počtu opakování

teplota	opakování	datum	doba vážení	počet brouků
20	10	12-24.9.	288	198
	11	5-18.10.	288	200
30	3	15-20.8.	132	200
	4	7-13.9	132	200
	8	21-26.8.	132	200
	9	27-2.9.	132	200
50	1	21-23.7.	48	200
	2	9-11.8.	48	200
	5	8-10.8.	48	200
	6	11-13.8.	48	198
	7	15-17.8.	48	200

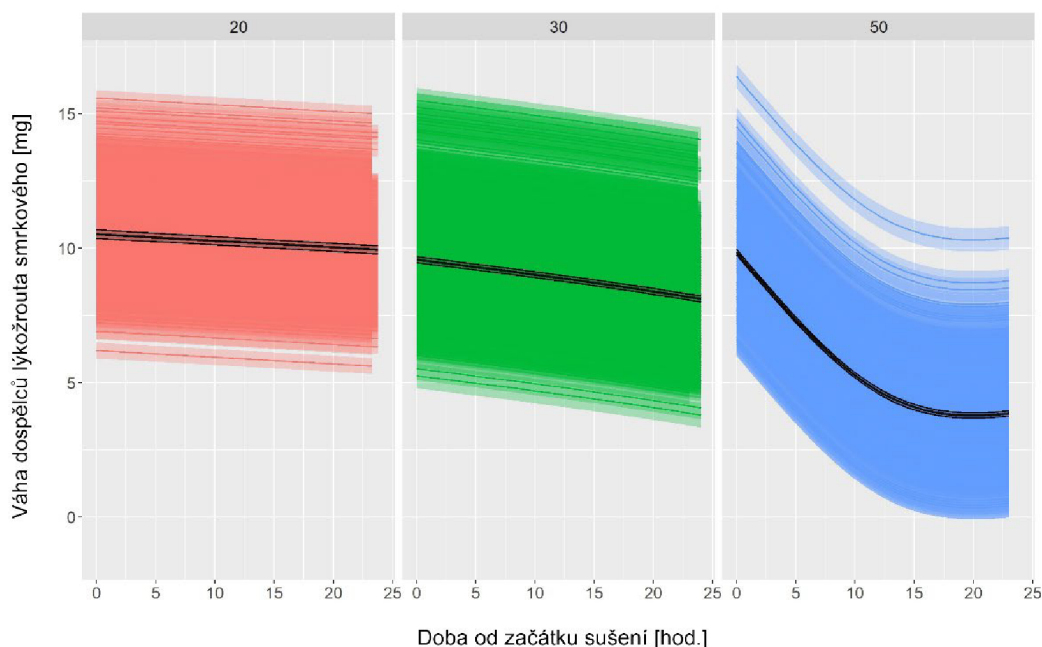
4.3 Statistické vyhodnocení

Získaný soubor dat obsahoval opakované zjištění hmotnosti u 2 196 jedinců, při třech teplotách. Pro každou teplotu byl proveden jiný počet měření, a každá ze sad měření měla odlišnou dobu, po kterou vážení probíhalo (Tab. 1). Ze statistického hlediska se tedy jednalo o sérii časových řad změn hmotnosti pro jednotlivého brouka (random effect) realizovaný při třech různých teplotách (nested factor). K vyhodnocení těchto složitých dat byl použit hierarchický generalizovaný aditivní mix-effect model (GAMM), podle postupů uvedených v ZUUR et al. (2009). V modelu se všemi proměnnými byla závisle proměnnou hmotnost (*Weight*) a nezávisle proměnnými byla teplota zadaná jako faktor (*fTemp*), pro počet hodin od začátku sušení (*nHours*) byla zvolena funkce spline metodou kubické regrese, spline funkce pro každého jedince (*fIDBrouk*) byla zadána jako náhodný efekt. Generalizovaný aditivní model byl odhadnut metodou REML. Kvalita modelu byla posouzena dle ZUUR et al. (2010) pomocí grafu reziduí proti fitovaným hodnotám a model s nejlepším proložením byl vybrán podle Akaikeho informačního kritéria (AIC). V rámci tohoto souhrnného modelu byla doba od počátku sušení omezena na 24 hodin.

Statistické vyhodnocení bylo provedeno v prostředí R verze 4.1.3. (R Core Team, 2022), ke konstrukci modelu byl použit balíček *mgcv* (WOOD, 2011).

5 Výsledky

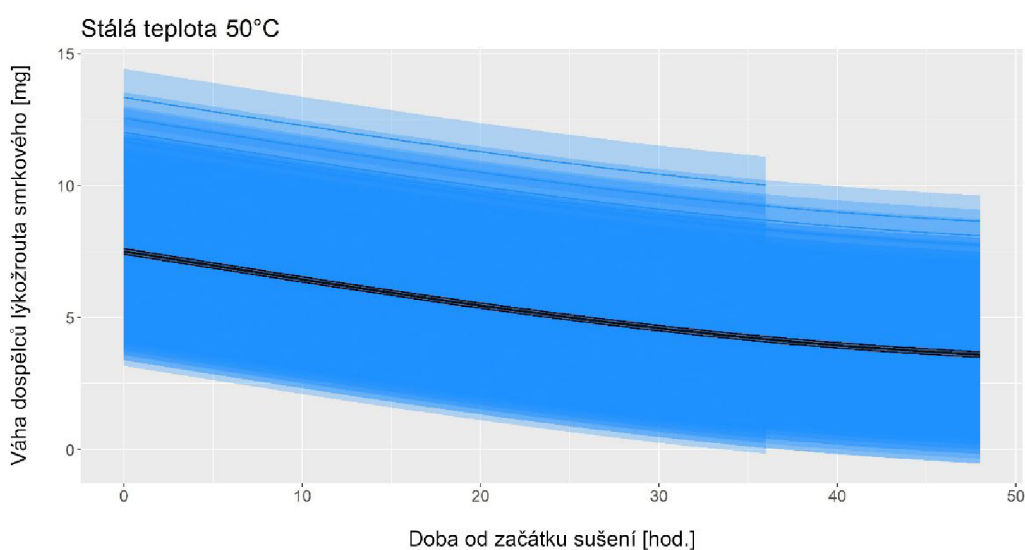
Úbytek hmotnosti lýkožroutů sušených při různé teplotě měl odlišný průběh. Průměrná hmotnost lýkožroutů na počátku vážení byla 10 mg. Při teplotě 20 °C došlo po 24 hodinách k úbytku pouze na 94% původní váhy, u teploty 30 °C na 85 % a při 50 °C poklesla hmotnost na 43 % původní váhy. Rozdíly mezi poklesem hmotnosti u porovnávaných teplot byly statisticky významné (GAMM: $df=2$; $p < 0,001$). Výsledný statistický model hodnotil spline funkci pro dobu od počátku sušení (GAMM: $df=1$, $p < 0,001$) i random effect jedince lýkožrouta (GAMM: $df=2193$, $p < 0,001$) jako vhodný, a jeho nepoužití by přineslo signifikantně horší výsledky. Vhodnost zařazení random effect jedince do modelu podporuje i vysoká intraclass korelace (ICC), tedy korelace mezi měřením stejného jedince, která dosahovala 62 %. Modelem vysvětlená variabilita byla rovněž velmi vysoká (koeficient determinace $R^2=0,823$).



Obr. 5: Křivky úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového při 20 °C, 30 °C a 50 °C za 24 hodin

Obrázek č. 5 znázorňuje křivky úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového při 20 °C, 30 °C a 50 °C za 24 hodin. Černá linie vyjadřuje střední úbytek hmotnosti a šedá plocha jeho 95 % interval spolehlivosti (CI). V pozadí středních křivek jsou individuální křivky úbytku hmotnosti brouka barevně odlišené podle teploty sušení (20 °C červená; 30 °C zelená, 50 °C modrá), kde plná linie vyjadřuje modelem predikovanou hodnotu a průhledný barevný pás 95 % CI. Díky vysokému počtu měření (20 °C n=398; 30 °C n=800, 50 °C n=998) IC splývají a modelem predikované hodnoty tvoří celistvé pozadí, pouze při okrajových měřeních jsou viditelné úplné křivky s CE.

Sušení při teplotě 50 °C proběhlo v pěti opakováních a bylo velmi rychlé. Počáteční průměrná váha byla $9,95 \pm 2,18$ mg, při první kontrole po 12 hodinách došlo z poklesu na $4,36 \pm 1,24$ mg, což reprezentuje 44% původní váhy. V dalších kontrolách byl pokles hmotnosti minimální, po 24 hod. 43 % a po 36 hod. 42 % původní váhy. Po 48 hodinách se hmotnost brouků nezměnila, a proto bylo další sušení ukončeno.



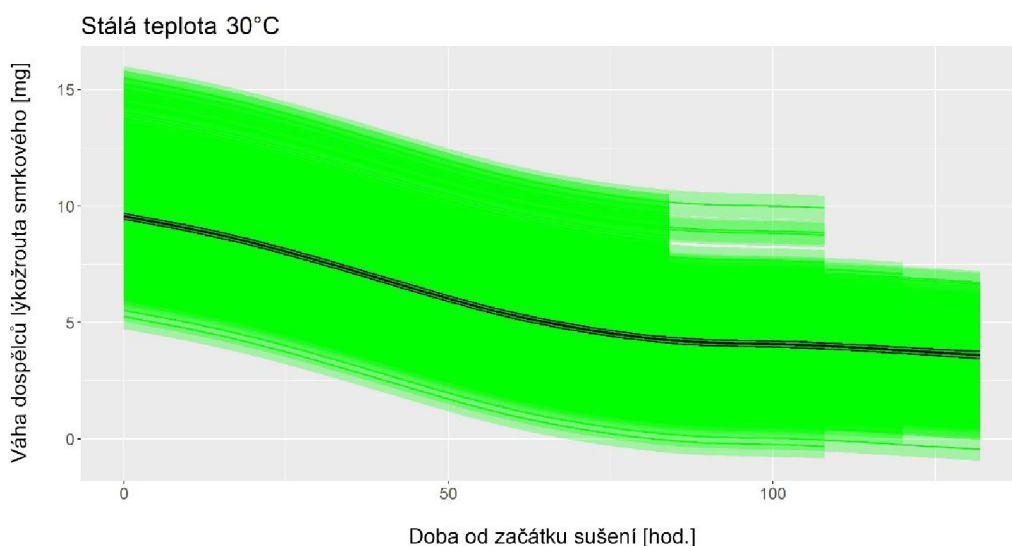
Obr. 6: Křivka úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového při 50 °C

Na obrázku č. 6 je patrný průběh změn hmotnosti, křivka váhy průměrného jedince za 48 hodin nepůsobí tak strmě jako v případě obrázku 5, přestože se jedná pouze o zobrazení dat ze souhrnného modelu.

Černá linie vyjadřuje střední úbytek hmotnosti a šedá plocha jeho 95 % interval spolehlivosti (CI). V pozadí střední křivky jsou individuální křivky úbytku

hmotnosti brouka, kde plná linie vyjadřuje modelem predikovanou hodnotu a průhledný barevný pás 95 % CI. Díky vysokému počtu měření ($n=998$) IC splývají a modelem predikované hodnoty tvoří celistvé pozadí, pouze při okrajových měřeních jsou viditelné úplné křivky s CI.

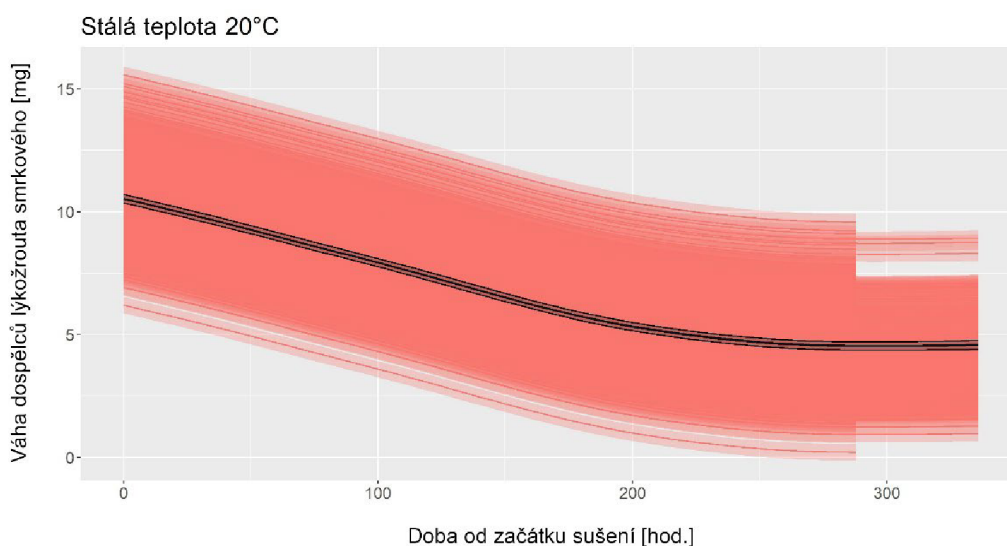
Sušení za teploty 30 °C bylo 4krát zopakováno, průměrná počáteční hmotnost brouků byla $9,55 \pm 2,07$ mg. Úbytek hmotnosti byl relativně pozvolný, při první kontrole po 12 hodinách došlo k průměrnému poklesu na $8,93 \pm 2$ mg, což představuje pouze 85 % původní hmotnosti jedince. K poklesu na 44 % původní hmotnosti (stejně jako po 12 v případě sušení při 50 °C) došlo až po 84 hodinách. Stabilizace váhy u sušených jedinců byla zaznamenána při 11 kontrole, tedy po 132 hodinách. Relativně rychlejší byl pokles hmotnosti do 8 kontroly (96 hodin), poté docházelo k úbytku váhy jen pozvolna (Obr. 7).



Obr. 7: Křivka úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového při 30 °C

Obrázek č. 7 zobrazuje křivku úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového při teplotě 30 °C. Černá linie vyjadřuje střední úbytek hmotnosti a šedá plocha jeho 95 % interval spolehlivosti (CI). V pozadí střední křivky jsou individuální křivky úbytku hmotnosti brouka, kde plná linie vyjadřuje modelem predikovanou hodnotu a průhledný barevný pás 95 % CI. Díky vysokému počtu měření ($n=800$) IC splývají a modelem predikované hodnoty tvoří celistvé pozadí, pouze při okrajových měřeních jsou viditelné úplné křivky s CI.

K poklesu váhy při stabilní teplotě 20 °C docházelo jen pozvolna, hmotnost jedinců se přestala měnit až po 336 hodinách, což reprezentovalo 28 kontrol, tedy plných 14 dní měření. Z toho důvodu byla provedena pouze dvě opakování. Počáteční průměrná hmotnost jedinců byla $10,51 \pm 1,87$ mg. Po prvních 12 hodinách sušení došlo ke změně jen o 2 % původní váhy. Po 84 hodinách, při kterých bylo u varianty 30 °C dosaženo 44 % počáteční váhy, byla u varianty 20 °C změna hmotnosti pouze 20 % (80 % původní váhy). K dosažení 44 % původní hmotnosti došlo až po 252 hodinách. Na obrázku č. 8 je vidět křivka poklesu hmotnosti, která je velmi pozvolná, a ještě snižuje sklon zhruba po 200 hodinách.



Obr. 8: Křivka úbytku hmotnosti lýkožrouta smrkového při 20 °C

Na obrázku č. 8 je vidět křivka poklesu hmotnosti, která je velmi pozvolná, a ještě snižuje sklon zhruba po 200 hodinách. Černá linie vyjadřuje střední úbytek hmotnosti a šedá plocha jeho 95 % interval spolehlivosti (CI). V pozadí střední křivky jsou individuální křivky úbytku hmotnosti brouka, kde plná linie vyjadřuje modelem predikovanou hodnotu a průhledný barevný pás 95 % CI. Díky vysokému počtu měření ($n=398$) IC splývají a modelem predikované hodnoty tvoří celistvé pozadí, pouze při okrajových měřeních jsou viditelné úplné křivky s CI.

6 Diskuse

Kůrovci jsou významnými rušivými činiteli, kteří ovlivňují strukturu a fungování lesních ekosystémů (VINDSTAD et al. 2019). Intenzita poškozování lesů l. smrkovým v posledních letech mimořádně vzrostla (FORZIERI et al. 2021). Jedním z důvodů jsou změny klimatu, které vytvářejí podmínky, které podporují přežití a vývoj kůrovce, což může vést k vytvoření více generací za rok. Díky změnám klimatu se může kůrovec šířit do vyšších nadmořských výšek a zeměpisných šířek, čímž se zvětšuje jeho areál rozšíření. Klimatické změny také zvyšují pravděpodobnost výskytu regionálních klimatických extrémů, jako jsou sucha, která oslabují obranyschopnost stromů. Tyto změny v zásadě usnadňují napadení a usmrcení stromů další generací kůrovce v pozdějším létě, kdy stromy mohou mít vyčerpané obranné mechanismy (HLÁSNY, 2019).

Teploty použité během sušení byly vybrány s ohledem na rozsah teplot, kterým může být brouk vystaven. Např. teplota 20 °C může reprezentovat jarní období, 30 °C bývá typické pro letní teploty a 50 °C simuluje teplotní extrémy, kterým je odchycený hmyz vystaven ve feromonových lapačích typu theysohn, běžně užívaných v lesnické praxi pro hodnocení populačního stavu škůdce.

Na základě provedených měření bylo dosaženo několika klíčových závěrů týkajících se stanovení změn váhy lýkožrouta smrkového v závislosti na teplotě a souvisejících faktorů. Výsledky naznačují, že úbytek hmotnosti lýkožroutů sušených při různé teplotě měl odlišný průběh. Při procesu sušení za teploty 20 °C došlo po 24 hodinách ke snížení hmotnosti na 94 % té původní. Ztráta vody při této teplotě je pravděpodobně zapříčiněna obvyklým vypařováním vody skrze kutikulu a současně je ovlivněna danou vzdušnou vlhkostí (EDNEY, 1977). Při procesu sušení za teploty 30 °C klesla hmotnost během 24 hodin na 85 % původní hmotnosti těla. Tato ztráta vody může být zapříčiněna otevíráním spirákul, které pomáhají zvýšeným výparem ochlazovat tělo. K podobným závěrům došel i CHAPMAN et al. (2013), dle kterého poměr vody vyloučené skrze dýchání zákonitě stoupá s nárůstem teploty. Během sušení při 50 °C byl pokles hmotnosti nejstrmější a po 24 hodinách sušení klesla hmotnost na 43 % té původní. K dosažení suché, konstantní hmotnosti bylo zapotřebí celkem 48 hodin sušení při 50 °C, 132 hodin při 30 °C a

přes 252 hodin při 20 °C. Zároveň bylo pozorováno, že jedincům sušeným při 20 °C nepatrně vzrostla hmotnost. Pravděpodobnou příčinou se zdá být zpětná absorpce vzdušné vlhkosti do vysušeného kadaveru.

Průměrná váha živých I. smrkových byla stanovena na 10 mg. Po dokončení cyklu sušení tvořila suchá váha I. smrkového v průměru 0,4 mg. Během prováděného měření se při sestavení hmotnostní křivky počítalo s průměrnou váhou všech jedinců. Pokud by se mezi odchycenými jedinci vyskytoval významnější podíl samců, průměrná váha jedinců by byla nižší. Toto tvrzení je v souladu s LOBINGEREM (1996), který prokázal změnu v poměru pohlaví v průběhu gradace. Se zvýšenou gradací se zvyšuje poměr samic (LOBINGER, 1996).

Ve své práci BOTTERWEG, (1983) uvedl průměrnou suchou váhu I. smrkového, která po 12 hodinách sušení při 50 °C byla stanovena na 4,61 mg. To je v souladu se zjištěnými hodnotami během sušení za stejné teploty v této diplomové práci, kdy po 12 hodinách byla hmotnost I. smrkového $4,36 \pm 1,24$ mg. V práci BOTTERWEG (1983) byl zkoumán obsah tuhu v lýkožroutu smrkovém. Broukům byly odebrány krovky, které byly sušeny zvlášť a následně váženy a byla porovnávána metoda fotometrie na zjišťování obsahu tuku v těle lýkožrouta, bez nutnosti přímě extrakce. Vystavení takto vysoké teplotě může způsobit roztavení vosku na povrchu kutikuly. Vzhledem k tomu, že většina vody obsažená v těle uniká skrze kutikulu (CHOWN, 2002), může toto poškození výrazně snížit schopnost zadržovat vodu.

Zjištěné časové intervaly potřebné k dosažení konstantní hmotnosti společně s údaji o hmotnostních změnách byly klíčovými podklady pro tvorbu hmotnostních křivek. Výsledky dále ukázaly, že křivka úbytku hmotnosti pro teploty 50, 30 a 20 °C byla rozdílná, to naznačuje, že teplota nad určitým prahem má vliv na rychlost sušení I. smrkových. To odpovídá tvrzení CHAPMAN et al. (2013), že se výpar pouze pozvolna navyšuje při vzrůstající teplotě, dokud nepřekročí určitou fyziologickou hranici. Po překročení této mezní teploty je rychlost výparu prudce zvýšena.

Dalším zajímavým zjištěním byl rychlý pokles hmotnosti lýkožrouta v prvních 12 hodinách měření. Bylo pozorováno, že počáteční váha živého dospělého lýkožrouta smrkového (0,01 g) se při teplotě sušení 50 °C během prvních 12 hodin

rychle snižovala, zhruba na polovinu původní hmotnosti. Váha kadaveru se během této teploty ustálila až po 48 hodinách sušení. Při teplotě 30 °C a 20 °C se počáteční hmotnost v prvních dvanácti hodinách snižovala pomaleji.

Naproti tomu ve studii autorů (HO & BOON, 1995), která se zabývala stanovením početnosti brouků druhu *Tribolium castaneum* dle váhy odchycených jedinců, nevykazovali odchycení brouci při teplotě 26 °C žádné změny hmotnosti.

Ve studii autorů (ULLAH et al. 2021) byli sušení brouci druhu *Dendroctonus ponderosae* nejen v sušárně při teplotě 50 °C, ale také pomocí lyofilizace při teplotách – 50 °C. Výsledky ukázaly, že při sušení pouze lyofilizací byla hmotnost brouků o 6 % nižší než při sušení pouze v sušárně za stejné časové období. V případě kombinace sušení, kdy jsou brouci nejprve sušeni v sušárně a následně lyofilizováni, byla hmotnost o 2,66 % nižší než u jiných kombinovaných metod sušení. Opačnou kombinací sušení byl rozdíl hmotnosti brouků mezi počátečním stavem a po úpravě hmotnosti nejnižší. Lze z toho usuzovat, že sušení pomocí lyofilizace je časově efektivnější. V této studii ale nebylo dosaženo úplného suchého stavu vzorků.

Dalších studií, které se zabývaly obdobnou problematikou stanovení změny váhy kadaveru v závislosti na teplotě, je nepatrné množství. Jednou z prací, která si vytyčila za cíl odhad počtu jedinců z celkové hmotnosti odchyty, byla např. studie BEZANSON & FLOATE (2020), která se zaměřovala na druh *Chilothorax distinctus* (Müller, 1776). V této studii byla použita metoda odhadu početnosti dle čerstvé hmotnosti a hmotnosti sušených brouků na vzduchu i v sušičce. V této studii byl ovšem jiný výchozí stav vážených jedinců. Čerstvá hmotnost brouků byla ve studii BEZANSON & FLOATE (2020) stanovena ne z živých jedinců, ale z brouků zakonzervovaných v lihu. Brouci byli sušeni pouze 24 hodin při teplotě 57 stupňů, než se jejich váha stabilizovala při přesnosti měření na 0,1 mg pomocí A&D ER-182A. Poloviční doba měření byla pravděpodobně způsobena vyšší teplotou a rozdílným druhem sušeného hmyzu v porovnání s výsledky dosaženými v této práci. Skladování *Chilothorax distinctus* v lihu je pravděpodobně důvod, proč se váha zde měřených l. smrkových ustálila až o 24 hodin později. Po prvních 12 hodinách sušení klesla váha *Ips typographus* zhruba polovinu a poté se snižovala jen pozvolna.

7 Závěr

Lýkožrout smrkový je považován za jednoho z nejzávažnějších škůdců ve střední Evropě, ale má významný ekonomický dopad i v dalších evropských zemích. I když o něm byly po více jak dvou stoletích výzkumu získány podrobné informace, zůstává stále v centru pozornosti lesnické praxe. V současné době je vyvíjena snaha o inovování obranných opatření proti tomuto škůdci. Jedním z těchto pokusů bylo vytvoření prototypu autonomního váhového lapače, který by umožnil přepočítání váhy ze sběrného kontejneru na skutečný počet l. smrkových. K tomuto účelu bylo potřeba stanovit úbytek váhy lýkožrouta smrkového vlivem ztráty hmotnosti vlivem vnějšího prostředí. Vzhledem ke skutečnosti, že hmotnost l. smrkových je významně závislá i na obsahu vody v těle, která se postupem času mění, není možné provést přepočítání pouze z průměrné váhy l. smrkového.

Cílem diplomové práce bylo stanovit změnu váhy lýkožrouta smrkového vlivem úbytku obsahu vody v těle při teplotě 20, 30 a 50 °C. Při realizaci tohoto cíle byla určena doba potřebná pro úplné vysušení kadaveru ve sledovaných 20 °C, 30 °C a 50 °C a byla vytvořena detailní křivka hmotnostních změn ve sledovaných dvanáctihodinových intervalech. Konečným výstupem bylo vytvoření aditivního modelu pro korekci hmotnostních změn, který lze aplikovat pro přesnější přepočítání hmotnosti odchycených l. smrkových na počet jedinců. Současně je možné tuto křivku aplikovat i na kůrovce obdobné velikosti.

V laboratoři bylo vybráno vždy 200 nejaktivnějších jedinců. Brouci byli váženi v samostatných lahvičkách a následně sušeni, dokud se jejich hmotnost nepřestala snižovat.

Bylo vyzorováno, že váha lýkožrouta se při teplotě 50 °C snížila o cca 56% původní hmotnosti během prvních 12 hodin, v následujících hodinách byl pokles hmotnosti pozvolný. Za zcela vyschlý bylo možno kadaver označit po 48 hodinách.

Po vyhodnocení křivek hmotnostních změn lýkožroutů smrkových při teplotách 20 °C, 30 °C a 50 °C bylo prokázáno, že doba sušení kadaveru těchto brouků je závislá na teplotě prostředí. Zároveň bylo zjištěno, že křivka úbytku

hmotnosti pro teploty 30 °C a 50 °C byla rozdílná, což naznačilo, že teplota nad určitým prahem má vliv na rychlost vysychání lýkožrouta.

Poznatky získané z tohoto měření byly použity pro zjištění odchylek měření prvního prototypu autonomního lapače. Data získaná v průběhu sušení dále pomohla ke korekci novějších typů autonomních lapačů, jejichž zkonstruování bylo plánováno v průběhu roku 2023. Tato diplomová práce je první studií, ve které byl zkoumán úbytek hmotnosti kadaver 1. smrkového v závislosti na teplotě v čase.

Celkově lze konstatovat, že byly poskytnuty nové poznatky o vlivu teploty na změny hmotnosti lýkožroutů smrkových, což má praktické důsledky pro ochranu lesů a management těchto škůdců.

8 Literatura

ALBRRICH, K., RAMMER, W., SEIDL, R. Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests. *Global Change Biology*, 2020, 26.7: 4013-4027.

ANDERBRANT, O., SCHLYTER, F., BIRGERSSON, G. Intraspecific competition affecting parents and offspring in the bark beetle *Ips typographus*. *Oikos*, 1985, 45.1: 89-98.

ANDERBRANT, O. Gallery construction and oviposition of the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at different breeding densities. *Ecological Entomology*, 1990, 15.1: 1-8.

BAKKE, A. The recent *Ips typographus* outbreak in Norway-experiences from a control program. *Ecography*, 1989, 12.4: 515-519.

BEDNARZ, B., KACPRZYK, M. An Innovate Method for Sex Determination of the European Spruce Bark Beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytinae). *Entomol Gener*, 2012, 34.1-2: 111-118.

BENTZ, B. J., JÖNSSON, A. M., SCHROEDER, M., WEED, A., WILCKE, R. A. I., 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, 2.1: 17.

BEZANSON, G. A., FLOATE, K. D. Use of wet, air-dried, or oven-dried bulk mass to quantify insect numbers: an assessment using *Chilothorax distinctus* (Müller)(Coleoptera: Scarabaeidae). *The Canadian Entomologist*, 2020, 152.2: 261-268.

BOTTERWEG, P. The effect of attack density on size, fat content and emergence of the spruce bark beetle *Ips typographus* L. 1. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 1983, 96.1-5: 47-55.

BURSELL, E.: 1959a. The water balance of tsetse flies. *Transactions of the Royal Entomological Society of London*, 111, 205-235

BYERS, J. A. Chemical ecology of bark beetles. *Experientia*, 1989, 45: 271-283.

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 kůrovčům na smrku ČSN 48 100. Český normalizační institut, 2005.

CHAPMAN R. F., SIMPSON S. J., DOUGLAS A. E. *The Insects: Structure and Function*. Cambridge University Press, 2013 5: 929 s. ISBN 052111389X, 9780521113892

CHOWN, S. L. Respiratory water loss in insects. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2002, 133.3: 791-804.

DOLEŽAL, P. Kůrovcové vzpomínání, *Živa*, 2021, 300-301

EDNEY, E. B. The effect of water loss on the haemolymph of *Arenivaga* sp. and *Periplaneta americana*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1968, 25, 149-158

EDNEY, E. B. *Water Balance in Land Arthropods*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1977, 9: 2-72 s.

FOMBONG, F. T., BORGHT V. D. M., BROECK, J.V. Influence of freeze-drying and oven-drying post blanching on the nutrient composition of the edible insect *Ruspolia differens*. *Insects*, 2017, 8.3: 102.

FORZIERI, G., GIRARDELLO M., CECCHERINI G. SPINONI J., FEYEN L., HARTMANN H., BECK P.S.A., CAMPS-VALLS G., CHIRICI G., MAURI A., CESCATTI A. Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. *Nature communications*, 2021, 12.1: 1081.

GRUNWALD, M. Ecological segregation of bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) of spruce 1, 2. *Journal of Applied Entomology*, 1986, 101.1-5: 176-187.

GUNN, D. L., NOTLEY, F. B. The temperature and humidity relations of the cockroach: IV. Thermal death-point. *Journal of Experimental Biology*, 1936, 13.1: 28-34.

HEWITT, P. H.; NEL, J. J. C.; SCHOEMAN, I. Influence of group size on water imbibition by *Hodotermes mossambicus* alate termites. *Journal of insect physiology*, 1971, 17.3: 587-600

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

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

HLÁSNY, T., MERGANICOVA, K., MODLINGER R., MARUŠÁK, R., LÖWE, R., TURCANI, M. Prognosis of bark beetle outbreak and a new platform for the dissemination of information about the forests in the czech republic / prognóza vývoje kůrovcové kalamity a nová platforma pro šíření informací o lesích v české republice. *Zpravy Lesnického Vyzkumu*. 2021, 66: 197-205.

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

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

HOLUŠA, J., ŠOTOLA, V., KUŽELKA, K., KULA, E. Felled and Lure Trap Trees with Uncut Branches Are Only Weakly Attractive to the Double-Spined Bark Beetle, *Ips duplicatus*. *Forests*, 2021, 12.7: 941.

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

JACKSON, C. H. N. Water and fat content of tsetse flies. *Nature*, 1937, 139.3520: 674-675.

KALINOVÁ, B., BŘÍZOVÁ, R., KNÍŽEK, M., TURČÁNI, M., HOSKOVEC, M. Volatiles from spruce trap-trees detected by *Ips typographus* bark beetles: chemical and electrophysiological analyses. *Arthropod-plant Interactions*, 2014, 8: 305-316.

KAUSRUD, K. L., GRÉGOIRE, J. C., SKARPAAS, O., ERBILGIN, N., GILBERT, M., ØKLAND, B., STENSETH, N. C. Trees wanted—dead or alive! Host selection and population dynamics in tree-killing bark beetles. *PloS One*, 2011, 6.5: e18274.

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

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

KULA, E., ŠOTOLA, V. Atraktivita neodvětvených a odvětvených smrkových lapáků. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2017, 62: 42–49.

KRAWIELITZKI, S., KLIMETZEK, D., BAKKE, A., VITÉ, J. P., MORI, K. Field and laboratory response of *Ips typographus* to optically pure pheromonal components 1. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 1977, 83.1-4: 300-302.

KRÖNCKE, N., GREBENTEUCH, S., KEIL, C., DEMTRÖDER, S., KROH, L., THÜNEMANN, A. F., HAASE, H. Effect of different drying methods on nutrient quality of the yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*, 2019, 10.4: 84.

LAIRD, T. B.; WINSTON, P. W.; BRAUKMAN, M. Water storage in the cockroach *Leucophaea maderae* F. 1972. *Naturwissenschaften* 59, 515-516

LANGE, H., ØKLAND, B., KROKENE, P. Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *Interjournal for Complex Systems*, 2006, 1648: 1-10.

LIGHTON, J. RB, et al. Spiracular control of respiratory water loss in female alates of the harvester ant *Pogonomyrmex rugosus*. *Journal of Experimental Biology*, 1993, 179.1: 233-244.

LINDELÖW, Å; RISBERG, B; SJÖDIN, K. Attraction during flight of scolytids and other bark-and wood-dwelling beetles to volatiles from fresh and stored spruce wood. *Canadian Journal of Forest Research*, 1992, 22.2: 224-228.

LOBINGER, G. Variations in sex ratio during an outbreak of *Ips typographus* (Col., Scolytidae) in Southern Bavaria. *Anzeiger für Schadlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 1996, 69.3: 51-53.

MARINI, L., ØKLAND, B., JÖNSSON, A. M., BENTZ, B., CARROLL, A., FORSTER, B., GRÉGOIRE, J., HURLING, R., NAGELEISEN, L. M., NETHERER, S., RAVN, H. P., WEED, A., SCHROEDER, M. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography*, 2017, 40.12: 1426-1435.

MARTÍNEK, V. Příprava lapáků pro kontrolu a boj s kůrovcem smrkovým *Ips typographus* L. *Lesnická práce*, 1960, 39:

MARTÍNEK, V. *Problém natality a gradace kůrovce Ips typographus L. ve střední Evropě*. Rozpravy ČSAV, 1961,71: 77 s.

MATOUŠEK, P., MODLINGER R., HOLUŠA J., TURČÁNI M. Počet vajíček kladených lýkožroutem smrkovým *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) na stromových lapacích: vliv vybraných faktorů. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2012, 57: 126-132.

MELLANBY, K. The influence of atmospheric humidity on the thermal death point of a number of insects. *Journal of Experimental Biology*, 1932, 9.2: 222-231.

MELLANBY, K. The site of loss of water from insects. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences*, 1934, 116.797: 139-149.

MELLANBY, K.: The functions of insect blood. *Biological Reviews* 14, 1939, 243-260

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

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

NICOLSON, S. W.; LEADER, J. P. The permeability to water of the cuticle of the larva of *Opifex fuscus* (Hutton) (Diptera, Culicidae). *Journal of experimental biology*, 1974, 60.3: 593-603

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

PAŘEZ, J. *Výzkum kalamit způsobených abiotickými činiteli v Severomoravském kraji a možnosti jejich snižování*. In: Sbor. Ref. Seminář „Možnosti snížení kalamit v Jesenické oblasti“. 1979, 28 s.

PFEFFER, A. *Kůrovec lýkožrout smrkový a boj proti němu*. Praha: SZN, 1954, 2: 46s.

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

PFEFFER, A., KNÍŽEK, M. *Scolytidae*. In: Jelinek J. (eds) Check-list of Czechoslovak Insects IV. Folia Heyrovskyana. Praha, 1999, 1: 153-158

PATACCA, M., LINDNER, M., LUCAS-BORJA, M.E., CORDONNIER, T., FIDEJ, G., GARDINER, B., HAUF, Y., JASINEVIČIUS, G., LABONNE, S., LINKEVIČIUS, E., MAHNKEN, M., MILANOVIC, S., NABUURS, G.J., NAGEL, T.A., NIKINMAA, L., PANYATOV, M., BERCAK, R., SEIDL, R., OSTROGOVIĆ SEVER, M.Z., SOCHA, J., THOM, D., VULETIC, D., ZUDIN, S., SCHELHAAS, M.J. Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology*. 2022, 29: 1359-1376. doi: 10.1111/gcb.16531

QUINLAN, M. C.; HADLEY, N. F. Gas exchange, ventilatory patterns, and water loss in two lubber grasshoppers: quantifying cuticular and respiratory transpiration. *Physiological Zoology*, 1993, 66.4: 628-642.

RICHARDS, A. G. *The integument of arthropods: the chemical components and their properties, the anatomy and development, and the permeability*. U of Minnesota Press, 1951.

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, 4: 806–810.

SENF, C., SEIDL, R. Mapping the forest disturbance regimes of Europe. *Nature Sustainability*, 2021, 4.1: 63-70.

SCHLYTER, F., CEDERHOLM, I. Separation of the sexes of living spruce bark beetles, *Ips typographus* (L.), (Coleoptera: Scolytidae) 1. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 1981, 92.1-5: 42-47.

SKUHRAVÝ, V. *Lýkožrout smrkový (Ips typographus L.) a jeho kalamity*. Praha, Agrospoj, 2002, 1: 196 s. ISBN 80-7084-238-5.

SKUHRAVÝ, V., ŠROT, M. Kalamita lýkožrouta smrkového v letech 1982–1986. *Lesnická práce*, 1988, 67: 263-269.

ŠVESTKA, M., HOCHMUT, R., JANČAŘÍK, V. Praktické metody v ochraně lesa. *Lesnická práce*, Silva Regina, 1996, 2: 311 s. SBN: 80-902503-0-0.

THOMPSON, S. N., BENNETT, R. B. Oxidation of fat during flight of male Douglas-fir beetles, *Dendroctonus pseudotsugae*. *Journal of Insect Physiology*, 1971, 17.8: 1555-1563.

ULLAH, A., ISHANGULYYEVA, G., ERBILGIN, N. Drying techniques differentially affect bark beetle weight change. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 2021, 118: 65-70.

VANICKÁ, H., HOLUŠA, J., RESNEROVÁ, K., FERENČÍK, J., POTTERF, M., VÉLE, A., GRODZKI W. Interventions have limited effects on the population dynamics of *Ips typographus* and its natural enemies in the Western Carpathians (Central Europe). *Forest Ecology and Management*, 2020, 470: 16. ISSN 0378-1127.

VINDSTAD, O. P. L., JEPSEN, J. U., EK, M., PEPI, A., IMS, R. A. Can novel pest outbreaks drive ecosystem transitions in northern-boreal birch forest? *Journal of Ecology*, 2019, 107.3: 1141-1153.

WERMELINGER, B. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 2004, 202.1–3: 67–82. E-ISSN 1872-7042.

ZAHRADNÍK, P. Metodická příručka integrované ochrany rostlin pro lesní porosty. *Lesnická práce*, 2014, 376 s. ISBN 978-80-7458-057-4.

ZAHRADNÍK, P., KNÍŽEK, M. Lýkožrouti na smrku a sucho. *Lesnická práce*, 2016, 95.4.

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

ZUUR, A. F., IENO, E. N., WALKER, N., SAVELIEV, A. A., SMITH, G. M. Mixed effects models and extensions in ecology with R. *New York: springer*, 2009.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; ELPHICK, CH. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in ecology and evolution*, 2010, 1.1: 3-14.

Internetové zdroje:

Lýkožrout smrkový (*Ips typographus*), Lesnický význam a rozšíření, [online], [cit. 20.10.2022] Dostupné z: <https://www.kurovcoveinfo.cz/lykozrout>.

Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (Linnaeus, 1758), profil taxonu. Biological Library, [online], 2017, [cit. 2.1.2023]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id13972/>.

R. Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, [online], 2020, [cit. 16.2.2023]. Vienna, Austria. Dostupné z: <https://www.R-project.org/>.

Zpravodaj ochrany lesa. Supplementum 2023, [online], 2023, [cit. 8.3.2024]. Dostupné z: <https://www.vulhm.cz/aktivity/vydavatelaska-cinnost/zpravodaj-ochrany-lesa-supplementum/>.

Deficit půdní vláhy, [online], 2018, [cit. 8.3.2024]. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/mapy/zasoba-vody-v-pude/>