

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Excelentní tým pro mitigaci

**Změny teploty v lýku během vývoje
lýkožrouta smrkového
*Ips typographus (L.)***

Diplomová práce

Autor: Mgr. Bc. Jiří Drahorád

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

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jiří Drahorád

Lesní inženýrství

Lesní inženýrství

Název práce

Změny teploty v lýku během vývoje lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.).

Název anglicky

Temperature phloem changes during breeding of spruce bark beetle *Ips typographus* (L.).

Cíle práce

Cílem diplomové práce je zaznamenat teplotu v lýku stromů napadených lýkožroutem smrkovým a stromů nenapadených, a naměřená data statisticky vyhodnotit.

Metodika

Na lokalitě v blízkosti Stříbrné Skalice (ŠLP v Kostelci nad Černými lesy) budou instalovány přístroje k měření teploty v lýku živých stojících stromů a přístroje k měření teploty vzduchu. K měření bude použit přístroj MicroLog T3 se třemi senzory Senzit D2 (EMS Brno). Dva senzory budou umístěny do vrstvy lýka, ve výšce mezi 2 – 2,5 m. Jeden ze senzorů bude umístěn z jižní strany kmene, druhý ze severní strany. Třetí senzor bude v radiačním krytu ve stejné výšce měřit teplotu vzduchu. Vnější teplota kůry ze severní a jižní strany bude měřena pomocí dvojice teplotních čidel Apogee. Přístroji bude osazeno celkem 8 stromů, polovina z nich bude během jarního rojení navazena agregačním feromonem lýkožrouta smrkového – Pheroprax A. Změna teplot napadených stromů bude vztažena k vývoji lýkožrouta smrkového, který bude predikován pomocí fenologického modelu PHENIPS.

Harmonogram:

květen 2021 – instalace přístrojů

červen 2021 – vnazení vybraných stromů feromonem

květen až srpen 2021 – měření teplot

září až listopad 2021 – zpracování dat do formátu pro analýzy

prosinec 2021 – statistické analýzy

prosinec až březen – vyhotovení práce

Doporučený rozsah práce

50-70 stran

Klíčová slova

Teplota lýka, PHENIPS, lýkožrout smrkový, vývoj, smrk, ochrana lesa

Doporučené zdroje informací

- ANNILA, E. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). *Annales Zoologici Fennici*, 1969, vol. 6, no. 2, s. 161-207. ISSN 0003-455X
- 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.
- GRICAR, J.; ZUPANCIC, M.; CUFAR, K.; OVEN, P. Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally heated and cooled stem portions of Norway spruce. *Wood Science And Technology*, 2007, vol. 41, no. 6, s. 463-467.
- HIETZ, P.; BAIER, P.; OFFENTHALER, I.; FÜHRER, E.; ROSNER, S.; RICHTER, H. Tree temperatures, volatile organic emissions, and primary attraction of bark beetles. *Phyton-Annales Rei Botanicae*, 2005, vol. 45, s. 341-354.
- 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.
- 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. 4, s. 186-191.
-

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

Garantující pracoviště

Excelentní tým pro mitigaci

Konzultant

Priv.-Doz. Ing. Peter Surový, PhD

Elektronicky schváleno dne 10. 7. 2020

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 18. 10. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2022

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Změny teploty v lýku během vývoje lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.) vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Modlingera, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

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

.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu mé diplomové práce Ing. Romanu Modlingerovi, Ph.D. za trpělivost, metodické vedení práce, odborné rady a hodnotné připomínky při zpracování této práce. Dále bych chtěl také poděkovat Ing. Janu Šimovi, DiS. za cenné rady a metodickou pomoc při zpracování této diplomové práce a Ing. Martinu Leinerovi za pečlivé pročtení rukopisu a četné formální i obsahové připomínky.

Jiří Drahorád

Abstrakt

Tématem této diplomové práce je vyhodnocení vlivu napadení lýkožroutem smrkovým (*Ips typographus*) na teplotu lýka sledovaných stromů. Součástí této práce je vypracovaný literární přehled shrnující dosavadní poznatky týkající se bionomie a morfologie tohoto nejvýznamnějšího biotického škůdce jehličnatých porostů, faktorů ovlivňujících jeho populační dynamiku a jeho významu v lesním hospodářství ČR. V rámci vyhotovené studie byly vyhodnoceny naměřené teploty lýka osmi stromů smrku ztepilého (*Picea abies*) a teploty vzduchu v jejich těsné blízkosti v období od 29. dubna do 10. srpna roku 2021 nacházející se v lokalitě Školního lesního podniku České zemědělské univerzity v Kostelci nad Černými lesy. Prostřednictvím dvouvýběrového t-testu o průměrech pro nezávislé vzorky a grafické vizualizace naměřených hodnot sledovaných stromů, z nichž polovina byla napadena lýkožroutem smrkovým, bylo zjištěno, že průměrná teplota lýka stromů napadených roste v průběhu sledovaného období rychleji, než průměrná teplota lýka stromů nenapadených. V provedené studii bylo zároveň popsáno, že výše popsáný rozdíl mezi teplotami lýka sledovaných stromů napadených a nenapadených je výraznější na senzorech umístěných na jižní straně kmene těchto stromů, přičemž nejvyšší diferencovanost mezi těmito hodnotami byla prokázána v posledním týdnu sledovaného období.

Klíčová slova:

Teplota lýka, lýkožrout smrkový, kůrovcovití, smrk ztepilý, ochrana lesa

Abstract

The topic of this diploma thesis is the evaluation of the influence of European spruce bark beetle infestation (*Ips typographus*) on the phloem temperature of the monitored trees. Part of this diploma thesis is a literature summary of current knowledge about the bionomy and morphology of this most important biotic pest of conifers, factors influencing its population dynamics and its importance in forestry in the Czech Republic. In this study were evaluated phloem temperatures of eight Norway spruce trees (*Picea abies*) and air temperatures in their immediate vicinity in the time from the 29th of April to the 10th of August 2021. These trees are located at the School Forest Enterprise of the Czech University of Life Sciences in Kostelec nad Černými lesy. Half of these trees were infested with the European spruce bark beetle. It was found by using a two-sample t-test of diameters for independent samples and graphical visualization of compared values that the average daily phloem temperature of infested trees increases faster than the average daily phloem temperature of healthy trees. In this study was also described that the difference between the average daily phloem temperature of infested trees and the average daily phloem temperature of healthy trees is more distinct on the sensors located on the southern side of the trunk. The highest difference between these average daily phloem temperatures was demonstrated in the last week of the observed period.

Key words:

Phloem temperature, European spruce bark beetle, bark beetles, Norway spruce, forest pest management

OBSAH

| | |
|--|----|
| ÚVOD | 12 |
| 1 CÍLE PRÁCE | 13 |
| 2 LITERÁRNÍ PŘEHLED – <i>Ips typographus</i> (L.) | 14 |
| 2.1 Bionomie a morfologie | 14 |
| 2.1.1 Vajíčko | 18 |
| 2.1.2 Larva | 18 |
| 2.1.3 Kukla | 19 |
| 2.1.4 Dospělec | 19 |
| 2.2 Faktory ovlivňující populační dynamiku | 20 |
| 2.2.1 Teplota vzduchu | 20 |
| 2.2.2 Množství srážek | 21 |
| 2.2.3 Vítr a jím způsobené následky | 22 |
| 2.2.4 Složení lesních porostů | 23 |
| 2.2.5 Způsob a načasování provádění preventivních i obranných opatření | 24 |
| 2.2.6 Působení přirozených nepřátel a jiných biotických činitelů | 26 |
| 2.3 Význam v lesním hospodářství ČR | 28 |
| 3 METODIKA ZPRACOVÁNÍ | 32 |
| 3.1 Popis lokality | 32 |
| 3.2 Získávání dat | 33 |
| 3.3 Zpracování dat | 36 |
| 3.4 Statistické vyhodnocení | 37 |
| 4 VÝSLEDKY | 40 |
| 4.1 Rozdíl mezi teplotami naměřenými jednotlivými senzory | 40 |
| 4.2 Vliv napadení lýkožroutem smrkovým na teplotu lýka stromu | 41 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 5 DISKUZE | 52 |
| ZÁVĚR..... | 55 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 56 |
| SEZNAM PŘÍLOH | 63 |
| PŘÍLOHY..... | I |

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tab. č. 1 – Označení jednotlivých sledovaných stromů a stav jejich napadení

Tab. č. 2 – Stav napadení stromů v průběhu sledovaného období

Obr. č. 1 – Mapové znázornění sledované lokality

Obr. č. 2 – Zobrazení rozmístění jednotlivých sledovaných stromů v mapě

Obr. č. 3 – Fotografie senzoru Senzit D2 (autorem fotografie Ing. Roman Modlinger, Ph.D.)

Obr. č. 4 – Fotografie sledovaného stromu s popisem umístění jednotlivých senzorů (autorem fotografie Ing. Roman Modlinger, Ph.D.)

Obr. č. 5 – Vzorové znázornění krabicového grafu sledovaných stromů

Graf č. 1 – Zobrazení lineárních trendových křivek průměrných denních teplot lýka na senzorech sever

Graf č. 2 – Zobrazení lineárních trendových křivek průměrných denních teplot lýka na senzorech jih

Graf č. 3 – Vizualizace průměrných denních teplot lýka zaznamenaných za celé sledované období na senzorech sever

Graf č. 4 – Vizualizace průměrných denních teplot lýka zaznamenaných za celé sledované období na senzorech jih

Graf č. 5 – Porovnání středních hodnot průměrných denních teplot lýka mezi stromy napadenými a nenapadenými na senzorech sever v období po zaznamenaném napadení

Graf č. 6 – Porovnání středních hodnot průměrných denních teplot lýka mezi stromy napadenými a nenapadenými na senzorech jih v období po zaznamenaném napadení

Graf č. 7 – Porovnání středních hodnot průměrných denních teplot lýka mezi stromy napadenými a nenapadenými na senzorech sever v období od 5. 8. 2021 do 10. 8. 2021

Graf č. 8 – Porovnání středních hodnot průměrných denních teplot lýka mezi stromy napadenými a nenapadenými na senzorech jih v období od 5. 8. 2021 do 10. 8. 2021

Seznam použitých zkratek a symbolů

cm - centimetr

č. - číslo

ČR - Česká republika

DD - degree days (stupňodny)

ha - hektar

lat. - latinsky

m² - metr čtvereční

m³ - metr krychlový

mil. - milion

μ - „mí“ (střední hodnota sledované veličiny)

mm - milimetr

m n. m. - metrů nad mořem

m/s - metr za sekundu

např. - například

odst.- odstavec

§ - paragraf

tj. - to jest

Sb. - Sbírka zákonů

Senzor jih - Senzor měřící teplotu lýka na jižní straně kmene

Senzor sever - Senzor měřící teplotu lýka na severní straně kmene

Senzor vzduch - Senzor měřící teplotu vzduchu v těsné blízkosti kmene

°C - Celsiův stupeň

tzv. - takzvaný

ÚVOD

Rozsáhlý výskyt nejvýznamnějšího biotického škůdce ve středoevropském lesním hospodářství - lýkožrouta smrkového - *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) - a jím způsobené neustále narůstající škody na lesích, běžně označované jako „*kůrovcové kalamity*“, svými následky představují téma dalece přesahující lesnický sektor, které je i přes několik desítek let usilovného provádění různých studií stále tématem aktuálním a určitým směrem i tématem dosud neprozkoumaným.

Jednou z dosud neprobádaných oblastí působení lýkožrouta smrkového je právě vliv jeho napadení na teplotu lýka stromů, který je předmětem této diplomové práce a v ní uskutečněné studie. Tato studie byla provedena na osmi sledovaných stromech smrku ztepilého - *Picea abies* (H. Karst.) - při letním rojení tohoto škůdce v roce 2021 v lokalitě Školního lesního podniku České zemědělské univerzity v Kostelci nad Černými lesy.

Práce je členěna na část teoretickou a část praktickou. První část zevrubně pojednává o morfologii a bionomii druhu tohoto sekundárního škůdce, vybraných hlavních faktorech ovlivňujících jeho populační dynamiku a o jeho významu v lesnictví ČR. Ve druhé části této práce je nejprve popsána použitá metodika zpracování naměřených hodnot a jejich statistického vyhodnocení, stěžejní část této práce se pak věnuje samotnému vyhodnocení možného vlivu napadení lýkožroutem smrkovým na teplotu lýka dotčených stromů pomocí dvouvýběrového t-testu a jeho zobrazení prostřednictvím různých grafických vizualizací. Součástí praktické části této diplomové práce je též porovnání a vyhodnocení naměřených hodnot teploty lýka na senzorech umístěných na severní a jižní straně sledovaných stromů a teploty vzduchu měřené senzorem umístěným v jejich těsné blízkosti.

Hlavní motivací autora vedoucí k výběru tohoto tématu diplomové práce byla možnost přispět k objasnění této problematiky, neboť při prokázání vlivu a odhalení reakce napadených stromů lze do budoucna teoreticky uvažovat o využití dosažených výsledků i v praktickém boji s tímto podkorním hmyzem, a to zejména při vyhledávání napadených stromů. Včasné nalezení a asanace napadených stromů jsou primárním a nezbytným předpokladem pro úspěšné tlumení přemnožené populace (nejen) tohoto škůdce a s tím spojené ochrany lesa. Jen díky kvalitně a funkčně prováděné ochraně lesa může být les jako takový v celé šíři své užitečnosti zachován i pro příští generace jako jedno z největších deklarovaných bohatství naší země.

1 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je především poukázat na možné rozdíly mezi teplotami lýka stromů smrku ztepilého - *Picea abies* (H. Karst.) - napadených lýkožroutem smrkovým - *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) - a stromů tímto škůdcem nenapadených a následně zjištěné rozdíly u osmi sledovaných stromů nacházejících se v lokalitě Školního lesního podniku České zemědělské univerzity v Kostelci nad Černými lesy za období roku 2021 statisticky vyhodnotit. Dále pak zanalyzovat rozdíly v naměřených teplotách lýka na severní a jižní straně kmene sledovaných stromů a porovnat tyto teploty s hodnotami teploty vzduchu naměřenými v jejich těsné blízkosti a v neposlední řadě též vypracovat literární přehled shrnující poznatky o lýkožroutu smrkovém se zaměřením na jeho bionomii a morfologii, hlavní faktory ovlivňující jeho populační dynamiku a jeho význam v lesním hospodářství ČR.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED – *Ips typographus* (L.)

Lýkožrout smrkový, lat. *Ips typographus* (Linnaeus, 1758), který patří v zoologickém systému do řádu brouků – *Coleoptera*, čeledi nosatcovitých – *Curculionidae*, podčeledi kůrovcovitých – *Scolytinae*, představuje z dnešního ekologického i ekonomického pohledu nejvýznamnějšího sekundárního fyziologického hospodářského škůdce jehličnatých kulturních porostů v Eurasii (Modlinger et al.; 2015).

2.1 Bionomie a morfologie

Lýkožrout smrkový je typický sekundární škůdce, jenž za normálních podmínek přednostně napadá oslabené, staré a poškozené stromy, vývraty a zlomy po větrných kalamitách či dříví uložené na lesních skládkách. Při přemnožení a nedostatku vhodného materiálu k založení nové generace však napadá i stojící a zdravé stromy. Areál jeho rozšíření je prakticky po celé Evropě a severní polovině Asie (Skuhravý; 2002).

Typickým znakem populační dynamiky lýkožrouta smrkového, potažmo obecně kůrovců, jsou jejich cyklické gradace, a sice že v době příznivé úživnosti prostředí jejich populace prudce naroste, způsobí výrazný žír a velké ekonomické škody na lesních porostech, načež toto období následně vystřídají periody, kdy je jejich početnost relativně nízká (Kindlmann et al.; 2012). Skuhravý (2002) v této souvislosti upozorňuje, že gradace lýkožroutů stoupá vždy, je-li mortalita jejich populace nižší než 98 %.

Životní cyklus lýkožrouta smrkového je vázán na jehličnaté, převážně smrkové, porosty ve věku nad 60 let, přičemž mimo smrk ztepilý probíhá jeho vývoj ojedinele i na modřínu opadavém - *Larix decidua* (Mill.) -, borovici lesní - *Pinus sylvestris* (L.) - či borovici kleč - *Pinus mugo* (Turra) -. Vyskytuje se především na osluněných porostních stěnách, při kalamitním stavu však i uvnitř porostů a na mladších jedincích (Skuhravý; 2002). Při běžném výskytu v porostech s přirozenou strukturou napadá lýkožrout smrkový pouze jednotlivé stromy, ve stejnověkových strukturách však může způsobit i rozpad stromového patra (Kindlmann et al.; 2012).

Lýkožrout smrkový dosahuje velikosti těla 4,2 – 5,5 mm, díky čemuž je řazen mezi největší v ČR se vyskytující kůrovce. Jedná se o kambifágní hmyz, tedy hmyz živící se lýkem a vyvíjející se v lýkové části stromu (Kindlmann et al.; 2012).

V podmínkách ČR, potažmo střední Evropy má lýkožrout smrkový v nižších polohách zpravidla dvě generace do roka, v vyšších polohách pak pouze jedna generace. Je však třeba upozornit, že při příznivých životních podmínkách, tj. především při vhodných povětrnostních podmínkách a vyšších teplotách se zvyšuje počet pokolení o jednu generaci (Zahradník; 2004). Tyto předpoklady bývají v posledních letech pravidelně naplňovány a zvýšení počtu generací lýkožrouta smrkového na tři, resp. dvě generace za rok se tak stává poměrně běžným (Modlinger and Trgala; 2019).

V nižších a středních polohách začíná jarní rojení společně v příchodem slunných teplých dnů s průměrnou teplotou nad 16 °C, tedy zpravidla na přelomu dubna a května. Se zvyšující se nadmořskou výškou a tím spojeným poklesem teplot dochází k časovému zpoždění a v horských oblastech tak rojení nastává až ve druhé polovině května. Následně po zhruba 8 – 10 týdnech od začátku jarního rojení, tedy obvykle v období od poloviny června až do počátku srpna v závislosti na teplotních podmínkách, pak přichází letní rojení. Případné třetí rojení probíhá na přelomu srpna a září (Zahradník and Geráková; 2010).

Nálety na jednotlivé hostitelské stromy jsou prováděny primárně samečky, jež instinktivně vyhledávají především zdravotně oslabené stromy, a to buď abiotickými faktory, tedy suchem, větrem či imisemi, nebo biotickými faktory, tedy zvěří, jiným hmyzem či houbovými patogeny a hnilobou. U takto poškozených jedinců má lýkožrout smrkový, resp. jeho pionýrství brouci, značně vyšší šanci překonat obranné mechanismy těchto stromů (Kausrud et al., 2012). Hietz et al. (2005) atraktivitu stresem oslabených stromů vysvětluje jejich sníženou transpirační schopností, tedy sníženým tokem mízy, v jehož důsledku dochází ke zvyšování vnitřní teploty daných stromů, která je pro kůrovce příznivější.

Nálet lýkožroutů smrkových obvykle začíná na rozhraní kmene a koruny, přičemž dále postupuje oběma směry (Jarošík; 2005). Při napadení stromu vyhlodají samečci do jejich kůry závrty o průměru přibližně 2 – 2,5 mm, a to především poblíž odstávajících šupin kůry či u suků, a následně po 1 – 2 dnech pokračují ve vybudování tzv. snubní komůrky. Oblast závrty značí na padlém kmeni hnědavá drť, na stojícím kmeni výron pryskyřice, následovaný po opakovaném náletu též hnědavou drtí (Wermelinger; 2004). Později postupně dochází ke změnám ve zbarvení jehličí, jež postupně rezne a začíná opadávat. Rychlost těchto změn se odvíjí od vitality stromu a průběhu srážek. Obecně platí pravidlo,

že k těmto změnám dochází jen krátce před dokončením kompletního vývoje lýkožrouta smrkového (Zahradník and Geráková; 2010).

K úspěšnému napadení stromu a překonání jeho odolnostního potenciálu je třeba dostatečná intenzita broků a při tomto procesu tak lze hovořit o jakési vnitrodruhové kooperaci (Jarošík; 2005). Lieutier et al. (2004) uvádí 300 – 850 lýkožroutů/m² pro překonání obranných mechanismů zdravého smrku v evropských podmínkách. Počet jedinců potřebných k zahubení jednoho stromu závisí na jeho velikosti a zdravotním stavu, přičemž řádově lze uvést, že k zahubení jednoho průměrného smrku je třeba dva až pět tisíc jedinců lýkožrouta smrkového (Zahradník and Geráková; 2010).

Dle Zumra (1985) vede k odumření napadených stromů samotné poškození rostlinných pletiv při zakládání matečných chodeb a následný žír larev. Novější studie však upozorňují i na význam symbiotických hub rodu *Ophiostoma* nebo *Ceratocystis*, jejichž spóry jsou do lýka napadených stromů vnášeny na tělech kůrovců. Suspenze spor těchto hub následně ucpávají vodivá pletiva napadených stromů a v určitém množství jsou samy schopny zabít dosud zdravý strom (Kolařík; 2012).

Po překonání obranné reakce napadeného stromu lákají samečci do každé snubní komůrky vylučováním agregačních feromonů zpravidla 2 – 3 samičky, které po jejich spáření hlodají vertikálním směrem své matečné chodby o délce přibližně 6 – 12 cm a šířce přibližně 2,5 – 3 mm, na jejichž stěny nakladou 1 – 2 vajíčka denně, celkem zhruba 60 vajíček, které obloží drtí (Zahradník; 2004). Někteří autoři však uvádí, že počet nakladených vajíček jednou samičkou v rámci jednoho kladení může dosahovat až 80 vajíček (např. Wermelinger; 2004 či Kindlmann et al.; 2012), jiní naopak tvrdí, že tento počet dosahuje maximálně 50 vajíček (Lausch et al.; 2011). Názory autorů se rozcházejí i v celkovém počtu vajíček, které vyprodukuje za celý svůj život jedna samička. Zumr (1995) uvádí 20 – 100 vajíček, Wermelinger a Seifert (1998) posouvají tuto fyziologickou hranici jedné samičky až na 120 vajíček a zároveň jej podmiňují závislostí na teplotě. Wermelinger (2004) stanovuje optimální teplotu pro kladení a vývoj vajíček v rozmezí 29 – 30 °C.

Poměr pohlaví mezi dospělci lýkožrouta smrkového obvykle nabývá hodnoty 1:1, je však třeba zdůraznit, že při obsazování nových stromů obvykle přibližně 2/3 neúspěšných samečků umírá a celkový poměr dospělců tak zpravidla tvoří jeden sameček na dvě až tři samičky (Wermelinger; 2004).

Lobinger (1996) při svém výzkumu v Bavorsku odhalil, že poměr pohlaví se mění i v průběhu kalamity, neboť v jím prováděném výzkumu na počátku kalamity převažovaly samičky nad samečky v poměru 1:1,89 a následně od čtvrtého roku trvání kalamity se tento poměr pohlaví změnil ve prospěch sameček v počtu 1:0,89.

Požerak lýkožrouta smrkového je v závislosti na počtu samiček jednoramenný až tříramenný. Obecně platí, že vyšší počet matečných chodeb převládá v základním stavu, zatímco v kalamitním stavu převažují požerky jednoramenné, maximálně dvouramenné (Zahradník and Knížek; 2007).

Lýkožrouta smrkového lze též charakterizovat jako holometabolní druh, tedy druh s proměnou dokonalou, jenž v rámci svého života typicky prochází několika vývojovými stádii, přičemž je třeba upozornit, že vývoj jeho potomstva není v důsledku dlouho trvajícího kladení vajíček časově jednotný a v jednom požerku se tak současně mohou vyskytovat zástupci tohoto druhu ve všech vývojových stádiích (Zumr; 1985). Kindlmann et al. (2012) uvádí, že délku jeho vývoje ovlivňuje kromě teploty, jejíž vliv je zevrubně rozebrán v další části této práce, též kvalita potravy, neboť v jarních a podzimních měsících, kdy byla prokázána nižší nutriční kvalita lýka, trvá vývoj lýkožrouta smrkového déle, než v měsících letních. Délka vývoje lýkožrouta smrkového se dle jednotlivých autorů poměrně liší. Modlinger et al. (2015) podmiňuje délku jeho vývoje vnějšími podmínkami prostředí a uvádí rozmezí 12 – 109 dní, zatímco jiní autoři (např. Skuhřavý; 2002, Kula; 2014 či Zumr; 1995) tvrdí přibližně poloviční interval (6 – 50 dní) a podmiňují jej pouze závislostí na teplotě. Obecně lze však konstatovat, že celý vývoj lýkožrouta smrkového probíhá za normálních podmínek 6 – 10 týdnů (Zahradník and Geráková; 2010).

Dle dosavadních výzkumů přezimuje nejvíce lýkožroutů ve stádiu dospělce, jen nepatrná část pak ve formě kukly nebo larvy. U stojících stromů přezimuje přibližně 90 % dospělců pod kůrou, nejvýše 10 % pak v hrabance v těsné blízkosti napadeného stromu. U ležících stromů přezimuje drtivá většina brouků pod ležícím kmenem (Zahradník; 2006).

Ve stádiu vajíčka lýkožrout smrkový, potažmo obecně kůrovci, nikdy nepřezimovává, neboť vajíčka nejsou schopny přežít nízké teploty. K úspěšné hibernaci Baier et al. (2007) na základě předchozích výzkumů předpovídá, že lýkožrout smrkový musí dokončit svůj preimaginální vývoj, tj. dosáhnout 60 % termického součtu, před nástupem chladného období. Dle Wermelinger a Seiferta (1998) je spodní hranice teploty, ve které je možný

vývoj lýkožrouta smrkového, určena teplotou 8,3 °C, na jejich produkci je však dle týchž autorů z jiné publikace (Wermelinger and Seifert; 1999) nezbytná teplota vyšší než 10,6 °C. Dle Annily (1969) je pro vývoj larev dostačující i teplota v rozmezí 5 – 10 °C, tento autor však hovoří o teplotě lýka, která se vlivem dopadajícího slunečního záření může od teploty vzduchu poměrně významně lišit. Kromě teploty je signálem pro započetí zimování dle Doležala (2016) též fotoperioda, přičemž kritická hodnota délky dne pro započetí zimování činí dle tohoto autora 14,5 hodiny, v některých publikacích (Doležal and Sehnal; 2007) však tento autor uvádí hodnotu o dvě desetiny hodiny větší.

2.1.1 Vajíčko

Vajíčka lýkožrouta smrkového jsou oválného tvaru o velikosti přibližně 0,6 – 1 mm a mají bílý lesklý povrch. Jedná se o první a zároveň nejkratší vývojové stádium v jeho životě, které trvá v průměru 6 – 18 dnů (Zahradník; 2004).

V určitých případech může samička kladení vajíček přerušit a přesunout se v rámci daného stromu do jiné části či na strom jiný a tam následně v kladení vajíček pokračovat. Tohoto jevu, jenž se nazývá sesterské rojení a vznikající generaci pak sesterské pokolení, je schopno až 90 % všech samiček, přičemž dle Zahradníka a Knížka (2007) ho provádí pouze zhruba 10 % samiček. Novější studie však ukazují (např. Davidková and Doležal; 2017), že tento podíl samiček provádějících sesterské rojení je v důsledku sucha výrazně vyšší a značně tak ovlivňuje populační růst tohoto škůdce. Požerky v sesterském pokolení jsou vždy jednoramenné, tedy s jednou matečnou chodbou, a chybí u nich snubní komůrka (Zahradník and Knížek; 2007).

2.1.2 Larva

Druhým vývojovým stádiem lýkožrouta smrkového jsou larvy, které se líhnou z vajíček postupně v závislosti na tom, kdy byly v matečné chodbě naklady. Jedná se o apodní hemicephalní larvy s bílým zbarvením a se silně sklerotizovanou hlavou nahnědlé barvy, jež okamžitě po vylíhnutí začínají vyhlodávat lýko a vytvářet tak 3 – 6 cm dlouhé larvální chodby vertikálně směřující od matečných chodeb (Modlinger et al.; 2019). Anderbrant (1990) uvádí, že délka larválních chodeb závisí na stupni napadení stromu a tomu

odpovídající blízkosti matečných chodeb lýkožrouta smrkového, přičemž tento autor zároveň předkládá, že při velké hustotě larev může docházet ke křížení jednotlivých larválních chodeb mající za následek vzájemný kanibalismus larev.

Vylíhlá larva dosahuje délky maximálně 2 mm a dále prochází třemi vývojovými instary, díky čemuž postupně doroste až do velikosti 5 – 7 mm, než se po dokončení svého vývoje zakuklí na konci larvové chodby v tzv. kukelní komůrce (Zumr; 1995).

2.1.3 Kukla

Vývojové stádium kukly lýkožrouta smrkového trvá přibližně 6 – 17 dní a může se vyskytovat nejen během vegetačního období, nýbrž může být (ve zcela výjimečných případech) i zimujícím stádiem (Zahradník; 2004).

Volné kukly lýkožrouta smrkového jsou též bílého zbarvení a jsou na nich již patrné základy některých vnějších orgánů, tj. nohou, křídel, krovek a hlavy (Zahradník and Knížek; 2007).

2.1.4 Dospělec

Z kukel se líhnou nedospělí brouci, již jsou vzhledem ke svému vzhledu nazýváni „*žlutí brouci*“. Důvodem jejich z počátku bílého a následně žlutohnědé zbarvení je nedostatečně vyvinutá chitinová vrstva chránící před vysycháním. Tito nedospělí jedinci po vylíhnutí pokračují po dobu přibližně třech týdnů v úživném žíru, během kterého pohlavně dospějí a jejich vnější schránka se postupně zbarví do černohnědé podoby. V této fázi získávají lýkožrouti vysoké předpoklady přečkat nepříznivé zimní životní podmínky a v případě nedostatku vhodné potravy jsou též již schopni přeletu na jiné stromy (Kula; 2014). KC jejich ohrožení nejvíce dochází v důsledku náhlých a opakovaných poklesů teplot (Modlinger et al.; 2015). Po ukončení zralostního žíru brouci přezimující generace vylétávají a vyhledávají optimální strom pro nalákání samic a rozmnožení se (Zumr; 1995).

Dospělý jedinec lýkožrouta smrkového dosahuje velikosti přibližně 5 mm (Skuhřavý; 2002) a jeho charakteristickým znakem, díky kterému je možné jej spolehlivě odlišit od dalších kůrovců, je výskyt čtyř zubů na krovkách, mezi kterými je stejná vzdálenost (Weinerová; 2004).

2.2 Faktory ovlivňující populační dynamiku

Za základní faktory ovlivňující bionomii a populační dynamiku lýkožrouta smrkového lze zcela nepochybně označit teplotu vzduchu, množství srážek, vítr a jím způsobené následky, složení lesních porostů, způsob a načasování provádění preventivních i obranných opatření či působení jeho přirozených nepřátel a dalších biotických činitelů. Veškeré uvedené faktory spolu navzájem souvisí a jakákoliv jejich nevhodná kombinace znamená ohrožení vitality daného porostu a tím pádem i vyšší hrozbu ohrožení lýkožroutem smrkovým. Tento výčet se samozřejmě dle názorů jednotlivých autorů různí a postupem času se určitým směrem neustále vyvíjí, a proto je třeba na něj v tomto směru i pohlížet.

2.2.1 Teplota vzduchu

Již podle dřívějších publikací (např. Annala; 1969 či Zumr; 1982) je teplota vzduchu označována jako dominantní faktor podmiňující reprodukční cyklus a vývoj lýkožrouta smrkového. Kůrovce lze totiž obecně označit jako ektotermní druh, jejichž životní aktivita je závislá na okolních teplotách (Forrest; 2016). Časný nástup příznivých teplot na jaře a vysoké teploty koncem léta prodlužují jejich možnosti vhodného vývoje a letu, což v důsledku znamená potencionálně více napadených stromů, více nakladených vajíček a za určitých okolností i zvýšení počtu generací (Wermelinger; 2004). V této souvislosti je však též nutné upozornit, že se nejedná pouze o založení většího počtu generací lýkožrouta smrkového, nýbrž i o urychlení vývoje jeho jednotlivých fází (Zahradník and Zahradníková; 2019).

Modlinger a Trgala (2019) upozorňují, že právě vzrůstající průměrná teplota je v posledních letech na území ČR bezprostředním stresovým faktorem, který vytváří podmínky pro napadení sekundárními škůdci, neboť v posledních dvou dekadách je evidován pouze jeden rok s nižší teplotou oproti letům předchozím.

A contrario sensu lze určit, že na vývojový cyklus lýkožrouta smrkového má výrazný negativní vliv chladné jarní počasí, které je spojené s vyšší vlhkostí a pomáhá rozvoji plísni, jež škodí všem jeho vývojovým stádiím (Pfeffer and Kudela; 1954).

Rozsáhlé výzkumy teplotních limitů lýkožrouta smrkového prezentovali v minulých letech např. Baier et al. (2007) jako tzv. fenologický model PHENIPS. Tento unikátní

model je určený pro časovou a prostorovou simulaci variací sezónního vývoje lýkožrouta smrkového, který se užívá pro výpočet maximálního počtu jeho generací v závislosti na vlivech regionální topografie a slouží tak ke včasnému posouzení vývojového procesu kůrovcové populace na konkrétní úrovni stromu nebo porostu v průběhu jednoho roku (Ogris et al.; 2019). Díky tomuto modelu lze provést komplexní analýzu potencionálního vývoje preimaginálních stádií lýkožrouta, předpovědět začátek jarního rojení, počátek napadení stromů po jarním rojení, trvání vývoje uvnitř stromu, vývoj sesterského rojení a počet generací, které může dokončit před hibernací. Tento model kombinuje odhad mikroklimatických podmínek uvnitř kůry s ekofyziologickými charakteristikami lýkožrouta smrkového. Byl vyvinut na základě pokusů provedených v letech 2001-2003 v národním parku Kalkalpen nacházejícím se v severním pohoří Vápencových Alp v Rakousku (Baier et al.; 2007) a následně modifikován pro použití na území České republiky (Hlásny et al.; 2011, Berec et al.; 2013). Limitní hodnoty vývoje jednotlivých stádií lýkožrouta smrkového byly v modelu PHENIPS převzaty z výzkumu Wermelinger a Seiferta (1998) a jsou založeny na kumulaci efektivních teplot, tzv. stupňodní (dále jen „DD“), přičemž součet efektivních teplot je nutno chápat jako součet kladných rozdílů mezi průměrnou denní teplotou a nulovým bodem vývoje daného druhu, pod kterým jeho vývoj ustává (Štefková et al.; 2017).

Dle tohoto fenologického modelu je jarní rojení lýkožrouta smrkového zahájeno, pokud maximální teplota vzduchu překročí 16,5 °C a počet následných DD nad tuto teplotu počínaje 1. dubna překročí hranici 60. Nástup napadení stromů při jarním rojení začíná, když počet DD vztažených nad denní maximální teplotu 16,5 °C překročí 140 DD od začátku dubna (Baier et al.; 2007, Berec et al.; 2013). Pro vývoj ze stádia vajíčka do kukly je nutný součet 334,2 DD, k čemuž se připočítává 222,7 DD zahrnující úživný žír (Wermelinger a Seifert; 1998). Pro ukončení kompletního vývoje jedné generace je tak třeba součet 557 DD, přičemž již v polovině tohoto časového úseku opouštějí někteří dospělí jedinci napadený strom a zakládají sesterskou generaci v jiném stromě (Baier et al.; 2007).

2.2.2 Množství srážek

Nedostatečné množství srážek a s tím spojené sucho jsou druhým faktorem zcela zásadně ovlivňujícím zdravotní stav lesních porostů. Stres v důsledku vodního deficitu a jím

způsobená ztráta vitality a špatné zásobování živinami mají za následek snížení růstu a pokles turgoru uvnitř stromů. Tyto změny způsobují pokles obranyschopnosti dotčených stromů proti kůrovci (Skuhravý; 2002). Hodnotu vodního potenciálu půdy, při níž již daný strom není schopen udržet pozitivní turgor, je třeba vnímat jako prahovou hodnotu resistance daného jedince (Luštinec and Žďárský; 2003). V tomto kontextu je tedy nutno považovat množství srážek za jednu z hlavních příčin přemnožení lýkožrouta smrkového (Annala; 1969).

Dle Modlingera a Trgaly (2019) není problémem nízký roční úhrn srážek, neboť ten je v posledních 20 letech sice rozkolísaný, avšak téměř obdobný. Tito dva autoři negativní vliv spatřují spíše v rozložení srážek v průběhu roku, neboť v posledních letech nedochází kvůli nízkým sněhovým pokrývkám k dostatečnému doplnění vláh v jarním období, a naopak většina srážek přichází ve formě přívalových dešťů, z nichž jsou schopny nasycené zemní vrstvy pojmout jen minimální množství vody a většina těchto srážek je tak odvedena povrchovým odtokem z ekosystému bez jakéhokoliv využití lesními dřevinami.

2.2.3 Vítr a jím způsobené následky

Vítr ve vztahu k rozšíření lýkožrouta smrkového je nutno vnímat především z pohledu jím způsobených následků, neboť vítr je jedním ze základních činitelů, jež dávají za vznik polomům, které způsobují náhlé zvýšení potravní nabídky pro tyto škůdce. Obdobně je třeba zařadit též námrazu a sníh (Skuhravý; 2002).

Skuhravý (2002) ve své práci zároveň uvádí množství polomových stromů, jež může být lýkožroutem smrkovým ročně obsazeno bez rizika jeho přemnožení, a sice pro středoevropské podmínky přibližně 10 stromů na 1 ha.

Jak již bylo uvedeno výše – polomy nabízí lýkožroutům (nejen smrkovým) ideální podmínky pro jejich výživu a další šíření. Dle Jarošíka (2005) má vyšší reprodukční úspěch těchto škůdců na polomech za následek zvýšení jejich populační hustoty nad práh nutný ke kolonizaci stojících stromů a jsou tak považováni za jeden z nejdůležitějších faktorů pro započítání velkých kůrovcových gradací.

Kausrud et al. (2012) k tomuto uvádí, že v nižších nadmořských výškách zpravidla vrcholí početnost lýkožroutů již následující rok po způsobených škodách, zatímco

ve vyšších polohách se tomu děje až v roce třetím. Modlinger a Novotný (2015) tento jev nazývají jako zpožděnou závislost. Jejich závěry byly potvrzeny například po řádění orkánu Kyrill na území Národního parku Šumava v roce 2007, kde i přes veškeré snahy tomuto jevu zabránit, došlo v roce 2009 k vypuknutí kůrovcové kalamity.

Dle Modlingera et al. (2015) lýkožrouti smrkoví kombinují při svém přesunu aktivní a pasivní let. K vlivu větru na populační dynamiku lýkožroutů smrkových Modlinger et al. (2015) dále uvádí, že směr jejich disperze pasivně ovlivňuje kromě složení okolních porostů právě rychlost větru, přičemž při disperzi se lýkožrouti řídí čichem a při střetu s volatilními látkami (především feromony) jsou schopni změnit dráhu letu směrem k jejich zdroji. K tomuto dále poznamenává, že při rychlosti větru do 1 m/s jsou lýkožrouti smrkoví schopni letět i proti jeho směru.

Co se týče vzdálenosti, kterou mohou zástupci lýkožrouta smrkového při výletu ze dřeviny, případně i z hrabanky po přezimování, překonat, Wemelinger (2004) uvádí, že jsou schopni denně dosáhnout až vzdálenosti delší než 500 metrů, přičemž v 90% případů napadají pouze stromy do vzdálenosti 100 metrů, dle Kausruda et al. (2012) pak překonají denně dokonce až 750 metrů. Jiní autoři však uvádí dokonce vzdálenosti i několika kilometrů více dní za sebou (např. Furuta et al.; 1996 či Botterweg; 1983). Skuhravý (2002) podmiňuje intenzitu jejich letu korelací s teplotou.

2.2.4 Složení lesních porostů

Jak upozorňují Modlinger a Trgala (2019), původní přírodní lesní ekosystémy s bohatou druhovou diverzitou a přibližně 11% zastoupením smrku mezi dřevinami byly postupnými aktivitami člověka přetvořeny na monokulturní porosty s více než 50% zastoupením smrku. Lesníci již od dob vlády Marie Terezie v minulých stoletích začali pěstovat smrk především pro jeho rychlý růst a vysokou a kvalitní produkci i mimo jeho původní areál výskytu ve středních a nižších polohách. Smrk, co se týče podmínek tepla a půdy, je poměrně dobře adaptibilním druhem, z pohledu srážek se však jedná o vysoce náročný druh, jenž v posledním desetiletí vlivem sucha a nedostatku půdní vláhy začal intenzivně chřadnout skrz všechny věkové kategorie. Zároveň se jedná o druh málo odolný vůči imisím, jenž je choulostivý na sníh a námrazu a jehož kořenový systém je poměrně slabě zakotvený v půdě, kvůli čemuž je poměrně náchylný k vývrátům. Všechny

uvedené faktory mají pro smrky za následek snížení schopnosti jejich obrany před kůrovci a podporují vznik dnešní kůrovcové kalamity (Maděra and Úradníček; 2001).

Jak uvádí mnoho autorů (např. Skuhřavý; 2002 či Kindlmann et al.; 2012) největší pravděpodobnost napadení mají smrkové monokulturní porosty, jejichž složení je vlivem klimatu a stejného stáří z fyziologického pohledu obdobné. *A contrario sensu* řečeno – čím více budou porosty tvořeny věkově i druhově různorodými jedinci, tím menší dopad bude mít jejich případné napadení kůrovci.

2.2.5 Způsob a načasování provádění preventivních i obranných opatření

Základním předpokladem pro přemnožení lýkožrouta smrkového je kromě již uvedeného průběhu počasí i dostatečné množství „materiálu“ pro založení nové generace, tedy dostatek stresovaných stromů v poměru k populační hustotě tohoto škůdce. Tento faktor lze díky včasnému a důslednému provádění účinných preventivních i obranných opatření do jisté míry značně eliminovat.

Zahradník a Knížek (2016) pro úspěšný boj s kůrovcem, resp. potlačení gradace lýkožrouta smrkového charakterizuje tři základní principy, mezi něž řadí jednak včasné zpracování veškerého materiálu potencionálně vhodného pro namnožení a následný vývoj lýkožrouta smrkového do začátku jeho rojení, dále bezodkladné odstranění veškerého již napadeného dříví lýkožroutem smrkovým ještě před jeho vyrojením a v neposlední řadě též hubení dospělých jedinců lýkožrouta smrkového v ohniscích žíru. Jednotlivé metody ochrany proti kůrovcům též autoři dělí do kategorií preventivních a supresivních.

Preventivní metody ochrany jsou, jak je již nastíněno výše, založeny na dodržování porostní hygieny a důslednosti při odstraňování veškerého atraktivního materiálu, přičemž Zahradník (2004) v této souvislosti upozorňuje, že nejvhodnějším postupem po větrné kalamitě je v první řadě zpracování jednotlivých roztroušených stromů na nepřístupných místech, čímž se zamezí rozptýlení kůrovce ve velkém prostoru, a až následně postupovat do větších celků, kde je v případě časové tísně možno využít některé z asanačních opatření. Zahradník a Knížek (2016) k tomuto dále zmiňují, že materiál atraktivní pro kůrovce je třeba odvézt nejpozději do konce března, ve vyšších polohách

do konce dubna, přičemž není-li to z jakýchkoliv důvodů možné, je nutné zajistit alespoň jeho odkornění.

Supresivní metody ochrany, resp. jednotlivé nástroje k potlačení výskytu lýkožrouta smrkového vychází z jeho populační hustoty, která je dle vyhlášky Ministerstva zemědělství¹ ve znění pozdějších předpisů na základě kalamitního základu, tedy objemu včas zpracovaného kůrovcového dříví (v m³) za období od 1. srpna do 31. března následujícího roku, rozčleněna do třech skupin. Jedná se o stav základní, tedy takový početní stav lýkožrouta smrkového, kdy „objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru nedosáhl 1 m³ na 5 ha smrkových porostů, a nedošlo k vytvoření ohnisek výskytu lýkožrouta“, stav zvýšený, kterým se rozumí „takový početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru dosáhl nebo překročil 1 m³ na 5 ha a nedosáhl 5 m³ na 5 ha smrkových porostů, a došlo k vytvoření ohnisek výskytu lýkožrouta“, a stav kalamitní, kterým se rozumí „takový početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru dosáhl nebo překročil 5 m³ na 5 ha smrkových porostů, a který způsobuje rozsáhlá poškození lesních porostů na stěnách nebo vznik ohnisek uvnitř lesních porostů až plošné napadení lesních porostů“.

Dle téže vyhlášky se kontrola populační hustoty lýkožrouta smrkového v základním stavu provádí prostřednictvím odchyťových zařízení, jež se umísťují v jarním a letním období v minimálním počtu jednoho kusu na každých 20 ha smrkových porostů, a současného celoročního sledování výskytu kůrovcových stromů pochůzkovou metodou včetně jejich včasné a účinné asanace. Při zvýšeném stavu se počet odchyťových zařízení stanoví prostřednictvím kalamitního základu a odpovídá ekvivalentu jedné desetiny včas zpracovaného kůrovcového dříví s připočítáním jednoho odchyťového zařízení na každý započatý 1 m³ kůrovcového dříví, které je již tímto škůdcem nově částečně nebo zcela opuštěno. Současně se stejně jako při základním stavu provádí celoroční včasná a účinná asanace aktivně vyhledaných kůrovcových stromů. Při kalamitním stavu je zcela klíčová včasná a účinná asanace aktivně vyhledaných kůrovcových stromů v porostu nebo jejich navazující odvoz ke zpracování s možností provedení asanace až u zpracovatele, přičemž se v tomto stavu využívá minimálně stejné množství odchyťových zařízení jako při horní

¹ 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, ve znění pozdějších předpisů.

hranici zvýšeného stavu. Počet odchyťových zařízení pro ochranu lesa před lýkožroutem smrkovým se při zvýšeném a kalamitním stavu stanovuje pro každé ohnisko žíru zvlášť.

Supresivní metody dělí Zahradník (2004) na biotechnické, tj. feromonové lapače sloužící k odchyťu dospělých jedinců lýkožrouta smrkového, na mechanické, mezi něž patří odkorňování a příprava lapáků, na biologické, které spočívají především v podpoře přirozených nepřátel lýkožroutů, o nichž pojednává následující část této diplomové práce, a na chemické metody ochrany, jež jsou založeny především na aplikaci insekticidů v podobě postřiků po celém povrchu napadeného kmene. Zahradník a Knížek (2007) upozorňují, že pro chemickou asanaci je dovoleno používat pouze přípravky uvedené v „*Seznamu povolených přípravků na ochranu rostlin*“, jež vydává Ministerstvo zemědělství ČR.

Zahradníková a Zahradník (2019) dále zmiňují možnost kombinace jednotlivých metod ochrany, a sice metody mechanické, chemické a biotechnické, a to v podobě otrávených lapáků.

Obecné přesvědčení, že antropogenními zásahy proti kůrovci se jím způsobené škody minimalizují, však jak ukazují zkušenosti našich zahraničních sousedů, bez dalšího neobstojí. Jak upozorňuje Grodzki et al. (2006) – po větrné kalamitě v listopadu roku 2004 na hranicích Polska a Slovenska bylo možno pozorovat dva zcela odlišné přístupy těchto států. Zatímco na slovenské straně bylo proti kůrovci aktivně zasahováno, na té polské byly lesy ponechány bez lidského zásahu a ve výsledku zde paradoxně došlo k menší kalamitě, než straně slovenské. Kindlmann et al. (2012) tento jev hodnotí tak, že za určitých okolností mohou mít biotické faktory v kombinaci s nevhodným počasím pro rozmnožování a vývoj kůrovců výrazně větší negativní vliv na populaci lýkožroutů než lidské asanační zásahy.

2.2.6 Působení přirozených nepřátel a jiných biotických činitelů

Nejvýraznější početní ztráty v populaci lýkožroutů (převážně v její samčí části) jsou způsobeny přirozenými obrannými reakcemi napadených stromů (Zumr; 1985). Zdravé stromy jsou schopny zavrtávající se brouky zavalit výronem pryskyřice a tím se ubránit před jejich napadením. Se snižující vitalitou však u napadených stromů tato schopnost klesá (Zahradník and Knížek; 2007).

Významným regulačním prostředkem početních stavů lýkožroutů jsou též jejich přirození nepřátelé z řad predátorů, parazitoidů a patogenních mikroorganismů. V tomto kontextu lze tedy jmenovat některé hmyzí škůdce, přičemž nejvýznamnějším predátorem z řad brouků je zcela určitě pestrokrovečník mravenčí - *Thanasimus formicarius* (Linnaeus, 1758) -, jenž se živí v průběhu svého života jednotlivými vývojovými stádii kůrovce (Lipták et al.; 2013). Wermelinger (2004) udává, že jedna larva tohoto brouka je schopna během svého vývoje sežrat až 50 larev lýkožrouta a dospělý pestrokrovečník pak dalších přibližně 100 jeho larev či dospělců. Za další významné predátory kůrovců lze označit mouchy rodu *Medetera* (Fischer von Waldheim, 1819), jež konzumují převážně jednotlivá předimaginální stádia lýkožroutů (Wegensteiner et al.; 2015).

Za nejvýznamnější přirozeně se vyskytující parazitoidy lýkožrouta smrkového je možno označit zástupce řádu hmyzu blanokřídlých – *Hymenoptera* (Linnaeus, 1758) -, především pak jeho čeleď kovověnkovitých – *Pteromalidae* (Dalman, 1820) -. Jedná se o skupinu larválních ektoparazitoidů, jejíž zástupci lokalizují své hostitele z povrchu kůry a jejichž samičky pak následně kladou svá vajíčka vedle vývojových stádií kůrovců. Společně s vajíčky aplikují přímo pod kůru jed, kterým okamžitě paralyzují svého hostitele. Druhou významnou skupinou parazitoidů kůrovců jsou endoparazitoidi, mezi něž se řadí např. *Cosmophorus klugii* (Ratzeburg, 1848) či *Ropalophorus clavicornis* (Wesmael, 1835). Dospělí zástupci těchto druhů kladou vajíčka přímo do těla hostitele, jenž je po inokulaci schopen běžně fungovat, avšak jeho plodnost je výrazně snížena (Lipták et al.; 2013).

Dle Wermelinger (2002) se v praxi podíl parazitoidů a predátorů napadajících lýkožrouty mění v průběhu gradačního cyklu, přičemž predátoři se zaměřují spíše na spodní části napadeného kmene a jejich populace graduje již v prvním roce jeho napadení, naopak parazitoidi jsou situováni povětšinou v horních částech kmenů a populaci lýkožroutů výrazněji regulují až v druhém roce populační exploze lýkožroutů.

Lipták et al. (2013) za nejvýznamnější patogenní mikroorganismy způsobující jedincům lýkožrouta smrkového primární onemocnění označuje jednak entomopatogenní viry (např. *Ips typhographus Entomopoxvirus*), entomopatogenní bakterie (např. *Bacillus thuringiensis* Berliner 1915), prvoky (např. *Gregarina typographi* Dufour, 1828), mikrosporidie (např. *Chytridiopsis typographi* W.G. Schneid., 1884) a v neposlední řadě též mikroskopické entomopatogenní houby (např. *Beauveria bassiana* Vuillemin), na jejichž bázi se vyrábějí biopreparáty použitelné pro biologický boj proti kůrovcům.

Mezi další přirozené nepřátele kůrovců patří ptáci, kteří se buď živí podkorním hmyzem nebo jej chytají v průběhu jejich letové aktivity. V této souvislosti lze jmenovat např. čeled' datlovitých – *Picidae* (Leach, 1820) - či brhlíkovitých - *Sittidae* (Lesson, 1828) -, ani jednoho z jejich zástupců však nelze označit za potravního specialistu, který by byl z důvodu nízké populace lýkožroutů potravně limitován, a nelze tak proto ani určit žádnou korelační závislost mezi populacemi lýkožroutů a ptáků (Fayt et al.; 2005).

Závěrem lze konstatovat, že ač některé druhy výše uvedených živočichů úspěšně a účinně hubí nejen lýkožrouta smrkového, nýbrž i další druhy vyskytujících se kůrovců, v případě gradace kůrovců je jejich reprodukční rychlost oproti kůrovcům značně opožděná a jejich reálně účinný potenciál v boji s kůrovcem pouze v případě jeho latentního výskytu (Wermelinger; 2002).

2.3 Význam v lesním hospodářství ČR

Lýkožrout smrkový má v lesích ČR mezi jednotlivými škodlivými činiteli zvláštní postavení a společně s několika dalšími druhy² je Ministerstvo zemědělství vyhláškou č. 101/1996 Sb. ve znění pozdějších předpisů řadí mezi tzv. kalamitní škůdce. Dle § 32 zákona č. 289/1995 Sb., o lesích, jenž je blíže specifikován výše zmíněnou vyhláškou Ministerstva zemědělství, je nutné těmto druhům věnovat při ochraně lesa zvýšenou pozornost, tj. především zjišťovat a evidovat jejich výskyt a jimi působená poškození, preventivně bránit jejich vývoji, šíření a přemnožení, informovat místně příslušný orgán státní správy při jejich zvýšeném výskytu a činit bezodkladná opatření k odstranění následků způsobených mimořádnými okolnostmi v lese.

Jak upozorňuje poslední Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství ČR (2021), kontrola výskytu lýkožrouta smrkového a dalších hmyzích škůdců je v souladu s výše citovanou vyhláškou Ministerstva zemědělství č. 101/1996 Sb. ve znění pozdějších předpisů prováděna prakticky po celé republice, přičemž v roce 2020 bylo pro účely kontroly a obrany před lýkožroutem smrkovým instalováno přes 80 tisíc kusů feromonových

² Kalamitními hmyzími škůdci jsou dle § 3 odst. 1 vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 101/1996 Sb. kromě lýkožrouta smrkového též bekyně mniška (*Lymantria monacha*), lýkožrout lesklý (*Pityogenes chalcographus*), lýkožrout severský (*Ips duplicatus*), klikoroh borový (*Hylobius abietis*), obaleč modřínový (*Zeiraphera diniana*) a ploskohřbetky (rod *Cephalcia*).

lapačů a položeno přes 360 tisíc m³ stromových lapáků. Meziročně tak došlo z pohledu počtu preventivně instalovaných ochranných opatření ke stagnaci, a to především z důvodu vydaných opatření obecné povahy Ministerstvem zemědělství a z nich vyplývající možnosti jednotlivých vlastníků lesů se ve vymezených katastrálních území odklonit od povinnosti používat tato opatření v boji proti lýkožroutům (Ministerstvo zemědělství; 2021).

V posledních letech se i přes úpornou snahu nedaří předcházet lýkožrouty působeným poškozením, které na území ČR výrazně stoupá. Konkrétně v roce 2020 byl v ČR v rámci nahodilé těžby při přepočtu na celou rozlohu lesů evidován rekordní objem smrkového kůrovcové dříví ve výši cca 21,9 mil. m³ smrkového kůrovcového dřeva. Jak upozorňuje Lubojacký et al. (2021) ve Zpravodaji ochrany lesa, k tomuto objemu je navíc třeba připočítat minimálně další 3 mil. m³ nezpracovaných kůrovcových stromů, které dle odhadů odborníků zůstaly na konci tohoto roku v lesních porostech a nejsou tudíž zahrnuty do výše uvedené statistiky. Ve srovnání s rokem 2018 se jedná o hodnotu téměř dvojnásobnou (2018 – cca 11,9 mil. m³) a v porovnání s rokem 2014 dokonce o téměř sedmnásobnou (2014 – cca 1,3 mil m³)! K této nechvalné statistice je třeba zároveň dodat, že prakticky veškeré vytěžené kůrovcové dřevo v posledních období bylo napadeno výlučně právě lýkožroutem smrkovým, který byl obvykle pouze v nižší početnosti doprovázen lýkožroutem lesklým (*Pityogenes chalcographus*) a lýkožroutem severským (*Ips duplicatus*). Prakticky na celém území se lýkožrout smrkový vyskytuje v kalamitním stavu, který v přepočtu dosahuje alarmující hodnoty více než 17 m³ na ha smrkových porostů všech věkových stupňů (Ministerstvo zemědělství; 2021), namísto vyhláškou Ministerstva zemědělství č. 101/1996 Sb. ve znění pozdějších předpisů uváděné hodnoty 0,2 m³ na ha smrkových porostů starších 50 let, jež odpovídá základnímu stavu lýkožrouta smrkového.

Kromě neustále se zvyšujícího objemu vytěženého kůrovcového dříví lze v českém lesnictví logicky pozorovat naopak klesající trend hodnoty zásob smrku, kdy od roku 2014 během pěti následujících let klesla zásoba smrku v lesích ČR z 511 mil. m³ na 430 mil. m³, přičemž lze předpokládat, že tento trend i nadále trvá (Adolt et al.; 2020).

Současný stav rozšíření lýkožrouta smrkového na území ČR tak lze na základě výše uvedených hodnot bez pochyby označit jako „kůrovcovou kalamitu“, tedy disturbanci lesních porostů biotického původu o takovém rozsahu, který představuje výrazné narušení běžné hospodářské činnosti (Modlinger and Trgala; 2019). V historii

tuzemského lesnictví již byly popsány čtyři rozsáhlá přemnožení lýkožrouta smrkového způsobující rozsáhlé kalamity ve smrkových porostech³, nyní tak lze hovořit o páté kůrovcové kalamitě v ČR, která je však z hlediska rozsahu způsobených škod a délky trvání tou nejvýznamnější.

Dle Zahradníka a Zahradníkové (2019) započala současná kůrovcová kalamita již v roce 2003. Hlásny et al. (2021), jenž hodnotil hlavní příčiny této kůrovcové krize v období 2003 – 2019, se zaměřením na období let 2017 – 2019, zjistil, že vliv větru na populační dynamiku lýkožrouta smrkového se v tomto období snižoval a nebyl tak dominantním faktorem, jak jiní autoři předpokládali (např. Zahradník and Zahradníková; 2019). Hlásny et al. (2021) ve své studii zároveň určil, že současná epidemie šíření lýkožrouta smrkového, jež dosáhla nebývalých rozměrů a způsobila v některých regionech celkové vyčerpání zásob smrku, byla zapříčiněna převážně suchem. Za nejhůře postiženou oblast během této kalamity lze bezpochyby označit severní Moravu, území Slezska, geomorfologickou oblast Českomoravské vrchoviny a pruh táhnoucí se podél jižních hranic ČR od Znojma až po Tachov. V posledních měsících je nejvíce zasažená oblast Vysočiny a severních Čech (Zahradník; 2022).

Z hlediska dalšího možného vývoje lýkožrouta smrkového na území ČR je vhodné zmínit Prognózu vývoje kůrovcové kalamity, kterou společně s novou platformou pro šíření informací o lesích v ČR představil Hlásny et al. (2021). Ten na základě předpokladu jisté setrvačnosti vývoje kůrovcové kalamity pomocí statistické metody pro analýzu časových řad ARIMA predikoval pro jednotlivé okresy z údajů o nahodilých těžbách převzatých ze zpravodajů Lesní ochranné služby a dat Českého statistického úřadu objemy poškození v následujících letech. Hlásny et al. (2021) na základě dosažených výsledků předpokládá, že rok 2022 bude z pohledu probíhající kůrovcové kalamity rokem kulminačním, kdy s 90% pravděpodobností dosáhne rozsah objemů kůrovcových těžeb 29 – 52 mil. m³, přičemž hned v 19 okresech dojde již v tomto roce k vyčerpání zdrojů zásob smrku nad 50 let a poklesu nahodilých těžeb, resp. objemu napadených stromů. Jako okresy, kde

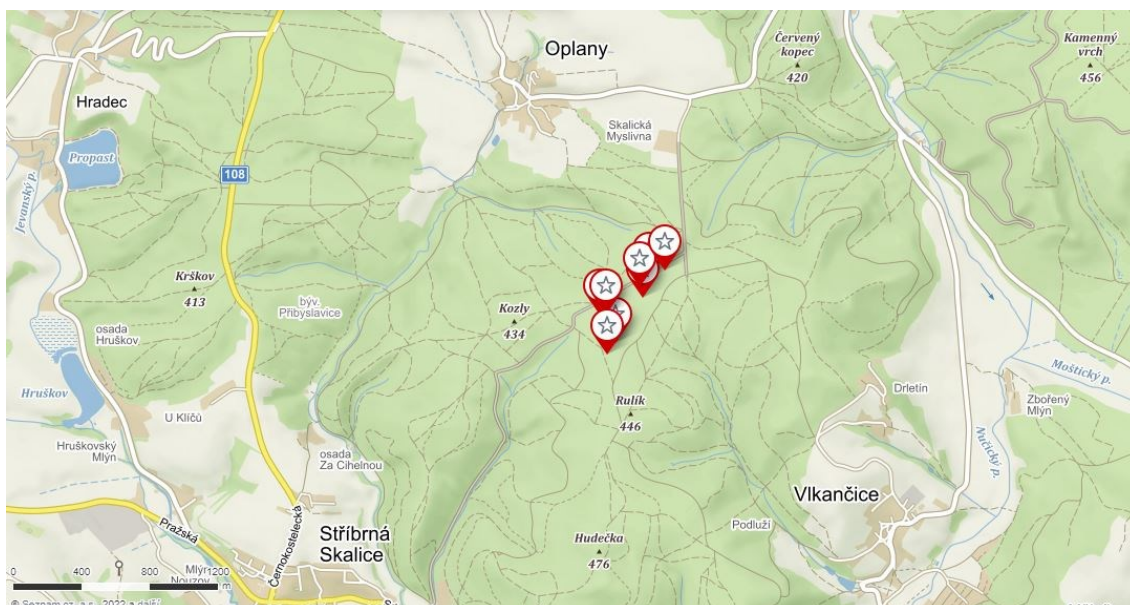
³ Dle Zahradníkové a Zahradníka (2019) první rozsáhlá kůrovcová kalamita proběhla v českých lesích v oblasti Šumavy po vichřicích mezi lety 1868 – 1878, druhá pak v horských oblastech v důsledku zanedbání lesnické péče ve válečném období v letech 1944 - 1952, třetí kalamita následovala prakticky na celém území ČR v letech 1983 - 1988 jako následek extrémně suchých let a čtvrtá mezi lety 1993 – 1996 též v důsledku abnormálního sucha a vysokých teplot ve vegetačním období.

i v případě meziročního poklesu bude situace i nadále kritická, označuje Děčín, Jihlavu a Žďár nad Sázavou.

3 METODIKA ZPRACOVÁNÍ

3.1 Popis lokality

Sběr dat vyhodnocovaných v této diplomové práci probíhal na pozemcích severně od města Stříbrná Skalice, jež jsou součástí Školního lesního podniku České zemědělské univerzity v Kostelci nad Černými lesy. Jedná se o poměrně rovinatou lokalitu v nadmořské výšce 430 m n. m. ve Středočeském kraji nacházející se v těsné blízkosti řeky Sázavy jihovýchodně od města Říčany, která byla historicky spojena s těžbou stříbra. Z hlediska geomorfologického členění je sledovaná oblast součástí Středočeské pahorkatiny (přírodní lesní oblast 10), konkrétně Benešovské pahorkatiny, resp. Březnické pahorkatiny. Mapové znázornění sledované lokality je zobrazeno v níže přiložené mapě (Obr. č. 1).



Obr. č. 1 – Mapové znázornění sledované lokality

Studovanou oblast lze vzhledem k výskytu částečně oglejených půd středních poloh, zdejší průměrné roční teplotě 7–7,5 °C a průměrnému ročnímu úhrnu srážek 600 mm označit za teplejší a sušší oblast, jejíž potenciální přirozenou vegetací jsou dubové a bukové lesy (lesní vegetační stupeň 3 – dubobukový). Nyní se zde však nachází alochtonní smrkové téměř monokulturní porosty (s příměsí borovice, resp. modřínu) ve věku přibližně 90 - 95 let se zakmeněním 8, resp. 9. Z hlediska kategorizace se jedná o lesy určené k lesnickému výzkumu a lesnické výuce (Lesní hospodářský plán; 2011 - 2020).

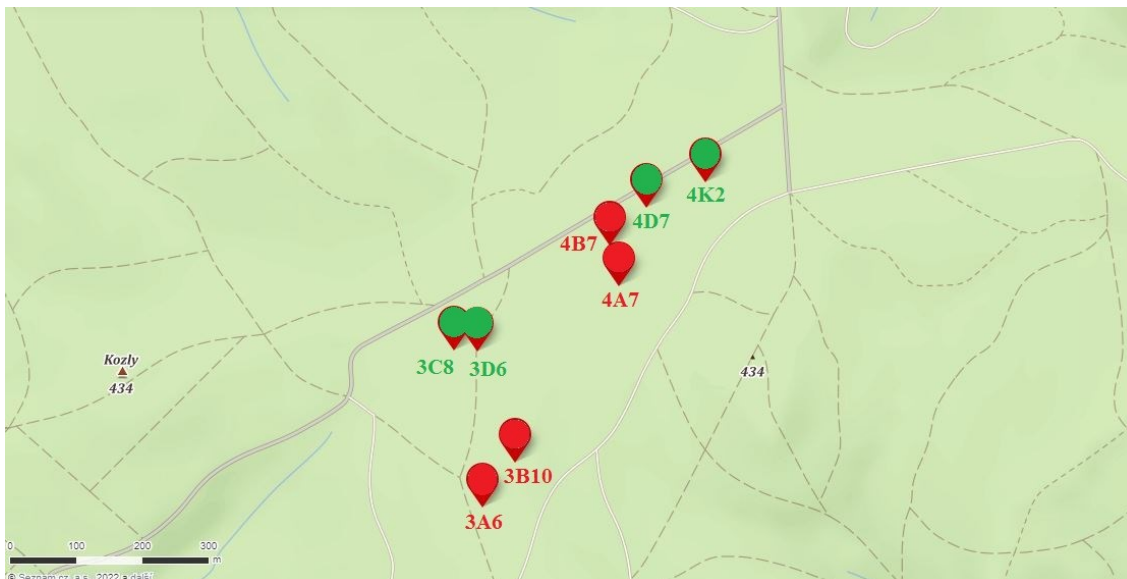
3.2 Získávání dat

V období od 29. dubna do 10. srpna roku 2021 byly ve výše popsané lokalitě na osmi stojících stromech smrku ztepilého - *Picea abies* (H. Karst.), z nichž polovina byla v tomto období napadena lýkožroutem smrkovým, instalovány přístroje měřící v hodinových intervalech teploty ve vrstvách jejich lýka a teploty vzduchu v jejich těsné blízkosti. Označení jednotlivých pozorovaných stromů včetně jejich GPS souřadnic v souřadnicovém systému WGS84 a stav jejich napadení je uveden v následující tabulce č. 1:

Tab. č. 1 – Označení jednotlivých sledovaných stromů a stav jejich napadení

| číslo stromu | napadení | GPS souřadnice |
|---------------------|-----------------|-----------------------------|
| 3A6 | napadený | 49.9107211N, 14.8738722E |
| 3B10 | napadený | 49.9113339N, 14.8745761E |
| 3C8 | nenapadený | 49.9128478N, 14.8732850E |
| 3D6 | nenapadený | 49.9128353N, 14.8737789E |
| 4A7 | napadený | 9.9137228N, 14.8767581E |
| 4B7 | napadený | 49.9142775N, 14.8765611E |
| 4D7 | nenapadený | 49.9147792N, 14.8773436E |
| 4K2 | nenapadený | 49.9151322N, 14.8785803E |

Rozmístění jednotlivých sledovaných stromů je zobrazeno v níže přiložené mapě (Obr. č. 2). Pro zpřehlednění jsou jednotlivé stromy barevně označeny dle zaznamenaného stavu jejich napadení v průběhu sledovaného období, kde červenou barvu vykazují stromy, které byly v průběhu sledovaného období tímto biotickým škůdcem napadeny, zeleně jsou označeny stromy nenapadené.



Obr. č. 2 – Zobrazení rozmístění jednotlivých sledovaných stromů v mapě

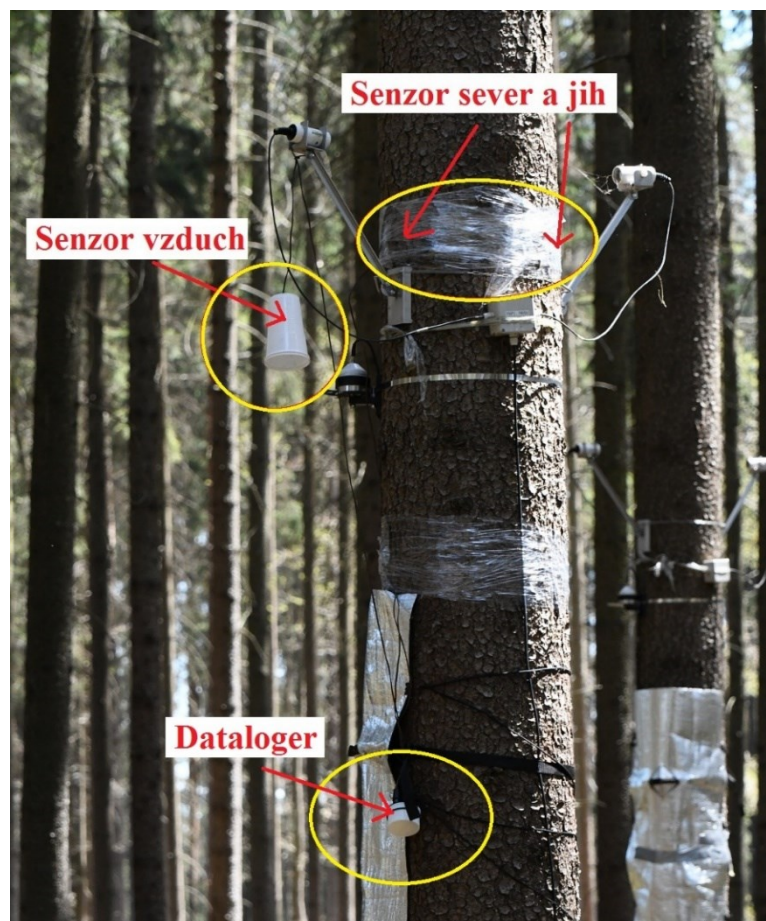
K vyhodnocení mikroklimatických podmínek těchto stromů byly užity přístroje MicroLog T3 se třemi senzory Senzit D2.

MicroLog T3 jsou poměrně unikátní vodotěsné přístroje, které umožňují s přesností $\pm 0,2$ °C uložit až 50 000 teplotních měření v rozsahu od -20 až do 60 °C. Tyto přístroje jsou opatřeny softwarem EMS MINI32, který ukládá jednotlivá data v HEX souborech, jež je vhodné prostřednictvím tohoto softwaru převést do jiného formátu (Kučera; 2011).

Teplotní senzory Senzit D2 (zobrazeny na Obr. č. 3) byly vždy po dvou kusech umístěny na každý strom ve výšce mezi 2 – 2,5 metru nad zemí, a sice jeden ze senzorů z jižní strany kmene, druhý z jeho severní strany. Třetí z těchto senzorů byl pak umístěn ve stejné výšce v radiačním krytu a měřil teplotu vzduchu (zobrazeno na Obr. č. 4).



Obr. č. 3 – Fotografie senzoru Senzit D2 (autorem fotografie Ing. Roman Modlinger, Ph.D.)



Obr. č. 4 – Fotografie sledovaného stromu s popisem umístění jednotlivých senzorů (autorem fotografie Ing. Roman Modlinger, Ph.D.)

Polovina z osmi sledovaných stromů smrku ztepilého byla v průběhu letního rojení (v období 4. - 7. 6. 2021) navazena agregačním feromonem lýkožrouta smrkového *Pheroprax A*⁴, díky čemuž ve sledovaném období skutečně došlo k jejich napadení lýkožroutem smrkovým a je tak možné v rámci tohoto výzkumu porovnat teplotní hodnoty lýka stromů napadených lýkožroutem smrkovým a stromů tímto škůdcem nenapadených.

U stromů, které jsou v tabulce č. 1 označené jako napadené byly v průběhu sledovaného období v uvedených termínech pozorovaná vývojová stádia lýkožrouta smrkového, jež jsou uvedeny v tabulce č. 2, přičemž je třeba podotknout, že uvedený termín pozorování je ve čtrnáctidenních intervalech vždy v rozsahu třech dnů, a to z toho důvodu, že stav

⁴ Pheroprax A je pasivní biotechnický prostředek ve formě přípravku uvolňujícího páry určený k lákání, monitorování a snižování stavu lýkožrouta smrkového. Užívá se buď ve feromonových lapačích nebo pro zvýšení atraktivity otrávených lapáků (BASF; 2017).

napadení sledovaných stromů v této studii byl pozorován vždy v různém pořadí společně s dalšími stromy, jež jsou součástí jiných studií.

Tab. č. 2 – Stav napadení stromů v průběhu sledovaného období

| | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| termín pozorování | 4. 6. - 7. 6. 2021 | 14. 6. -16. 6. 2021 | 28. 6. - 30. 6. 2021 | 12. 7. - 14. 7. 2021 | 26. 7. - 28. 7. 2021 | 9. 8. - 11. 8. 2021 |
| stav napadení | neobsazené (vnazení) | výskyt vajíček | výskyt larev | výskyt larev | výskyt kukel | opuštěné |

Instalované přístroje měří teploty lýka, resp. teploty vzduchu, v hodinových intervalech. K tomuto je třeba poznamenat, že během celého sledovaného období nedošlo k žádnému, byť jen krátkému výpadku v měření, a v předloženém výzkumu jsou tak zpracovány kompletní nijak nezkreslené hodnoty, tedy u každého ze tří senzorů 24 teplotních údajů za každý den sledovaného období (103 dní).

3.3 Zpracování dat

Prvním krokem v rámci zpracování naměřených hodnot bylo jejich převedení z HEX souborů prostřednictvím softwaru EMS MINI32 do souboru .xlsx kompatibilního s aplikací Microsoft Excel. Tímto postupem bylo pro každý z osmi sledovaných stromů vygenerováno celkem 7416 teplotních hodnot a sloupec obsahující datum a konkrétní časový údaj.

Vzhledem k velkému rozsahu takto získaných dat bylo autorem této práce jejich množství zredukováno zjištěním průměrných denních teplot na jednotlivých senzorech pomocí nástroje kontingenčních tabulek v aplikaci Microsoft Excel. Průměrné denní teploty jakožto proměnná byly autorem této práce zvoleny nejen z důvodu zjednodušení, nýbrž i proto, že pro prokázání vlivu napadení lýkožroutem smrkovým na teplotu lýka dotčených stromů jsou plně průkazné a dostačující.

Dalším krokem postupu v rámci tohoto výzkumu bylo vytvoření liniových grafů pro každý sledovaný strom (3A6, 3B10, 3C8, 3D6, 4A7, 4B7, 4D7, 4K2) a separátních grafů vždy pro konkrétní senzor (sever, jih, vzduch). Tyto grafy jsou umístěny v přílohách této diplomové práce (Příloha č. 1 – Příloha č. 11). K podobě těchto grafů je třeba

poznámenat, že pro každou kategorii zobrazovanou v takto vytvořených grafech byla zvolena vždy stejná barva, přičemž u liniových grafů pro jednotlivé stromy se jedná o barvu černou zobrazující průměrné denní teploty na severních senzorech, barvu červenou zobrazující průměrné denní teploty na jižních senzorech a barvu modrou zobrazující průměrné denní teploty vzduchu v těsné blízkosti sledovaných stromů. U liniových grafů pro jednotlivé senzory byly zvoleny barvy zelená a červená, přičemž zelená barva vyjadřuje konkrétní hodnotu průměrné denní teploty stromů lýkožroutem smrkovým nenapadených, červená barva pak konkrétní hodnotu průměrné denní teploty stromů tímto škůdcem ve sledovaném období napadených.

3.4 Statistické vyhodnocení

Pro statistické vyhodnocení rozdílů teploty lýka mezi stromy lýkožroutem smrkovým napadenými a tímto škůdcem nenapadenými je použit dvouvýběrový t-test o průměrech pro nezávislé vzorky. Prvním krokem tohoto testu je stanovení testované hypotézy. Pro severní i jižní senzor vypadá nulová hypotéza následovně:

$$H_0: \mu_{\text{napadené}} = \mu_{\text{nenapadené}}$$

Tedy, že průměrné denní teploty lýka stromů napadených (ať už na jižní nebo severní straně), jsou na témže senzoru rovny průměrným denním teplotám lýka stromů nenapadených.

Vzhledem k již dosaženým poznatkům jiných autorů (např. Annila; 1969) je však možné předpokládat, že teploty lýka stromů napadených jsou ve sledovaném období vyšší, než průměrné denní teploty lýka stromů lýkožroutem smrkovým nenapadených, a proto je zvolena tato alternativní hypotéza:

$$H_1: \mu_{\text{napadené}} > \mu_{\text{nenapadené}}$$

Tedy, že průměrné denní teploty lýka stromů napadených (ať už na jižní nebo severní straně), jsou vyšší než průměrné denní teploty lýka stromů nenapadených (na stejném senzoru).

Dalším krokem je určení testovacího kritéria, které (s ohledem na to, že $n_1 = n_2$) zjistíme prostřednictvím tohoto vzorce:

$$U = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / [\sqrt{(s_1^2/n_1) + (s_2^2/n_2)}]$$

kde: \bar{x}_1 hodnota průměrných denních teplot stromů napadených
 \bar{x}_2 hodnota průměrných denních teplot stromů nenapadených
 s_1 směrodatná odchylka průměrných denních teplot stromů napadených
 s_2 směrodatná odchylka průměrných denních teplot stromů nenapadených
 n_1 počet testovaných hodnot u stromů napadených
 n_2 počet testovaných hodnot u stromů nenapadených

Následně je třeba určit kritický obor, tedy obor hodnot, který svědčí ve prospěch alternativní hypotézy H_1 .

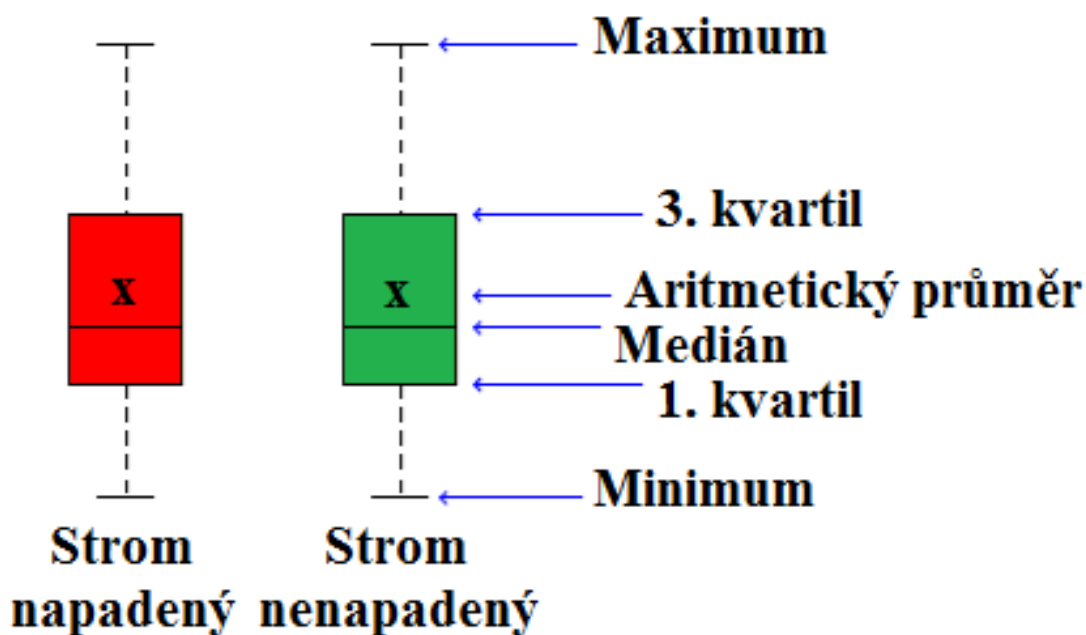
$$W \alpha = \{ U \geq (u_1 - \alpha/2) \}$$

V případě, že kritický obor $W \alpha$ nebude splněn, nelze na stanovené hladině významnosti zamítnout nulovou hypotézu H_0 , naopak pokud bude určeno, že kritický obor $W \alpha$ bude splněn, pak lze v rozsahu testovaných hodnot zamítnout nulovou hypotézu H_0 a přijmout alternativní hypotézu H_1 (Lepš and Šmilauer; 2016).

Pro grafické zobrazení porovnávaných hodnot je použit krabicový graf označovaný též jako „*boxplot*“, který prostřednictvím grafické vizualizace umožňuje znázornění šesti hodnot, tedy maxima, minima, mediánu, aritmetického průměru a hranici prvního a třetího kvartilu sledovaného souboru dat.

Střední část diagramu, tj. „krabicová“ část je shora ohraničena 3. kvantilem, zespodu 1. kvantilem a zobrazuje tak 50 % všech hodnot. V této části diagramu se též nachází bod x , jenž značí jeho aritmetický průměr, a linie, která vymezuje medián daného souboru hodnot, přičemž její umístění uprostřed „krabicové“ části diagramu značí normální rozdělení zkoumaných hodnot. Linie vycházející ze střední části diagramu kolmo směrem nahoru a dolů se označují jako „vousy“ a vyjadřují variabilitu dat nad třetím a pod prvním kvantilem. Odlehlé hodnoty, které se vyjadřují jednotlivými body nad tyto linie se v testovaných souborech dat nevyskytují (Lepš and Šmilauer; 2016).

Pro rozlišení stromů napadených a nenapadených jsou jednotlivé krabicové grafy rozlišeny barevně, a sice červená barva značí stromy lýkožroutem smrkovým napadené, zelená barva stromy tímto škůdcem nenapadené. Vzorové znázornění krabicového grafu s popisem znázorňujících hodnot je zobrazeno na Obr. č. 5.



Obr. č. 5 – Vzorové znázornění krabicového grafu sledovaných stromů

Kromě vizualizace porovnávaných hodnot prostřednictvím krabicových grafů je v této práci k posouzení vlivu napadení lýkožroutem smrkovým na teplotu lýka stromu užito též zobrazení lineárními trendovými křivkami v bodových grafech naměřených hodnot, jež popisují vztah porovnávaných veličin a poskytují pohled na jejich hodnoty a intenzitu, včetně predikce do dalších období.

Vzájemná závislost mezi teplotami naměřenými na jednotlivých senzorech je vyhodnocena prostřednictvím Pearsonova korelačního koeficientu, jehož výpočet byl proveden v aplikaci Microsoft Excel. Normalita rozdělení porovnávaných hodnot byla ověřena vizuálně v příložených krabicových grafech. Vypočtená lineární závislost mezi dvěma proměnnými může pomocí této statistické metody nabývat hodnot od -1 do 1 s tím, že výsledky blíží se hodnotě nula znamenají neexistenci lineárního vztahu, výsledky v intervalu 0,1-0,3 znamenají ze statistického hlediska slabý lineární vztah, výsledky v rozmezí 0,3-0,5 středně silný lineární vztah a výsledky nad hranicí 0,5 poukazují na silný lineární vztah. V případě kladného výsledku hodnoty obou proměnných zároveň stoupají, v případě záporné korelace působí tyto hodnoty antagonisticky. Stanovený lineární vztah je nezávislý na jednotkách původních proměnných a je tak platný pouze v rozmezí daném použitými daty (Matematická biologie; 2018).

4 VÝSLEDKY

4.1 Rozdíl mezi teplotami naměřenými jednotlivými senzory

Závislost mezi teplotou lýka naměřenou na jižní i severní straně kmene a teplotou vzduchu v jeho těsné blízkosti prokazuje vypočítaný Pearsonův korelační koeficient za celé sledované období, jenž v případě průměrné denní teploty lýka (bez ohledu na orientaci umístění senzoru na kmeni vůči světovým stranám) a průměrné denní teploty vzduchu jakožto proměnných dosahuje u všech sledovaných stromů hodnoty $r = 0,99$. Tato hodnota značí statisticky významnou – velmi silnou, téměř ideální kladnou lineární závislost mezi těmito veličinami. Ačkoliv je lineární vztah prokázáný prostřednictvím korelačního koeficientu nezávislý na jednotkách původních proměnných a je platný pouze v rozmezí daném použitými daty, lze s ohledem na působení přirozených procesů zcela nepochybně dovést přímý kauzální vztah mezi působením teploty vzduchu na teplotu lýka sledovaných stromů.

Senzor sever X senzor vzduch

Rozdíly mezi průměrnou denní teplotou lýka naměřenou na senzoru umístěném na severní straně kmene a průměrnou denní teplotou vzduchu se ve sledovaném období pohybovaly v rozmezí 0 - 2,67 °C (průměrně o 0,35 °C ve prospěch senzoru sever), přičemž nejvyšší teplotní rozdíly mezi těmito proměnnými ve prospěch senzoru na severní straně byl zaznamenán dne 12. 5. 2021 (4A7 a 4B7 – 2,67 °C, 4D7 – 2,46). Naopak nejvyšší teplotní rozdíl mezi těmito proměnnými ve prospěch senzoru měřícího teplotu vzduchu zachytily senzory o dva dny dříve, tj. 10. 5. 2021 (3B10 – 1,48 °C, 4B7 – 1,35 °C). V tomto kontextu je nutno poznamenat, že tyto teplotní anomálie byly zaznamenány ještě v době před napadením některých ze sledovaných stromů lýkožroutem smrkovým a nelze tak v tomto ohledu prokázat jeho jakýkoliv vliv.

Senzor jih X senzor vzduch

Rozdíly mezi průměrnou denní teplotou lýka naměřenou na senzoru umístěném na jižní straně kmene a průměrnou denní teplotou vzduchu se ve sledovaném období pohybovaly v rozmezí 0 - 3,7 °C (průměrně o 1,15 °C ve prospěch senzoru jih), přičemž nejvyšší teplotní rozdíly mezi těmito proměnnými ve prospěch senzoru na jižní straně byly pozorovány u stromu 3A6, konkrétně ve dnech 21. 6. 2021 (3,7 °C), 8. 6. 2021 (3,34 °C) a 5. 6. 2021 (3,3 °C). Z časového hlediska tak tyto výše uvedené nejvyšší teplotní rozdíly

byly zaznamenány v termínu vnazení tohoto stromu agregačním feromonem lýkožrouta smrkového, resp. v období, kdy byl na tomto stromě zaznamenán výskyt vajíček tohoto škůdce. S ohledem na skutečnost, že byl tento jev pozorován pouze na jednom sledovaném stromě, nelze předpokládat žádný kauzální vztah mezi těmito jevy. Nejvyšší teplotní rozdíl ve prospěch senzoru měřícího teplotu vzduchu ku naměřeným teplotám lýka na jižním senzoru byl pozorován u stromu 4K2, konkrétně ve dnech 6. 7. 2021 (1,1 °C), 16. 7. 2021 (0,9 °C) a 10. 7. 2021 (0,7 °C). K tomuto je nutno poznamenat, že strom 4K2 zůstal po celé sledované období nenapadený, a proto ani zde nelze v tomto ohledu hodnotit jakýkoliv vliv lýkožrouta smrkového.

Senzor sever X senzor jih

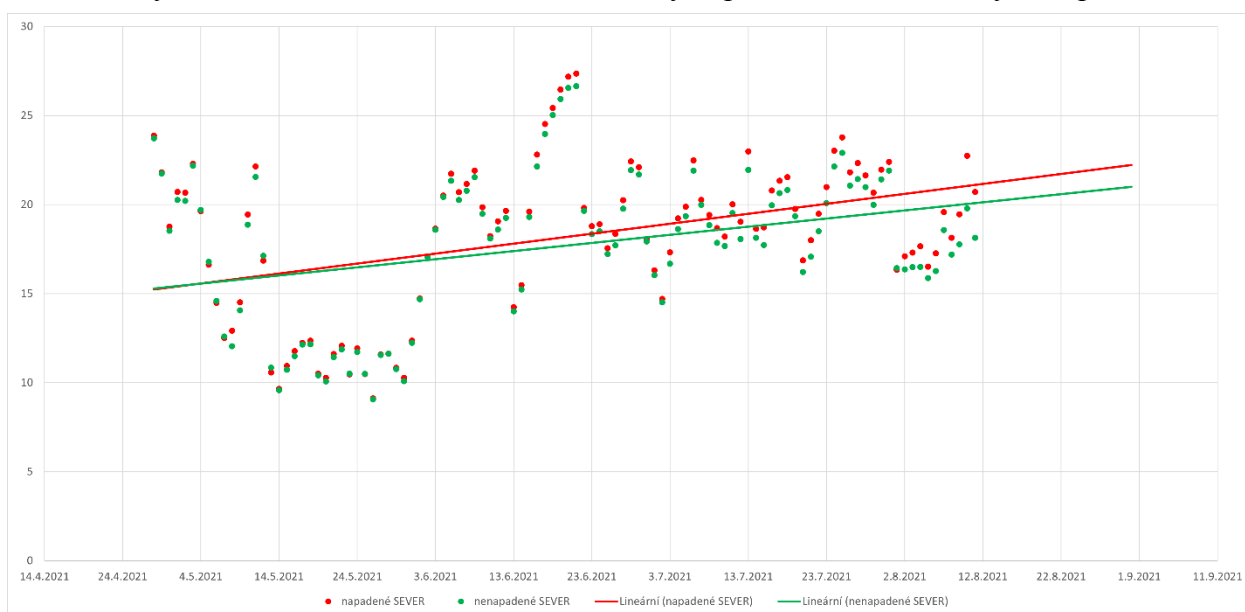
Rozdíly mezi průměrnou denní teplotou lýka naměřenou na senzoru umístěném na jižní straně kmene a na senzoru umístěném na severní straně kmene se ve sledovaném období pohybovaly v intervalu 0 – 3,08 °C (průměrně o 0,81 °C ve prospěch senzoru jih), přičemž nejvyšší teplotní rozdíly mezi těmito proměnnými ve prospěch senzoru na jižní straně byly zaznamenány dne 30. 7. 2021 na stromě 3A6 (3,08 °C), dne 15. 6. 2021 na stromě 3B10 (2,96 °C) a dne 7. 8. 2021 opět na stromě 3A6 (2,78 °C). Jak strom 3A6, tak 3B10 byly v průběhu sledovaného období lýkožroutem smrkovým napadeny. Naopak nejvyšší teplotní rozdíly ve prospěch senzoru měřícího teplotu vzduchu na severní straně kmene byly zjištěny na stromě 4D7 ve dnech 30. 6. 2021 (1,05 °C), 10. 6. 2021 (1 °C) a 15. 6. 2021 (0,87 °C). Vzhledem k tomu však, že tento strom zůstal po celé sledované období lýkožroutem smrkovým nenapadený, nelze tomuto škůdci žádný vliv v tomto ohledu přisuzovat.

Liniové grafy zobrazující průměrné denní teploty lýka naměřené senzory sever a jih a průměrné denní teploty vzduchu pro každý sledovaný strom a separátní liniové grafy zobrazující tytéž hodnoty vždy pro konkrétní senzor jsou přílohou této diplomové práce (Příloha č. 1 – příloha č. 11).

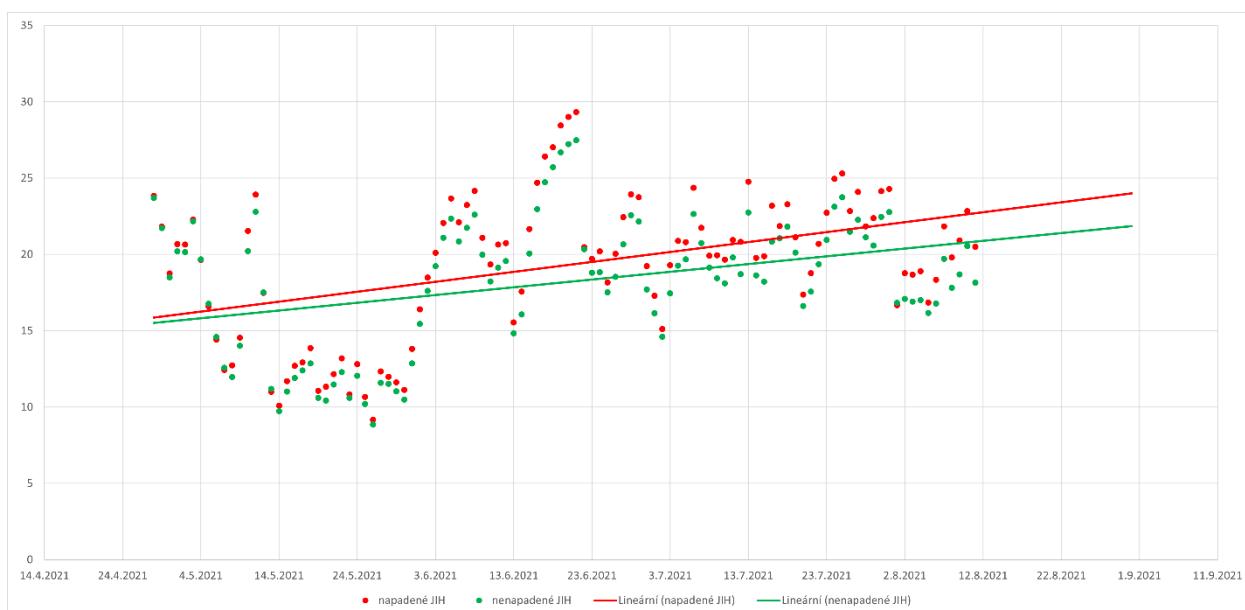
4.2 Vliv napadení lýkožroutem smrkovým na teplotu lýka stromu

V průběhu sledovaného období, tj. od 29. 4. do 10. 8. 2021, lze dle níže přiložených grafů zobrazujících lineární trendové křivky průměrných denních teplot lýka stromů lýkožroutem smrkovým napadených a stromů tímto škůdцем nenapadených pozorovat

rozdíl mezi porovnávanými hodnotami, přičemž lze v tomto směru dále konstatovat, že tento rozdíl mezi teplotami lýka stromů napadených a nenapadených se v čase zvyšuje. Platí tedy, že průměrná teplota lýka stromů napadených roste v průběhu sledovaného období rychleji, než u stromů nenapadených. Při porovnání naměřených hodnot na senzorech sever a jih lze konstatovat, že rozdíly mezi trendovými křivkami průměrných denních teplot lýka naměřených na senzoru umístěném na jižní straně kmene jsou výraznější, než rozdíly mezi trendovými křivkami průměrných denních teplot lýka naměřených na senzoru umístěném na severní straně kmene. Na níže uvedených grafech (Graf č. 1 a 2) jsou zobrazeny vizualizace těchto vztahů, které poskytují pohled na jejich hodnoty a intenzitu. Červená barva značí stromy napadené, zelená stromy nenapadené.



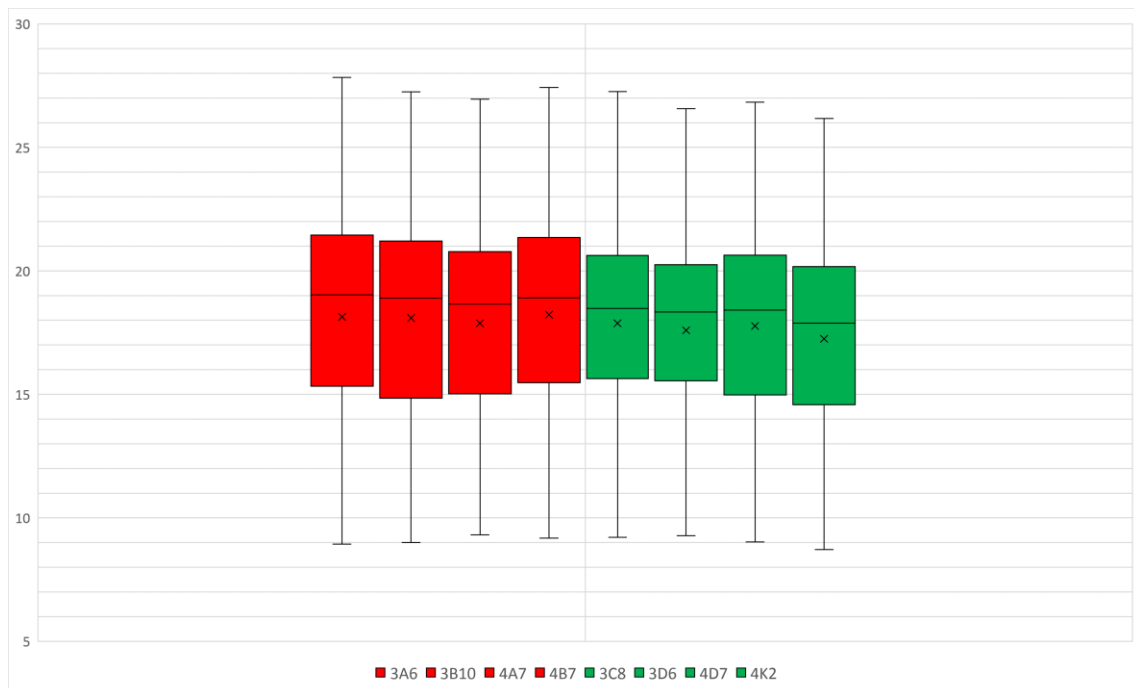
Graf č. 1 – Zobrazení lineárních trendových křivek průměrných denních teplot lýka na senzorech sever



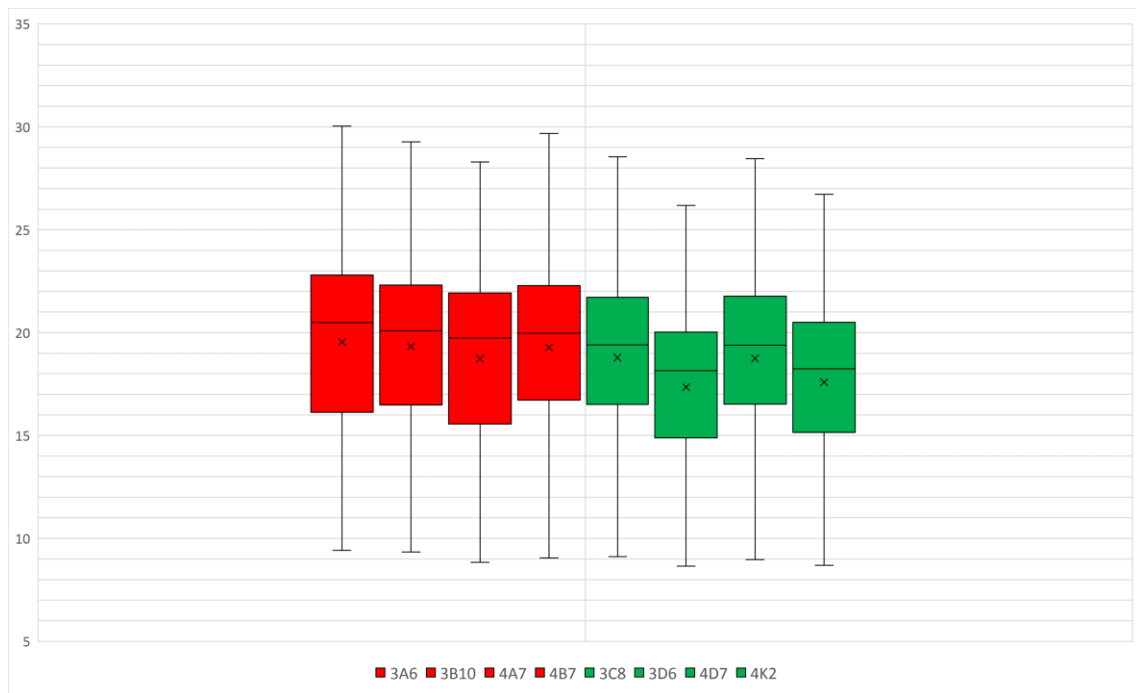
Graf č. 2 – Zobrazení lineárních trendových křivek průměrných denních teplot lýka na senzorech jih

Statistické vyhodnocení průměrných denních teplot lýka mezi stromy lýkožroutem smrkovým napadenými a stromy tímto škůdcem nenapadenými je provedeno prostřednictvím dvouvýběrového t-testu o průměrech pro nezávislé vzorky. Předpoklady pro jeho použití jsou splněny, neboť oba zkoumané soubory průměrných denních teplot lýka jsou na sobě nezávislé a pochází z normálního rozdělení. Nezávislost obou proměnných lze odvodit z jejich charakteru, když jednotlivé údaje pochází z osmi zcela odlišných náhodně vybraných stromů, normální rozdělení pak potvrzují níže uvedené krabicové grafy (Graf č. 3 a 4), jež neobsahují žádné odlehlé hodnoty a v nichž uvedená data odpovídají tvaru normálního rozdělení, a to jak na senzorech jižních, tak severních.

K níže přiloženým krabicovým grafům (Graf č. 3 a 4) je třeba podotknout, že zobrazují průměrné denní teploty lýka na jednotlivých senzorech za celé sledované období, tj. u napadených stromů včetně období před jejich napadením. Z tohoto důvodu jsou zobrazené rozdíly mezi teplotami lýka u stromů napadených a nenapadených méně výrazné, než v případě zobrazení těchto hodnot v rámci menších časových úseků, které je provedeno v další části této kapitoly.



Graf č. 3 – Vizualizace průměrných denních teplot lýka zaznamenaných za celé sledované období na senzorech sever (červená barva zobrazuje porovnávané teploty lýka stromů napadených, zelená barva stromů nenapadených)



Graf č. 4 – Vizualizace průměrných denních teplot lýka zaznamenaných za celé sledované období na senzorech jih (červená barva zobrazuje porovnávané teploty lýka stromů napadených, zelená barva stromů nenapadených)

Právě proto, že napadené stromy nebyly napadeny lýkožroutem smrkovým od počátku sledovaného období, jsou pro statistické vyhodnocení omezeny soubory porovnávaných teplot lýka právě na období zaznamenaného napadení tímto škůdcem. Dle předpokladů před samotným napadením jsou hodnoty průměrných denních teplot lýka na jednotlivých senzorech stromů napadených i nenapadených (ať už na jižní nebo severní straně kmene) takřka obdobné, přičemž pozorované minimální rozdíly mezi těmito teplotami je třeba přisuzovat mikroklimatickým anomáliím způsobeným umístěním těchto stromů v porostu, a nikoliv vlivu napadení lýkožroutem smrkovým, který je předmětem této práce.

Prvním krokem v rámci samotného dvouvýběrového t-testu o průměrech pro nezávislé vzorky je stanovení testovaných hypotéz.

Pro senzor měřící teplotu lýka na severní straně byly stanoveny tyto hypotézy:

$$H_0_{\text{sever}} : \mu_{\text{napadenéSEVER}} = \mu_{\text{nenapadenéSEVER}}$$

$$H_1_{\text{sever}} : \mu_{\text{napadenéSEVER}} > \mu_{\text{nenapadenéSEVER}}$$

Obdobně pro senzor měřící teplotu lýka na jižní straně byly stanoveny následující hypotézy:

$$H_0_{jih} : \mu_{\text{napadenéJIH}} = \mu_{\text{nenapadenéJIH}}$$

$$H_1_{jih} : \mu_{\text{napadenéJIH}} > \mu_{\text{nenapadenéJIH}}$$

Dále byly pro oba senzory určeny testovací kritéria:

$$U_{\text{sever}} = \frac{20,24 - 19,555}{\sqrt{\left[\left(\frac{7,723}{57}\right) + \left(\frac{7,553}{57}\right)\right]}}$$

$$U_{\text{sever}} = 0,685 / \sqrt{0,268}$$

$$U_{\text{sever}} = 1,33$$

$$U_{\text{jih}} = \frac{21,615 - 20,169}{\sqrt{\left[\left(\frac{9,453}{57}\right) + \left(\frac{8,255}{57}\right)\right]}}$$

$$U_{\text{jih}} = 1,446 / \sqrt{0,314}$$

$$U_{\text{jih}} = 2,58$$

A následně i kritické obory hodnot, které svědčí ve prospěch alternativní hypotézy H_1 .

Pro senzory umístěné na severní straně kmene:

- Na hladině významnosti $\alpha = 5 \%$: $W_{\text{SEVER}95} = \{ 1,33 \geq 2,003 \}$
 - Vzhledem k tomu, že $W_{\text{SEVER}95}$ není splněn, nelze na 5% hladině významnosti zamítnout nulovou hypotézu H_0 o tom, že teploty lýka sledovaných stromů měřených na severní straně kmene se neliší u stromů napadených i nenapadených lýkožroutem smrkovým, neboť se neprokázalo, že se tyto hodnoty na stanovené hladině významnosti od sebe statisticky liší.
- na hladině významnosti $\alpha = 10 \%$: $W_{\text{SEVER}90} = \{ 1,33 \geq 1,673 \}$
 - Vzhledem k tomu, že ani $W_{\text{SEVER}90}$ není splněn, nelze ani na 10% hladině významnosti zamítnout nulovou hypotézu H_0 o tom, že teploty lýka sledovaných stromů měřených na severní straně kmene se neliší u stromů napadených i nenapadených lýkožroutem smrkovým, neboť se neprokázalo, že se tyto hodnoty na stanovené hladině významnosti od sebe statisticky liší.
- na hladině významnosti $\alpha = 20 \%$: $W_{\text{SEVER}80} = \{ 1,33 \geq 1,297 \}$
 - Nejvyšší možná hladina významnosti, na které lze v rozsahu testovaných hodnot zamítnout nulovou hypotézu H_0 o tom, že teploty lýka sledovaných stromů měřených na severní straně kmene se neliší

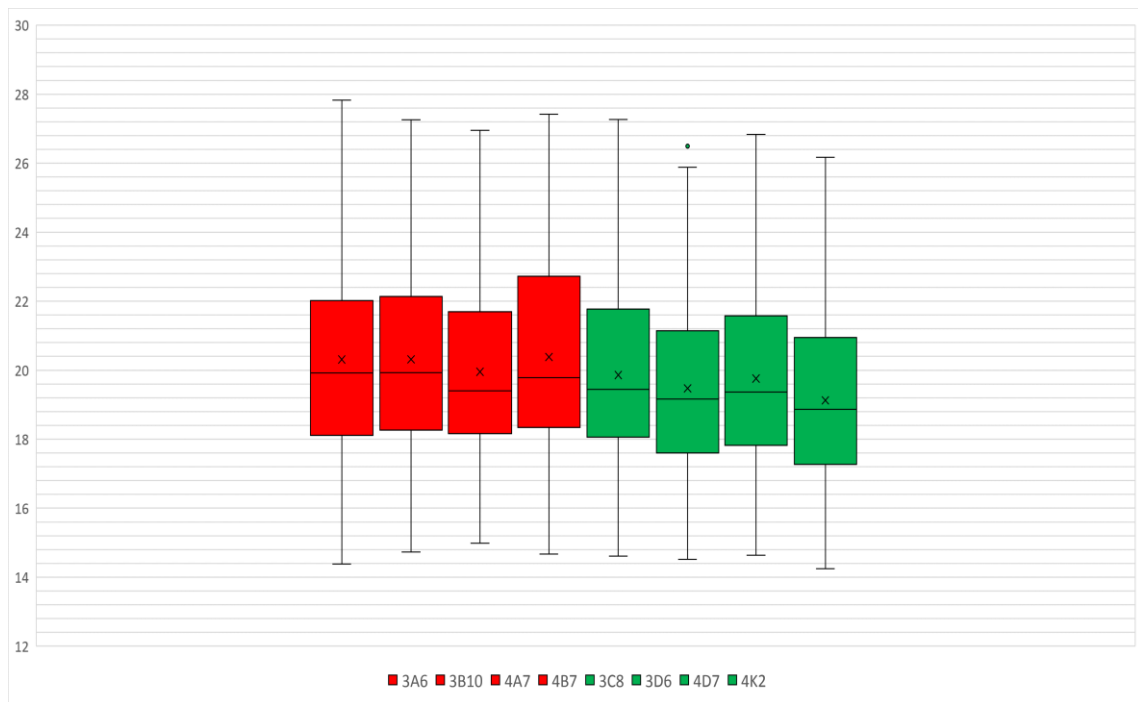
u stromů napadených i nenapadených lýkožroutem smrkovým, a naopak přijmout alternativní hypotézu H_1 o tom, že teploty lýka sledovaných stromů měřených na severní straně jejich kmene jsou vyšší u stromů tímto škůdcem napadených, než u stromů jím nedotčených, je 20 %.

Pro senzory umístěné na jižní straně kmene:

- na hladině významnosti $\alpha = 5 \%$: $W_{JH95} = \{ 2,58 \geq 2,003 \}$
 - Na základě výše uvedeného, lze konstatovat, že na 5% hladině významnosti lze zamítnout nulovou hypotézu H_0 o tom, že teploty lýka sledovaných stromů měřených na jižní straně kmene se neliší u stromů napadených i nenapadených lýkožroutem smrkovým, a naopak přijmout alternativní hypotézu H_1 o tom, že teploty lýka sledovaných stromů měřených na jižní straně jejich kmene jsou vyšší u stromů tímto škůdcem napadených, než u stromů jím nenapadených.

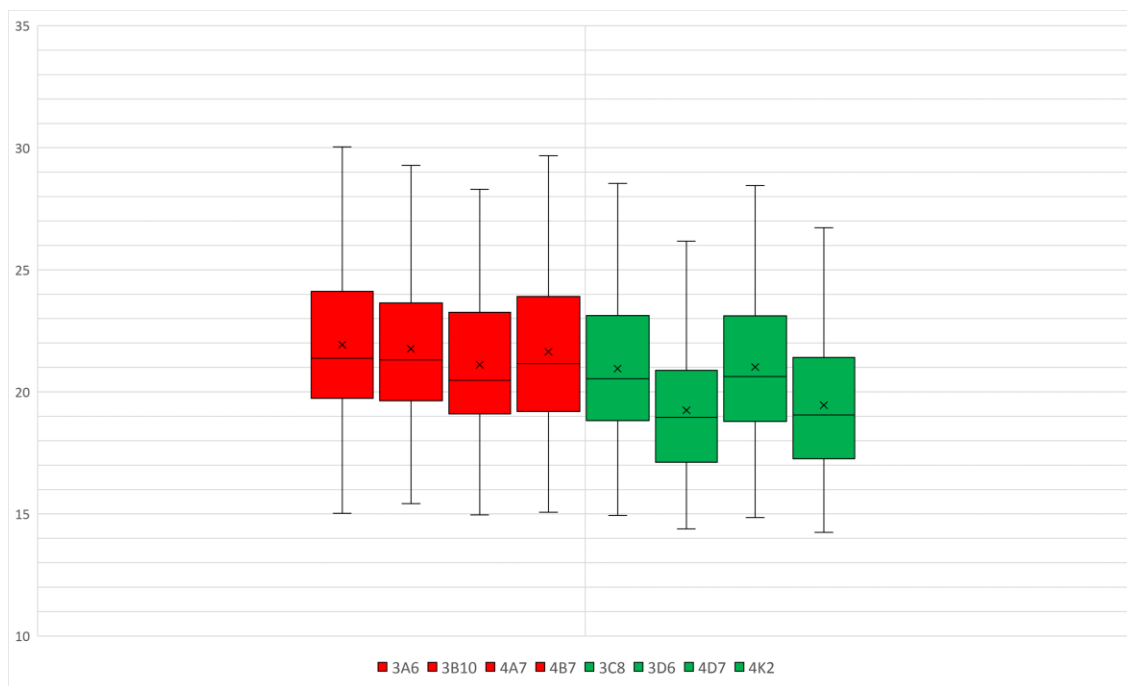
Grafickou vizualizaci vlivu napadení lýkožroutem smrkovým na průměrné denní teploty lýka na jednotlivých senzorech zobrazují níže přiložené krabicové grafy (Graf č. 5 a 6), které plně korelují s výsledky dosaženými dvouvýběrovým t-testem o průměrech pro nezávislé vzorky.

Konkrétně v níže přiloženém grafu č. 5 zobrazujícím teploty lýka jednotlivých stromů v jejich severně orientované části je patrný jen méně významný rozdíl ve prospěch teplot lýka stromů napadených vůči stromům nenapadeným. Zatímco u stromů nenapadených označených jako 3D6 a 4K2 je rozdíl ve střední „krabicové“ části diagramu vůči stromům napadeným pozorovatelný, u stromu s označením 3C8 je tento rozdíl naprosto zanedbatelný, přičemž v porovnání s napadeným stromem 3A6 je téměř nulový.



Graf č. 5 – Porovnání středních hodnot průměrných denních teplot lýka mezi stromy napadenými a nenapadenými na senzorech sever v období po zaznamenaném napadení (červená barva zobrazuje porovnávané teploty lýka stromů napadených, zelená barva stromů nenapadených)

V příloženém grafu č. 6, který zobrazuje teploty lýka jednotlivých stromů naměřených na jižně orientovaných senzorech, je zcela evidentní výraznější vliv napadení lýkožroutem smrkovým na teplotu lýka, než v předchozím případě. U tří ze čtyř zkoumaných napadených stromů lze pozorovat velice obdobné mediány, pouze u stromu označeného jako 4A7 je tato hodnota záporně posunuta o téměř jeden °C. Tento strom má v porovnání se stromy 3C8 a 4D7, které zůstaly v průběhu celého sledovaného období nenapadené, jen přibližně o desetinu záporně posunutou hranici prvního a třetího kvartilu. U stromů 3D6 a 4K2, které taktéž zůstaly v průběhu celého sledovaného období nenapadené, jsou hodnoty hranice prvního a třetího kvartilu i mediánu přibližně o 2 °C nižší. Tento jev, kdy dva nenapadené stromy vykazují takřka obdobné hodnoty jako stromy napadené, zatímco jiné dva nenapadené stromy hodnoty výrazně odlišné, je nutno hodnotit v širším kontextu a lze tak důvodně předpokládat, že teploty lýka odrážející zdravotní stav stromů označených 3C8 a 4D7 byly negativně narušeny jinými činiteli, než napadením lýkožroutem smrkovým.



Graf č. 6 – Porovnání středních hodnot průměrných denních teplot lýka mezi stromy napadenými a nenapadenými na senzorech jih v období po zaznamenaném napadení (červená barva zobrazuje porovnávané teploty lýka stromů napadených, zelená barva stromů nenapadených)

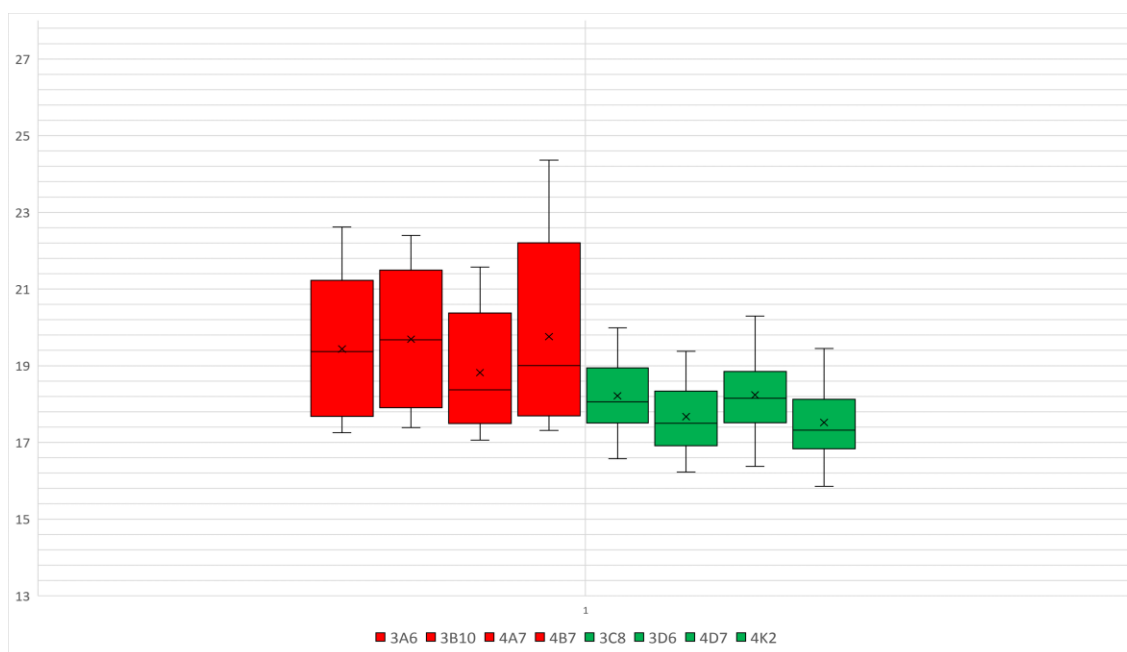
Jak je již nastíněno v předchozí části této práce, rozdíly mezi teplotami lýka stromů napadených a nenapadených lýkožroutem smrkovým se v průběhu sledovaného období různě vyvíjely. Nejvýraznější rozdíly mezi teplotami lýka stromů tímto škůdcem napadených a teplotami lýka stromů jím nenapadených lze dle dosažených výsledků zaznamenat na samém konci sledovaného období, tedy v době, kdy napadené stromy již byly opuštěné (příp. těsně před opuštěním). Porovnání průměrných denních teplot lýka na jednotlivých stromech v období od 5. 8. 2021 do 10. 8. 2021 poskytují níže přiložené krabicové grafy č. 7 a 8. Na obou předkládaných grafech je vliv napadení lýkožroutem smrkovým na teplotu lýka stromů zcela evidentní.

Na severním senzoru lze v tomto období pozorovat naprosto odlišné intervaly hodnot naměřených teplot lýka u skupin stromů napadených a nenapadených. Zatímco teploty lýka stromů lýkožroutem smrkovým nenapadených jsou v tomto období poměrně symetricky uspořádané s téměř dokonalým normálním rozdělením v intervalu o rozsahu maximálně 4 °C mezi minimem a maximem porovnávaných hodnot, rozsah intervalu teplot lýka stromů napadených je variabilní v rozmezí 5,2 – 7,5 °C mezi minimem a maximem porovnávaných hodnot.

Hranice prvního a třetího kvartilu stromů nenapadených na severním senzoru jsou v tomto období od sebe vzdáleny v rozmezí od 1,3 °C do 1,5 °C, přičemž jak horní, tak dolní vousy dosahují maximálně 1,4 °C. U stromů napadených jsou hranice prvního a třetího kvartilu výrazně vzdálenější a pohybují se v rozmezí 3 – 4,6 °C. Hranice horních vousů u stromů napadených se pohybují v rozmezí 0,9 – 2,2 °C, avšak hranice spodních vousů dosahují hodnoty maximálně 0,6 °C, což je hodnota v porovnání se stromy nenapadenými přibližně poloviční.

U stromů nenapadených lze též pozorovat stejně jako u předchozích vizualizací mírně odlišné hodnoty (cca o 0,5 – 1 °C) u stromů 3C8 a 4D7 oproti stromům 3D6 a 4K2, z čehož lze opět zjevně usuzovat negativní narušení zdravotního stavu těchto jedinců jinými činiteli, než napadením lýkožroutem smrkovým.

Na základě výše uvedeného lze zcela zjevně uzavřít, že teplota lýka stromů napadených v období po zaznamenaném opuštění škůdce z těchto stromů, se na severním senzoru zřetelně liší od hodnot teplot lýka stromů, jenž zůstali v průběhu celého sledovaného období nenapadené. Porovnání těchto hodnot poskytuje níže přiložený Graf č. 7.



Graf č. 7 – Porovnání středních hodnot průměrných denních teplot lýka mezi stromy napadenými a nenapadenými na senzorech sever v období od 5. 8. 2021 do 10. 8. 2021 (červená barva zobrazuje porovnávané teploty lýka stromů napadených, zelená barva stromů nenapadených)

Na jižním senzoru lze v období, kdy napadené stromy již byly opuštěné (příp. těsně před opuštěním), tedy v úseku od 5. 8. 2021 do 10. 8. 2021, též pozorovat odlišné (vyšší) hodnoty teploty lýka stromů napadených a nenapadených. Zatímco stromy napadené lze relativně jednotně charakterizovat, u stromů nenapadených jsou opět patrné poměrně výrazné rozdíly (výraznější než na senzoru sever) mezi stromy 3C8 a 4D7 oproti stromům 3D6 a 4K2.

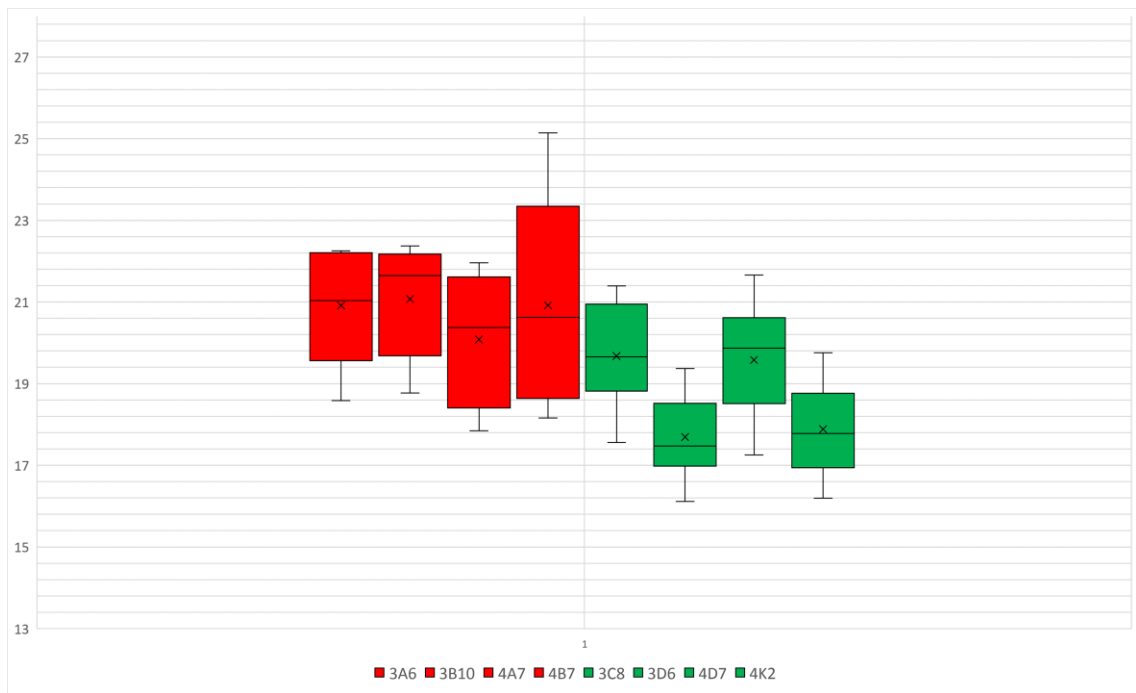
Rozptyl hodnot teplot lýka u stromů nenapadených a napadených (s výjimkou stromu 4B7) je obdobný, liší se však posunutím jednotlivých hodnot na ose

Mediány, maxima i hranice třetích kvartilů jsou u všech napadených stromů vyšší než u všech stromů nenapadených. U napadených stromů 3A6, 3B10 a 4A7 se hranice třetích kvartilů i rozsah jejich horních vousů pohybují v rozmezí do 0,6 °C, pouze strom 4B7 je od ostatních napadených jedinců výrazněji odskočen, a to o 1,2 °C, resp. 1,8 °C od hranic třetích kvartilů a o 3 - 3,2 °C od zaznamenaného teplotního maxima v tomto období. Hranice prvních kvartilů jsou u stromů 4A7 a 4B7 o přibližně 1 °C nižší, než u stromů 3A6 a 3B10.

Jak je již nastíněno výše, nenapadené stromy 3C8 a 4D7 se naměřenými teplotními hodnotami přibližují stromům napadeným, nicméně i jejich porovnávané hodnoty mediánu, třetího kvartilu a maxima jsou nižší než u všech stromů napadených. Hranice prvních kvartilů těchto dvou stromů jsou však vyšší, než u napadených stromů 3A6 a 3B10.

Zbylé dva nenapadené stromy - 3D6 a 4K2 jsou při hodnocení teploty lýka v tomto období výrazně diferenciovány od stromů napadených, přičemž hranice jejich třetích kvartilů dokonce vykazují nižší hodnotu než hranice prvního kvartilu u napadeného stromu 4B7.

Na základě výše uvedeného lze opět zcela jednoznačně konstatovat, že teplota lýka stromů napadených v období po zaznamenaném opuštění lýkožrouta smrkového z těchto stromů se na jižním senzoru výrazně liší od naměřených hodnot teplot lýka stromů, jenž zůstali v průběhu celého sledovaného období nenapadené. Porovnání těchto hodnot poskytuje níže přiložený Graf č. 8.



Graf č. 8 – Porovnání středních hodnot průměrných denních teplot lýka mezi stromy napadenými a nenapadenými na senzorech jih v období od 5. 8. 2021 do 10. 8. 2021 (červená barva zobrazuje porovnávané teploty lýka stromů napadených, zelená barva stromů nenapadených)

5 DISKUZE

Tato diplomová práce je pouze úvodní studií změny teploty lýka stromů v důsledku jejich napadení lýkožroutem smrkovým a není tak sama o sobě schopna přinést kauzální vysvětlení celého problému. Je žádoucí, aby na toto téma byly vypracované další studie, ve kterých bude především zkoumáno a analyzováno větší množství sledovaných stromů. Osm sledovaných stromů v této práci působí jako relativně malý vzorek pro možnost uskutečnění relevantního a přínosného výzkumu, avšak vzhledem k naprosté unikátnosti použitých technologií a s ohledem na počet uskutečněných měření ve sledovaném období, je třeba poznamenat, že i tento vzorek je objektivně hodnotitelný a přináší cenné výsledky.

Kromě rozšíření počtu sledovaných stromů, lze v navazujících studiích uvažovat též o hodnocení dalších údajů týkající se napadení lýkožroutem smrkovým, jako je např. jeho rozsah, dále lze diferencovat věk jednotlivých stromů či sledovat změny rozdílů mezi teplotami lýka a teplotami vzduchu i v průběhu jarního rojení tohoto škůdce. V této souvislosti je totiž nutno upozornit, že ačkoliv měření teplot lýka sledovaných stromů, resp. teploty vzduchu v těsné blízkosti těchto stromů, probíhalo od 29. dubna do 10. srpna roku 2021, bylo pro potřeby této práce a s tím spojeného statistického vyhodnocení rozdílů mezi teplotami lýka sledovaných stromů lýkožroutem smrkovým napadených a teplotami lýka stromů tímto škůdcem nenapadených nutno toto období čítající 103 dní zkrátit téměř na polovinu (56 dní), a to z důvodu, že v této studii bylo sledováno právě pouze letní rojení lýkožrouta smrkového, jež bylo zaznamenáno až 15. června 2021 (+/- 1 den), a naměřené hodnoty před napadením sledovaných stromů tak neposkytovaly požadované vypovídající údaje.

Do budoucna lze též užít pokročilejší statistické metody a zkoumat podrobnější hodnoty teploty lýka, tedy namísto průměrných denních teplot na jednotlivých senzorech zvolit naměřené hodinové údaje. K tomuto však v této práci nebylo přistoupeno, a to z důvodu, které jsou již nastíněny výše, tedy že se jedná pouze o jakousi pilotní studii tohoto tématu, jejímž hlavním cílem je především poukázat na existenci možných rozdílů mezi teplotami lýka stromů lýkožroutem smrkovým napadených a stromů tímto škůdcem nenapadených.

Dosažené výsledky v této práci zcela jednoznačně výše stanovený cíl naplňují, neboť plně prokazují existenci rozdílu mezi teplotami lýka stromů napadených a nenapadených, a to na obou sledovaných senzorech, jak v případě statistického vyhodnocení prostřednictvím

dvouvýběrového t-testu o průměrech pro nezávislé vzorky, tak v případě grafického zobrazení porovnávaných hodnot lineárními trendovými křivkami či vizualizací pomocí krabicových grafů.

Na základě dosažených výsledků bylo konstatováno, že statisticky výraznější (vyhodnocení pomocí dvouvýběrového t-testu a porovnání Grafu č.7 X Grafu č. 8) a v čase se zvyšující rozdíl (porovnání Grafu č.1 X Grafu č. 2) mezi teplotami lýka stromů napadených a nenapadených byl ve sledovaném období zaznamenán na senzorech umístěných na jižní straně sledovaných kmenů. Tento výsledek je dle Hietze et al. (2005) zdůvodnitelný vyšší intenzitou slunečního záření a jemu odpovídající zvýšené teplotě kůry, resp. teplotě lýka daného stromu. S ohledem na předkládané výsledky, které plně korelují s dosaženými výsledky dalších autorů (např. Majdák et al.; 2021), lze tento rozdíl odůvodnit tím, že se zvyšujícími se hodnotami uvedených teplot klesá v důsledku napadení lýkožroutem smrkovým transpirační schopnost vody a živin kmenů napadených stromů, čímž dochází k narušení chladicí schopnosti lýka těchto napadených stromů a jejich teplota tak roste neúměrně s teplotami lýka stromů nenapadených.

Wullschleger et al. (2004) či Hubbard et al. (2013) upozorňují, že k omezení transportu vody kmenem napadeného stromu a s tím spojenému narušení jeho chladicí schopnosti dochází již po několika týdnech po obsazení lýkožroutem, a to v důsledku šířících se fytopatogenních hub, jež jsou do kmene zavlečeny při jeho kolonizaci. Šíření fytopatogenních hub nelze na základě dosažených výsledků v této práci potvrdit, ani vyvrátit, nicméně z pohledu naměřených hodnot lze konstatovat, že mírné rozdíly mezi středními hodnotami průměrných denních teplot lýka stromů napadených a nenapadených byly skutečně patrné na jižním senzoru již zhruba týden po zaznamenaném napadení lýkožroutem smrkovým, na severním senzoru však až téměř po měsíci od jeho napadení. Plně průkazné rozdíly mezi teplotami lýka všech stromů napadených a všech stromů nenapadených lze bez jakýchkoliv výkyvů na obou senzorech spatřit až v posledním týdnu sledovaného období, tj. od 2. 8. 2021.

Zajímavé jsou též naměřené hodnoty teploty lýka stromů lýkožroutem smrkovým nenapadených, které lze rozdělit do dvou kategorií. Zatímco teploty lýka stromů označených 3D6 a 4K2 jsou na obou senzorech v jakékoliv části sledovaného období po zaznamenaném napadení výrazně diferenciované od stromů napadených, přičemž na jižním senzoru jsou popsány rozdíly zřetelnější, teploty lýka stromů označených 3C8 a 4D7 se naměřenými hodnotami ve stejných obdobích přibližují (nikoliv rovnají)

stromům napadeným. Tento jev je zřejmě nutno hodnotit v širším kontextu, přičemž lze důvodně předpokládat, že teploty lýka odrážející zdravotní stav dvojice stromů nenapadených 3C8 a 4D7, u nichž se naměřené hodnoty teploty lýka přibližují teplotám lýka stromů napadených, byly negativně narušeny jinými činiteli, než napadením lýkožroutem smrkovým. V této souvislosti lze uvažovat nad možným napadením dřevokaznými houbami, které nebylo na bázi kmene viditelné, avšak nelze jej jednoznačně vyloučit, neboť přítomnost kořenovníku - *Heterobasidion* (Bref.) - či václavky - *Armillaria* (Staude) - může ovlivňovat příjem vody v teplejší části sezóny a snížit tak chladicí schopnost těchto stromů (Jankovský; 2000). Dále je možno uvažovat nad specifickou pozicí těchto stromů v porostu a pozorované anomálie přisuzovat vlivu oslunění.

Výše popsaná variabilita naměřených teplot lýka u stromů nenapadených a pravděpodobný vliv jiného faktoru na zdravotní stav výše uvedené dvojice těchto stromů se zřejmě projevily i při statistickém vyhodnocení prostřednictvím dvouvýběrového t-testu o průměrech pro nezávislé vzorky, kdy na severním senzoru bylo možné přijmout alternativní hypotézu H_1 o tom, že teploty lýka sledovaných stromů jsou vyšší u stromů tímto škůdcem napadených, než u stromů jím nenapadených, maximálně na 20% hladině významnosti. V tomto kontextu je tedy nutno upozornit, že z důvodu nezbytného posunutí hranice významnosti pro zamítnutí hypotézy H_0 na severním senzoru klesla síla tohoto testu a vzrostlo riziko provedení chyby I. druhu. Na jižním senzoru, kde byly zaznamenány vyšší rozdíly mezi teplotami lýka stromů napadených a nenapadených, byla přijata obdobná alternativní hypotéza již na 5% hladině významnosti.

ZÁVĚR

Předložená diplomová práce poukazuje na základě statistického vyhodnocení naměřených teplot lýka smrku ztepilého na vliv napadení lýkožrouta smrkového na teplotu lýka těchto stromů. Prostřednictvím dvouvýběrového t-testu o průměrech pro nezávislé vzorky a grafické vizualizace naměřených hodnot teplot lýka osmi sledovaných stromů, z nichž polovina byla napadena lýkožroutem smrkovým, nacházejících se v lokalitě Školního lesního podniku České zemědělské univerzity v Kostelci nad Černými lesy v období od 29. dubna do 10. srpna roku 2021 byla vyhodnocena existence rozdílů mezi teplotami lýka stromů napadených lýkožroutem smrkovým a teplotami lýka stromů tímto škůdcem nenapadených.

V provedené studii bylo shledáno, že průměrná teplota lýka stromů napadených roste v průběhu sledovaného období rychleji, než průměrná teplota lýka stromů nenapadených, přičemž tento rozdíl byl výraznější na senzorech umístěných na jižní straně kmene, kde bylo zároveň možné přijmout alternativní hypotézu H_1 o tom, že teploty lýka sledovaných stromů jsou vyšší u stromů napadených, již na 5% hladině významnosti, zatímco obdobnou alternativní hypotézu H_1 stanovenou pro senzory umístěné na severní straně kmenů sledovaných stromů bylo možné přijmout maximálně na 20% hladině významnosti. Nejvýraznější rozdíly mezi teplotami lýka stromů napadených a nenapadených byly zaznamenány v posledním týdnu sledovaného období, tedy v době, kdy napadené stromy již byly opuštěné (příp. těsně před jejich opuštěním).

Při vyhodnocení rozdílů mezi teplotami naměřenými na jednotlivých senzorech bylo shledáno, že průměrné denní teploty vzduchu byly průměrně o 0,34 °C nižší než průměrné denní teploty lýka naměřené na senzoru sever a o 1,15 °C nižší než průměrné denní teploty lýka naměřené na senzoru jih. Zároveň bylo vyhodnoceno, že průměrné denní teploty lýka naměřené na senzoru umístěném na jižní straně kmene byly ve sledovaném období průměrně o 0,81 °C vyšší než průměrné denní teploty lýka na senzoru umístěném na severní straně kmene.

Diplomová práce dále obsahuje literární přehled, jenž shrnuje dosavadní poznatky týkající se bionomie a morfologie lýkožrouta smrkového, hlavních faktorů ovlivňujících jeho populační dynamiku a význam a rozšíření tohoto sekundárního biotického škůdce v lesním hospodářství ČR.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Seznam použité literatury

ANDERBRANT, O. Gallery construction and oviposition of the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at different breeding densities. *Ecological Entomology*. 1990, vol. 15, no. 1, s. 1-8. ISSN 0307-6946.

ANNILA, E. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). *Annales Zoologici Fennici*, 1969, vol. 6, no. 2, s. 161-207. ISSN 0003-455X.

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. ISSN 0378-1127.

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. *Forest Ecology and Management*. 2013, vol. 292, s. 1-9. ISSN 03781127.

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, vol. 96, no. 1-5, s. 47-55. ISSN 00442240.

DAVÍDKOVÁ, M.; DOLEŽAL, P. Sister broods in the spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.). *Forest Ecology and Management*. 2017, vol. 405. s. 13-21. ISSN 03781127.

DOLEŽAL, P.; SEHNAL, F. Effects of photoperiod and temperature on the development and diapause of the bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Applied Entomology*. 2007, vol. 131, no. 3, s. 165-173. ISSN 0931-2048.

DOLEŽAL, P. Jak se žije v lese (smrkovém) – kapitoly ze života lýkožrouta smrkového. *Živa*. 2013, vol. 2013, no. 5, s. 229-230. ISSN 0044-4812.

FAYT, P.; MACHMER M. M.; STEEGER, Ch. Regulation of spruce bark beetles by woodpeckers—a literature review. *Forest Ecology and Management*. 2005, vol. 206, no. 1-3, s. 1-14. ISSN 03781127.

FORREST, J. R.K.; FAHSE, L.; HEURICH, M. Complex responses of insect phenology to climate change: A long-term quantitative landscape-level analysis. *Current Opinion in Insect Science*. 2016, vol. 17, no. 2, s. 49-54. ISSN 22145745.

FURUTA, K.; IGUCHI, K.; LAWSON, S. Seasonal difference in the abundance of the spruce beetle (*Ips typographus japonicus* Nijima) (Col., Scolytidae) within and outside forest in a bivoltine area. *Journal of Applied Entomology*. 1996, vol. 120, no. 1-5, s. 125-129. ISSN 09312048.

GRODZKI, W.; JAKUŠ, R.; LAJZOVÁ, E.; SITKOVÁ, Z.; MACZKA, T.; ŠKVARENINA, J. Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. *Annals of Forest Science*. 2006, vol. 63, no. 1, s. 55-61. ISSN 1286-4560.

HIETZ, P.; BAIER, P.; OFFENTHALER, I.; FÜHRER, E.; ROSNER, S.; RICHTER, H. Tree temperatures, volatile organic emissions, and primary attraction of bark beetles. *Phyton-Annales Rei Botanicae*, 2005, vol. 45, s. 341-354. ISSN 0079-2047.

HLÁSNY, T.; ZAJÍČKOVÁ, L.; TURČÁNI, M.; HOLUŠA, J.; SITKOVÁ, Z. Geographical variability of sprucebark beetle development under climate change in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*. 2011, vol. 57, no. 6, s. 242-249. ISSN 12124834.

HLÁSNY, T.; MERGANIČOVÁ, K.; MODLINGER, R.; MARUŠÁK, R.; LÖWE, R.; TURČÁNI, M. Prognóza vývoje kůrovcové kalamity a nová platforma pro šíření informací o lesích v České republice. *Zprávy z lesnického výzkumu*. 2021, vol. 66, no. 3, s. 197-205. ISSN 0322-9688.

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. 13–21. ISSN 03781127.

HUBBARD, R. M.; RHOADES, Ch. C.; ELDER, K.; NEGRON, J. Changes in transpiration and foliage growth in lodgepole pine trees following mountain pine beetle attack and mechanical girdling. *Forest Ecology and Management*. 2013, vol. 289, s. 312-317. ISSN 03781127.

JANKOVSKÝ, Libor. Fytopatologické aspekty poškození kořenového systému lesních dřevin. *Lesnická práce*. 2000, vol. 79, no. 6, s. 250-253. ISSN 0322-9254.

JAROŠÍK, V. *Růst a regulace populací*. Praha: Academia, 2005. 170 s. ISBN 80-200-1330-X.

KAUSRUD, K.; ØKLAND, B.; SKARPAAS, O.; GRÉGOIRE, J-C.; ERBILGIN, N.; STENSETH, N. Ch. Population dynamics in changing environments: the case of an eruptive forest pest species. *Biological Reviews*. 2012, vol. 87, no. 1, s. 34-51. ISSN 14647931.

KINDLMANN, P.; MATĚJKA, K.; DOLEŽAL, P. *Lesy Šumavy, lýkožrout a ochrana přírody*. Praha: Karolinum, 2012. 328 s. ISBN 978-80-246-2155-5.

KOLAŘÍK, M. Nové objevy ze světa houbových symbiontů podkorního hmyzu. *Vesmír*. 2012, vol. 91, no. 4, s. 227-229. ISSN 1214-4029.

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

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. ISSN 03781127.

LEPŠ, J.; ŠMILAUER, P. *Biostatistika*. České Budějovice: Nakladatelství Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, 2016. 440 s. ISBN 978-807-3945-879.

LIEUTIER, F; BATTISTI, A.; GRÉGOIRE, J-C.; DAY, K. R. *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004, 569 s. ISBN 978-1-4020-2240-1.

LIPTÁK, B.; NOVOTNÝ, J.; KOZÁNEK, M. B. Pathogens, parasitoids and predators of the spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) and their potential use in biological control. *Entomofauna carpathica*, 2013, vol. 25, no. 2, s. 69-82. ISSN 1335-1214.

LOBINGER, G.; SKATULLA, U. Untersuchungen zum Einfluß von Sonnenlicht auf das Schwärmverhalten von Borkenkäfern. *Anzeiger für Schädlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz*. 1996, vol. 69, no. 8, s. 183-185. ISSN 0340-7330.

- LUBOJACKÝ, J.; LORENC, F.; SAMEK, M.; KNÍŽEK, M.; LIŠKA, J. Hlavní problémy v ochraně lesa v Česku v roce 2020 a prognóza na rok 2021. *Zpravodaj ochrany lesa*. 2021, vol. 2021, no. 24, s. 17-26. ISSN 1211-9342.
- LUŠTINEC, J.; ŽÁRSKÝ, V. *Úvod do fyziologie vyšších rostlin*. Praha: Karolinum, 2003. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. 261 s. ISBN 80-246-0563-5.
- MADĚRA, P.; ÚRADNÍČEK, L. *Dřeviny České republiky*. Písek: Matice lesnická, 2001. 333 s. ISBN 80-862-7109-9.
- MAJDÁK, A.; JAKUŠ, R.; BLAŽENEC, M. Determination of differences in temperature regimes on healthy and bark-beetle colonised spruce trees using a handheld thermal camera. *IForest - Biogeosciences and Forestry*. 2021, vol. 14, no. 3, s. 203-211. ISSN 19717458.
- MODLINGER, R.; TRGALA, K. *Možné příčiny a důsledky kůrovcové kalamity v lesích Česka s ohledem na specifika při zpracování kalamitního dříví: odborná studie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019. 39 s. ISBN 978-80-213-2942-3.
- 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.; NOVOTNÝ, P. Quantification of time delay between damages caused by windstorms and by *Ips typographus*. *Forestry Journal*. 2015, vol. 61, no. 4, s. 221-231. ISSN 0323-1046.
- OGRIS, N.; FERLAN, M.; HAUPTMAN, T.; PAVLIN, R.; KAVČIČ, A.; JURC, M.; DE GROOT, M. RITY – A phenology model of *Ips typographus* as a tool for optimization of its monitoring. *Ecological Modelling*. 2019, vol 410, no. C, s. 1 ISSN 03043800.
- PAVLÍK, J. *Aplikovaná statistika*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. 2005. 173 s. ISBN 80-708-0569-2.
- PFEFFER A.; KUDELA, M. *Ochrana lesů a dřeva I.*, Praha: SNTL, 1954. 372 s.
- SKUHRAVÝ, V. *Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.) a jeho kalamity*. Praha: Agrospoj, 2002. 196 s. ISBN 80-708-4238-5.

ŠTEFKOVÁ, K.; OKROUHLÍK, J.; DOLEŽAL, P. Development and survival of the spruce bark beetle, *Ips typographus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) at low temperatures in the laboratory and the field. *European Journal of Entomology*, 2017, vol. 114, s. 1-6. ISSN 1210-5759.

WEGENSTEINER, R.; WERMELINGER, B.; HERRMANN, M. *Natural Enemies of Bark Beetles*. Bark Beetles. Elsevier, 2015, 247-304 s. ISBN 9780124171565.

WERMELINGER, B. Development and distribution of predators and parasitoids during two consecutive years of an *Ips typographus* (Col., Scolytidae) infestation. *Journal of Applied Entomology*. 2002, vol. 126, no. 10, s. 521-527. ISSN 0931-2048.

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. ISSN 03781127.

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. 4, s. 186-191. ISSN 1439-0418.

WERMELINGER, B.; SEIFERT, M. Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus*, and analysis of the potential population growth. *Ecological Entomology*. 2001, vol. 24, no. 1, s. 103-110. ISSN 0307-6946.

WULLSCHLEGER, S. D.; MCLAUGHLIN, S. B.; AYRES, M. P. High-resolution analysis of stem increment and sap flow for loblolly pine trees attacked by southern pine beetle. *Canadian Journal of Forest Research*. 2004, vol. 34, no. 11, s. 2387-2393. ISSN 0045-5067.

ZAHRADNÍK, P. *Ochrana smrčín proti kůrovcům*. 1. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2004. 40 s. ISBN 80-863-8648-1.

ZAHRADNÍK, P. *Základy ochrany lesa v praxi*. 2. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2006. 127 s. ISBN 80-863-8676-7.

ZAHRADNÍK, P.; GERÁKOVÁ, M. Lýkožrout smrkový: *Ips typographus* (L.). *Lesnická práce*. 2010, vol. 89, no. 12, s. 1-8 (příloha). ISSN 0322-9254.

ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK, M. Lýkožrout smrkový: *Ips typographus* (L.). *Lesnická práce*. 2007, vol. 86, no. 4, s. 1-8 (příloha). ISSN 0322-9254.

ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK, M. Lýkožrout smrkový: *Ips typographus* (L.). *Lesnická práce*. 2016, vol. 95, no. 4, s. 1-8 (příloha). ISSN 0322-9254.

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

ZUMR, V. Hibernation of spruce bark beetle, *Ips typographus* (Coleoptera, Scolytidae) in soil litter in natural and cultivated *Picea* stands. *Acta Entomologica Bohemoslovaca*. 2012, vol. 79, no. 3, s. 161-166. ISSN 0001-5601.

ZUMR, V. *Lýkožrout smrkový – biologie, prevence a metody boje*. Písek: Matice lesnická, 1995. 131 s. ISBN 80-900043-2-6.

Seznam použitých internetových zdrojů

Pheroprax® A. BASF: We create chemistry [online]. Praha: BASF SE, 2017 [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.agro.basf.cz/cs/Pripravky/Overview/pomocn%C3%BD-prost%C5%99edek-na-ochranu-rostlin/Pheroprax-A.html>

DOLEŽAL, P. Jak přispět k efektivnější ochraně lesa před kůrovci?. *Akademický bulletin: Oficiální časopis Akademie věd ČR* [online]. Praha: Odbor informačních technologií SSČ AV ČR, v.v.i., 2016 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <http://abicko.avcr.cz/2016/05/08/>

Matematická biologie. *Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu* [online]. Brno: Institut biostatistiky a analýz Masarykovy univerzity. [2018] [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickyh-a-biologickyh-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--zaklady-korelacni-analyzy--pearsonuv-korelacni-koeficient--vypocet-pearsonova-korelacniho-koeficientu>.

Model PHENIPS. *Klimatická změna.cz* [online]. Brno: Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2022 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/metodika/model-phenips/>

WEINEROVÁ, L. Lýkožrout smrkový - *Ips typographus* L. *Příroda.cz* [online]. Vrchlabí: PERPETUM web design, 2014 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=72>

ZAHRADNÍK, P. Současná situace s lýkožroutem smrkovým v našich lesích. *Agromanual.cz* [online]. Jíloviště-Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství

a myslivosti, 2022 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/soucasna-situace-s-lykozroutem-smrkovym-v-nasich-lesich>

ZAHRADNÍK, P.; ZAHRADNÍKOVÁ, M. Lýkožrout smrkový a české lesy I. - Historie a současnost. *Agromanual.cz* [online]. Jíloviště-Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2019 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/lykozrout-smrkovy-a-ceske-lesy-i-historie-a-soucasnost>

Seznam použitých právních předpisů

Česko. Vláda. Zákon č. 289 ze dne 15. prosince 1995 o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon). In Sbíрка zákonů České republiky. 1995, částka 76, s. 3946-3967. Dostupné také z WWW: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=289/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy. ISSN 1211-1244.

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. In Sbíрка zákonů České republiky. 1996, částka 33, s. 1124-1126. Dostupné také z WWW: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=101/1996&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy. ISSN 1211-1244.

Seznam ostatních zdrojů

Česká zemědělská univerzita v Praze. ŠLP Kostelec nad Černými lesy. Textová část lesního hospodářského plánu 2011 - 2020.

KUČERA, J. User's manual. MicroLog T3: Three-channel datalogger for soil temperature measurement. Brno. 2011.

ZPRÁVA O STAVU LESA A LESNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2020. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2021, 124 s. ISBN 978-80-7434-625-5.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 3A4

Příloha č. 2 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 3B10

Příloha č. 3 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 3C8

Příloha č. 4 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 3D6

Příloha č. 5 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 4A7

Příloha č. 6 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 4B7

Příloha č. 7 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 4D7

Příloha č. 8 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 4K2

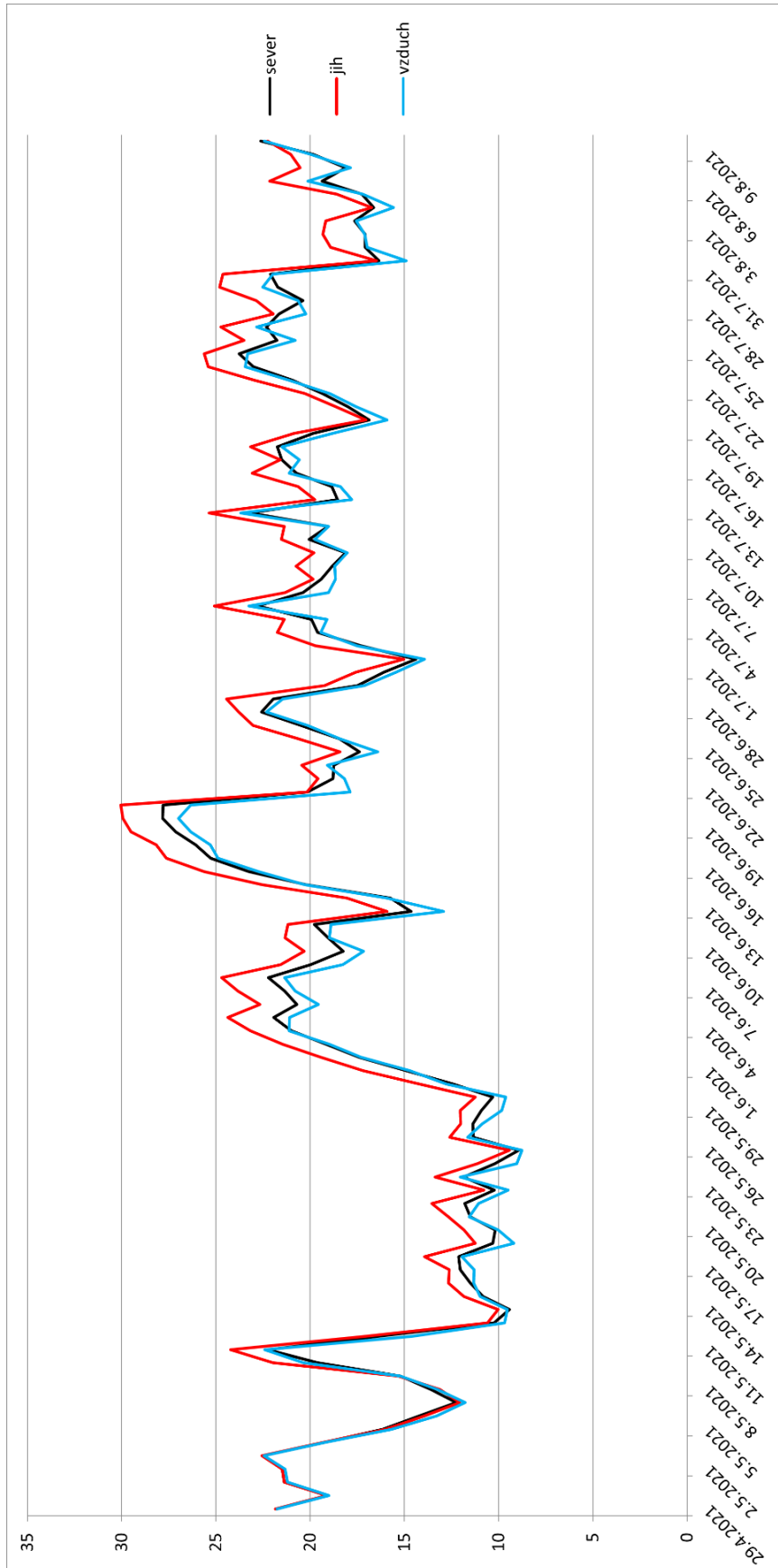
Příloha č. 9 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro senzor sever

Příloha č. 10 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro senzor jih

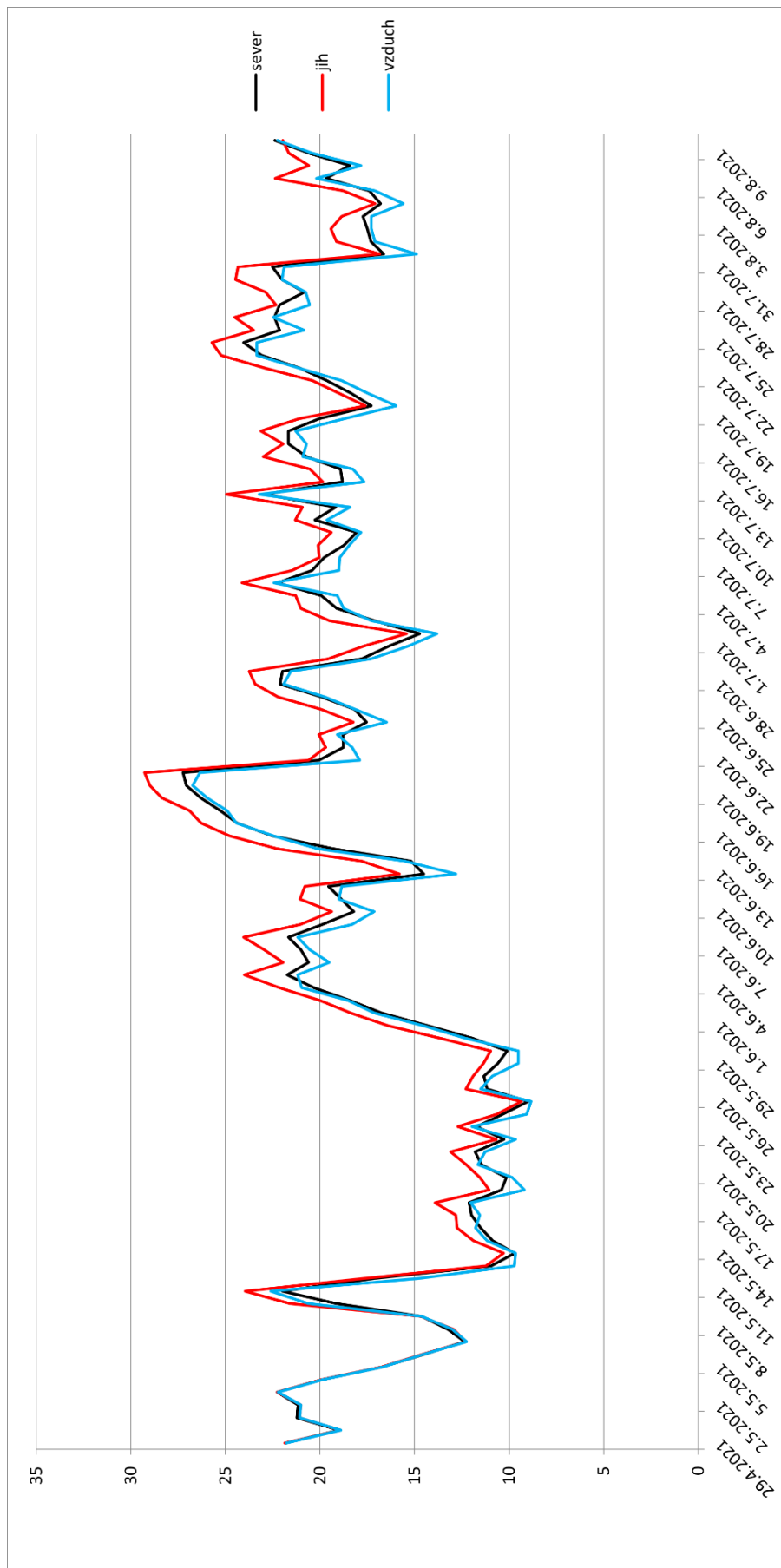
Příloha č. 11 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro senzor vzduch

PŘÍLOHY

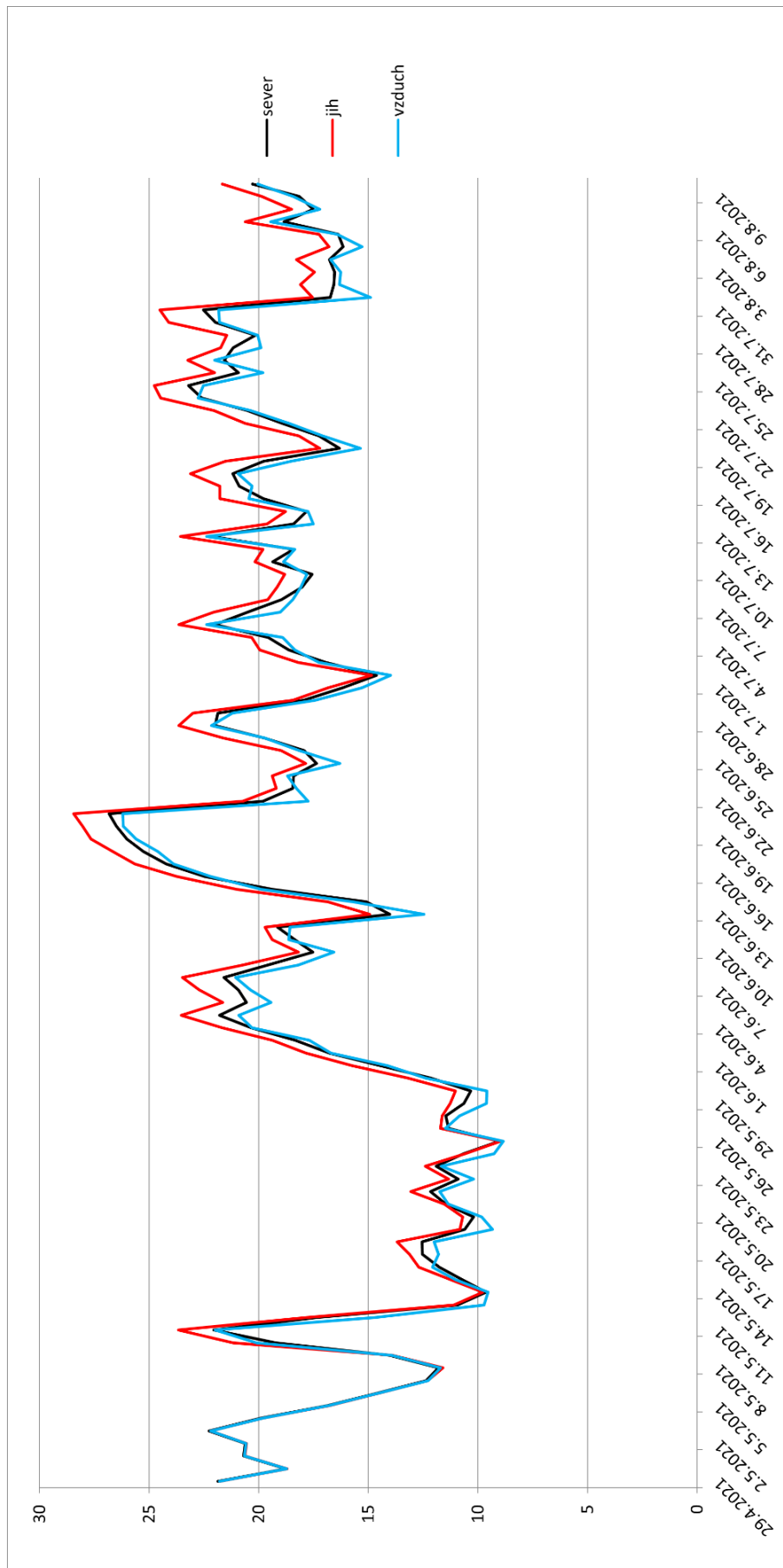
Příloha č. 1 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 3A4



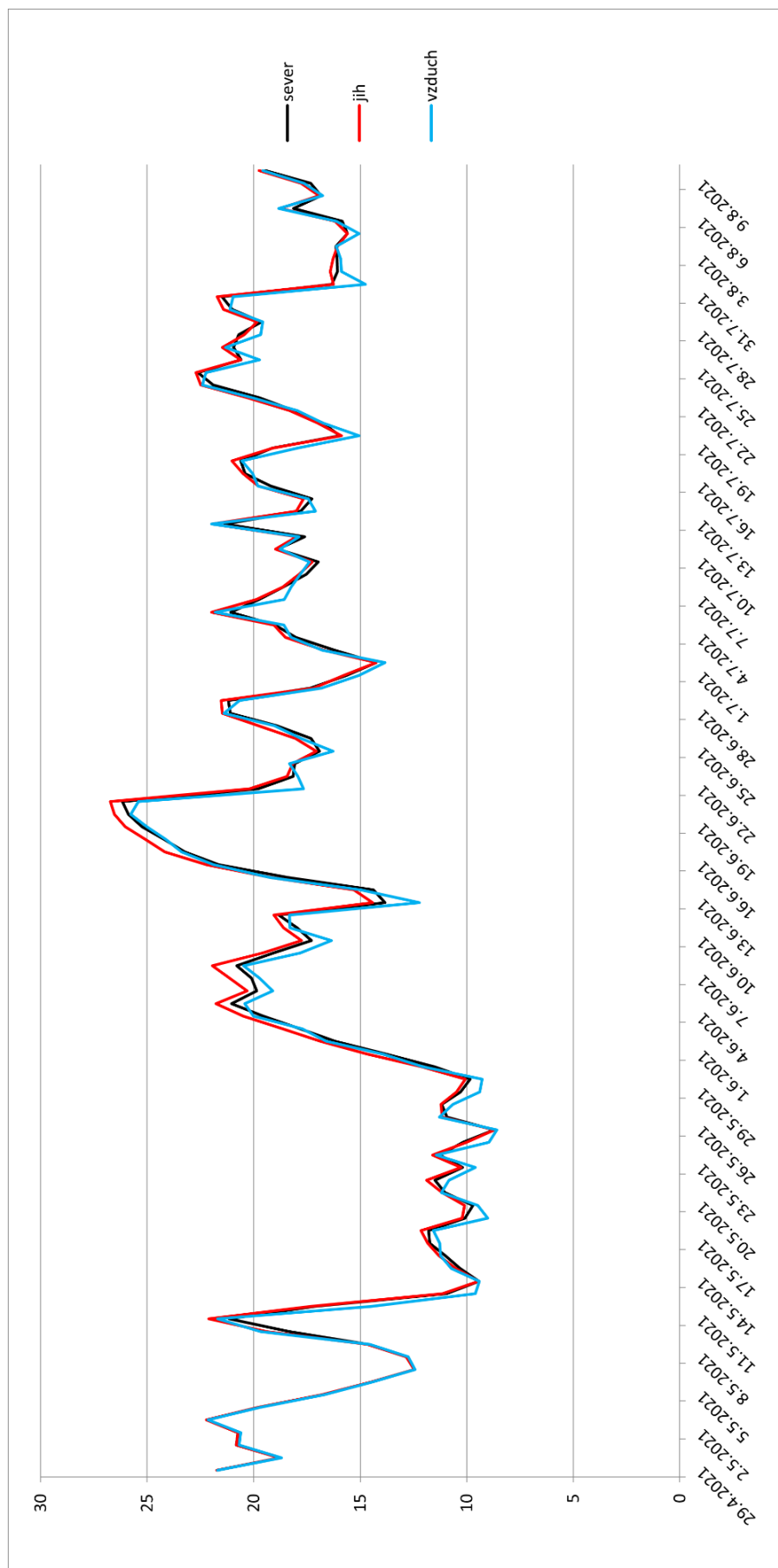
Příloha č. 2 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 3B10



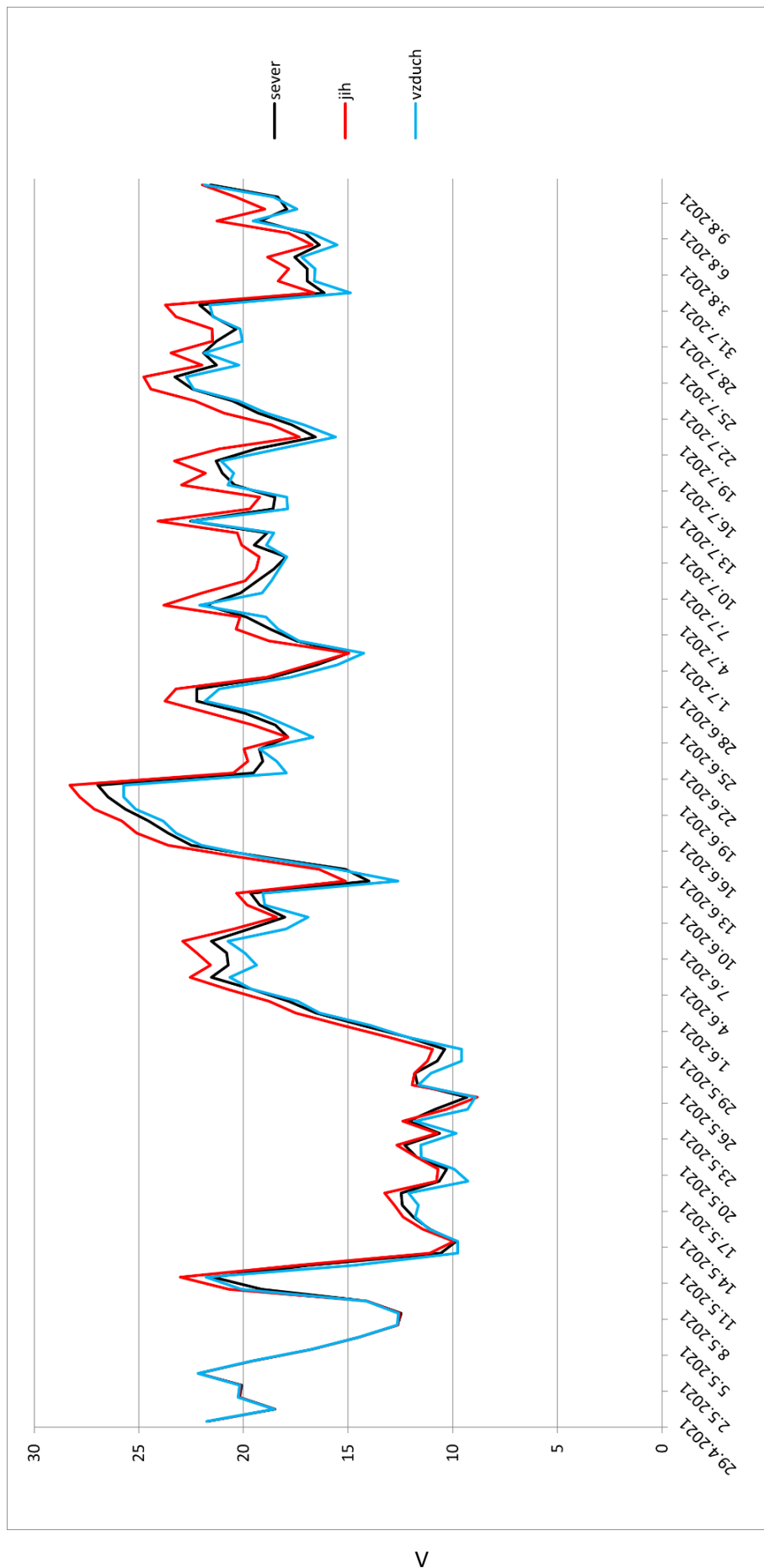
Příloha č. 3 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 3C8



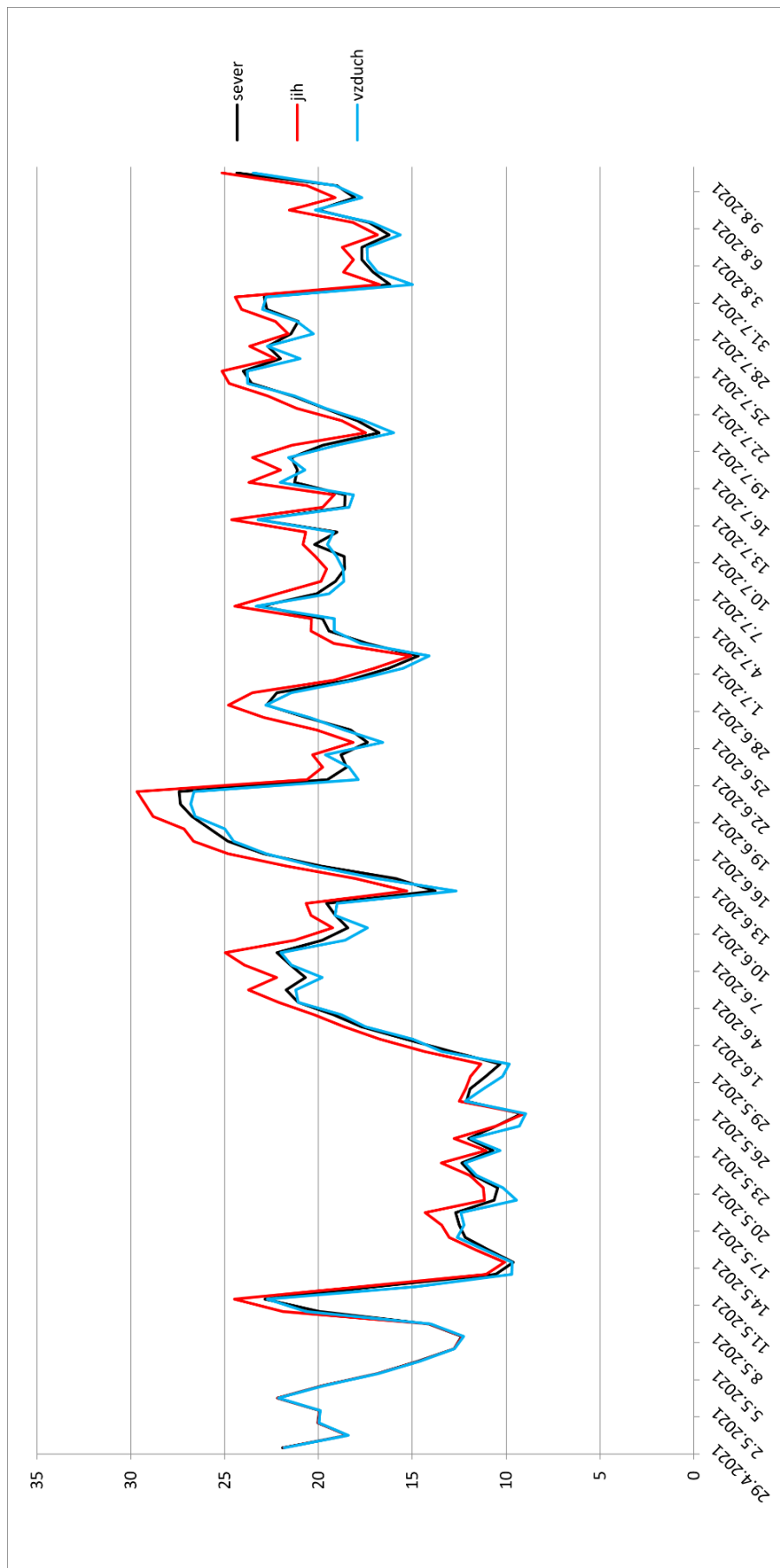
Příloha č. 4 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 3D6



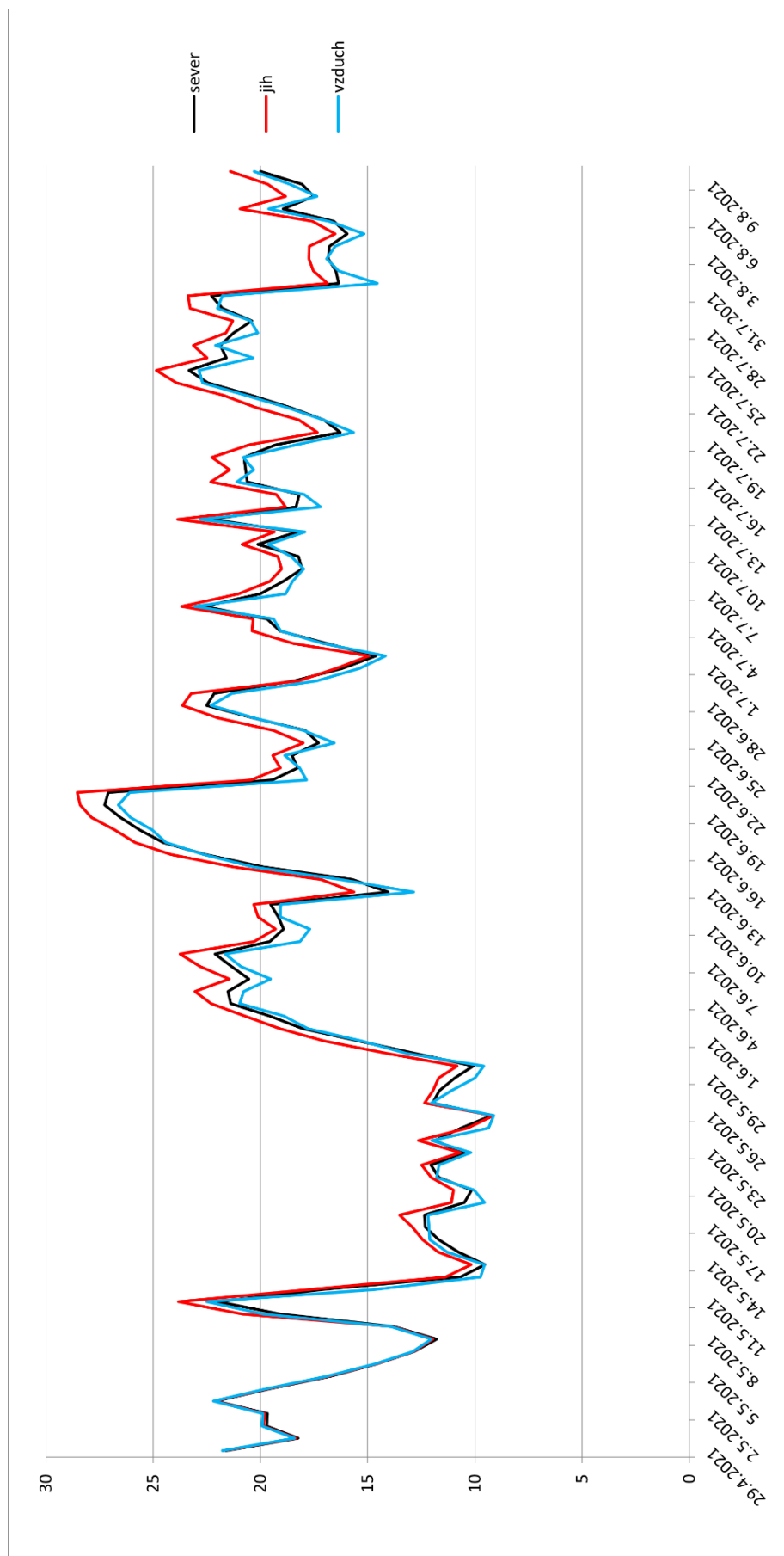
Příloha č. 5 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 4A7



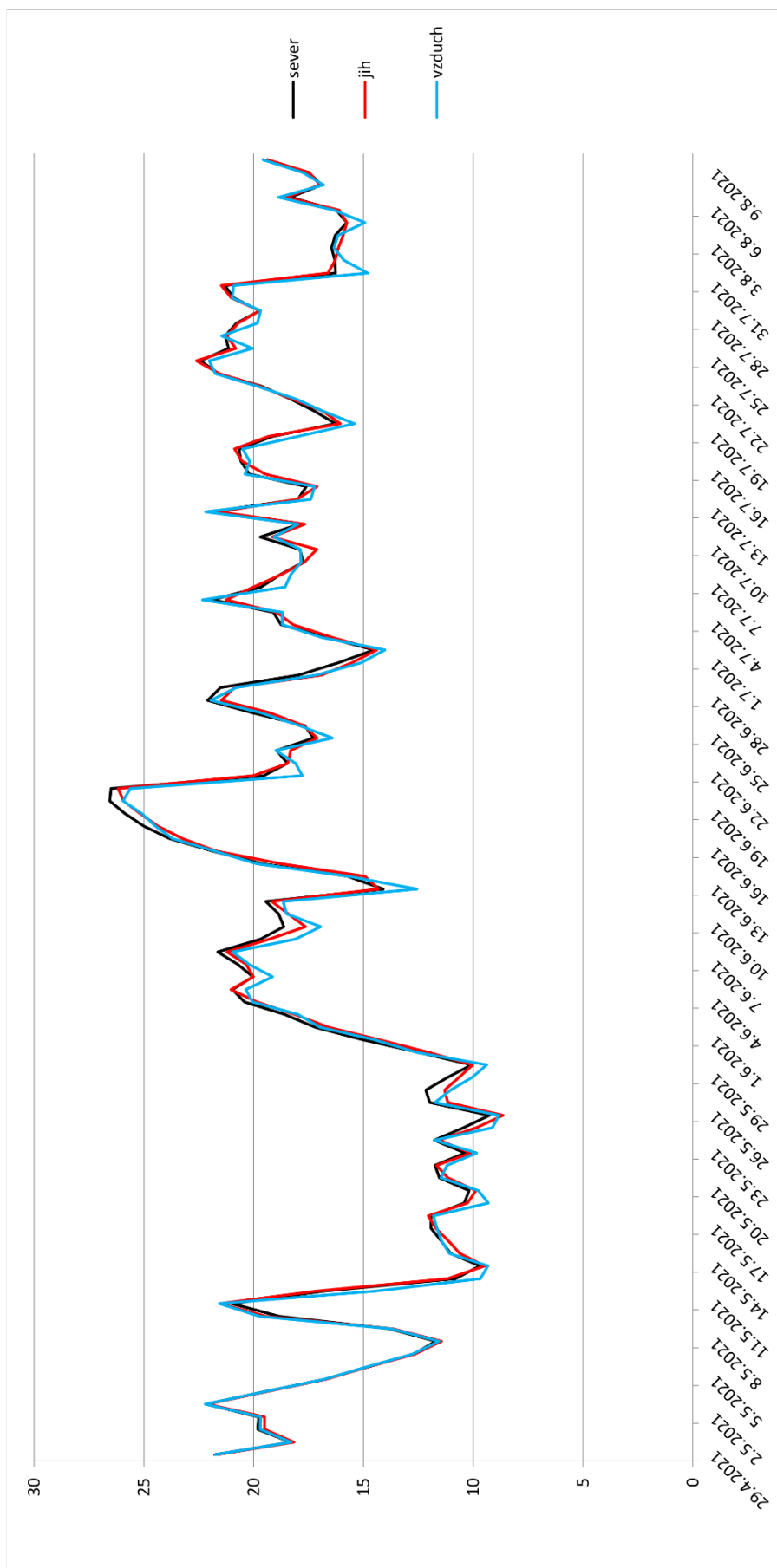
Příloha č. 6 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 4B7



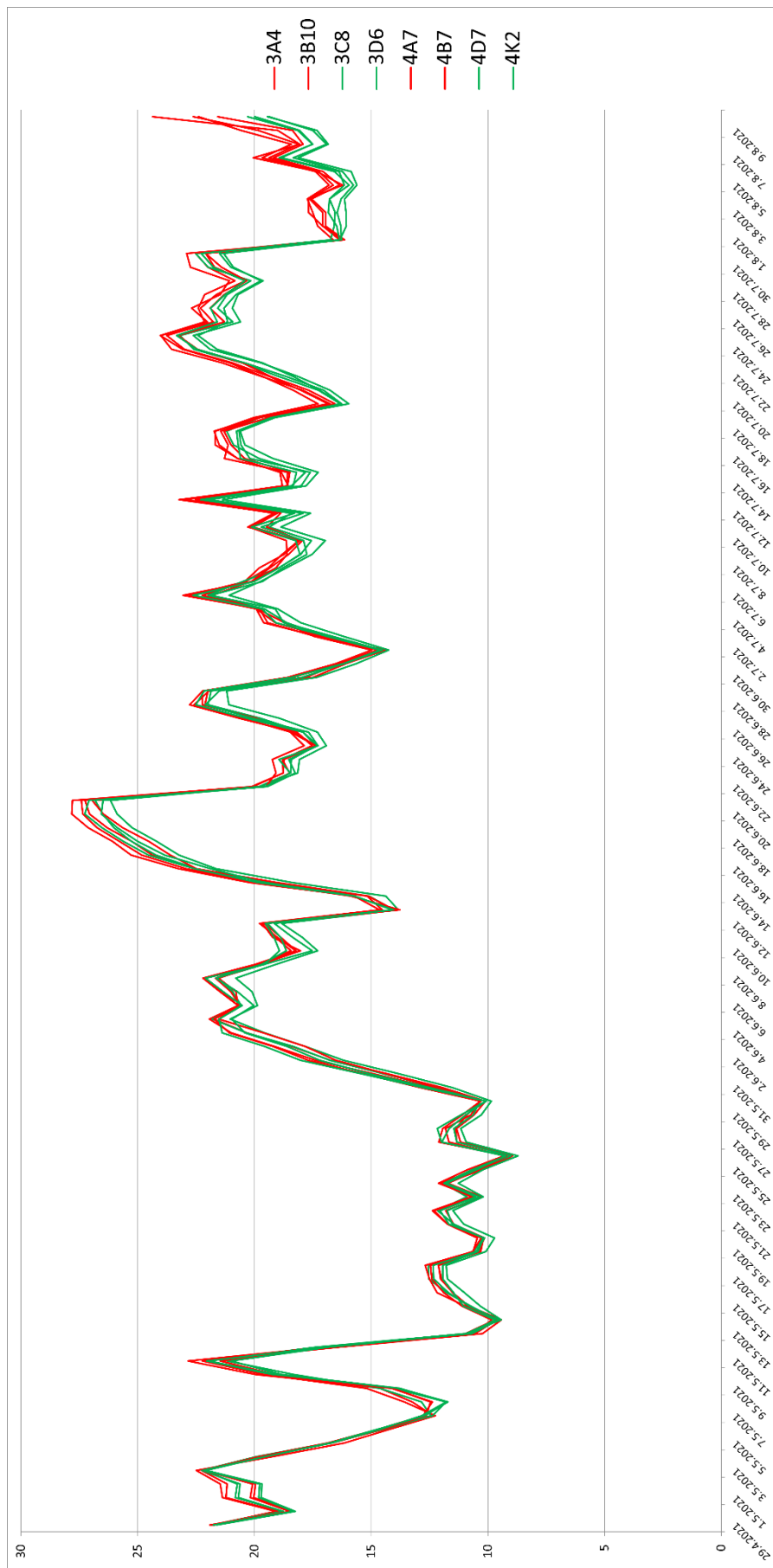
Příloha č. 7 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 4D7



Příloha č. 8 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro strom 4K2



Příloha č. 9 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro senzor sever



Příloha č. 11 – Graf průměrných denních teplot ve sledovaném období pro senzor vzduch

