

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra hospodářské úpravy lesů

**Využitie UAV pre hodnotenie napadnutia smreka
obyčajného lykožrútkami rodu *Ips* na úrovni
jednotlivých stromov vo vzťahu k teplotnému
profilu kmeňa.**

Diplomová práca

Autor: Bc. Adam Chudják

Vedúci práce: Ing. Peter Surový, PhD.

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Adam Chudják

Lesní inženýrství

Název práce

Využití UAV pro hodnocení napadení smrku ztepilého lýkožrouty rodu Ips na úrovni jednotlivých stromů ve vztahu k teplotnímu profilu kmene

Název anglicky

Utilization of drones for evaluation of Norway spruce health by bark beetles (Ips sp) on individual tree level in relation to stem thermal profile

Cíle práce

Cílem práce je ověřit přesnost a správnost dat pořízených pomocí bezpilotního prostředku pro hodnocení spektrální odezvy smrku ztepilého při napadnutí lýkožrouty rodu Ips ve vztahu k teplotnímu profilu kmene.

Metodika

Práce bude postupovat podle následujících kroků:

- výběr lokalit vhodných k sledování stromů napadených kůrovcem s ohledem na dostupnost, vysokou populační hustotu kůrovcovitých a možnosti použití UAV.
- výběr vhodných stromů pro hodnocení a sběr dat z koruny a kmene stromu pomocí lezecké techniky
- sběr dat a vzorků z korun stromů a z kmene v období šíření a vývoje druhé generace lýkožroutů rodu Ips, sběr a zhotovení termálního profilu kmene bezkontaktním termometrem
- statistické zhodnocení korelace mezi pozemními daty a daty pořízenými pomocí bezpilotního prostředku.
- zhodnocení postupů pro praxi s ohledem na použití UAV a pro výzkum s ohledem na využití stromolezectví pro sběr dat.

Práce bude vypracována ve slovenském jazyce.

Doporučený rozsah práce

50-60 stran

Klíčová slova

UAV, smrk ztepilý

Doporučené zdroje informací

- Abdullah, H., Darvishzadeh, R., Skidmore, A. K., Groen, T. A., & Heurich, M. (2018). European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) green attack affects foliar reflectance and biochemical properties. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64(October 2017), 199–209.
- A. Lucieer, S. Robinson, D. Turner, S. Harwin, J. Kelcey Using a micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of antarctic moss beds ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci., XXXIX-B1 (2012), pp. 429–433
- Campbell, P.E.; Rock, B.N.; Martin, M.E.; Neefus, C.D.; Irons, J.R.; Middleton, E.M.; Albrechtova, J. Detection of initial damage in Norway spruce canopies using hyperspectral airborne data. *Int. J. Remote Sens.* 2004, 25, 5557–5584
- Colomina I, Molina P (2014) Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92 (2014) 79–97
- Díaz-Varela, R.A.; de la Rosa, R.; León, L.; Zarco-Tejada, P.J. High-Resolution Airborne UAV Imagery to Assess Olive Tree Crown Parameters Using 3D Photo Reconstruction: Application in Breeding Trials. *Remote Sens.* 2015, 7, 4213-4232.
- G. Elkaim, F. Lie, D. Gebre-Egziabher Principles of guidance, navigation and control of UAVs K. Valavanis, G. Vachtsevanos (Eds.), *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, Springer (2014), p. 1600
- Grodzki W (2012) Two types of Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst. infestation by the double spined bark beetle *Ips duplicatus* C.R. Sahlb. (Coleoptera: Scolytinae) in southern and north-eastern Poland, *Folia Forestalia Polonica, series A*, 2012, Vol. 54 (3), 169–174
- Minařík, R., & Langhammer, J. (2016). Use of a multispectral UAV photogrammetry for detection and tracking of forest disturbance dynamics. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives*, 41(July), 711–718. <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-711-2016>
- Puliti, S.; Ørka, H.O.; Gobakken, T.; Næsset, E. Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System. *Remote Sens.* 2015, 7, 9632-9654.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Peter Surový, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra hospodářské úpravy lesů

Konzultant

Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 7. 11. 2017

Ing. Peter Surový, PhD.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 09. 02. 2018

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému Využitie UAV pre hodnotenie napadnutia smreka obyčajného lykožrútkami rodu *Ips* na úrovni jednotlivých stromov vo vzťahu k teplotnému profilu kmeňa vypracoval samostatne pod vedením Ing. Petra Surového, Phd. a použil som iba zdroje, ktoré sú uvedené v zozname použitých zdrojov. Som si vedomý, že zverejnením diplomovej práce súhlasím s jej zverejnením podľa zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platnom znení, a to bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Prahe dňa 19.4.2018

podpis autora

Pod'akovanie:

Moje pod'akovanie patrí najmä vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Petrovi Surovému, PhD. za vedenie, vynaložený čas a najmä trpezlivosť pri tvorbe diplomovej práce. Ďalej by som chcel pod'akovať môjmu konzultantovi Ing. Romanovi Modlingerovi, PhD. Taktiež celému tímu, ktorý sa podieľal na zbere a vyhodnocovaní mnou použitých dát. A v neposlednom rade mojej rodine a priateľom, ktorí stáli pri mne počas celej doby štúdia.

Abstrakt, kľúčové slová

Ako zabrániť náhodným ťažbám v smrekových porastoch, ktoré sú spôsobené podkôrnym hmyzom rodu *Ips*? Túto otázku si v súčasnosti lesníci kladú často. Pokiaľ sa však podarí nájsť ohnisko nákazy včas, je možné predchádzať takýmto ťažbám a taktiež veľkým ekonomickým stratám.

Novovznikajúce metódy v lesníctve ako sú bezpilotné letecké prostriedky (UAV), by mohli pomôcť pri detekovaní napadnutých stromov lykožrútom, ktoré už v počiatočnom štádiu napadnutia vykazujú fyziologické zmeny. Na sledovanie a zisťovanie týchto zmien v poraste pomocou UAV bola založená skusná plocha na okraji územia vojenského priestoru Libavá, kde sa dal s vysokou pravdepodobnosťou očakávať nálet lykožrúta. Na tejto ploche boli vytvorené dve skupiny stromov. V jednej skupine boli 3 testovacie jedince smreka obyčajného označené písmenom T a v druhej skupine 3 kontrolné jedince označené ako K. Tie to dve skupiny sa nachádzali od seba cca 50 m. Skupina stromov T bola situovaná bližšie k stene porastu a dala sa očakávať vyššia pravdepodobnosť ich napadnutia ako stromy s označením K, ktoré sa nachádzali hlbšie v poraste

Od založenia až po ťažbu vybraných stromov sa plocha pomocou UAV niekoľko krát snímkovala a taktiež pomocou stromolezeckej techniky boli pravidelne zbierané tepelné dáta z vetiev a kmeňa skúmaných jedincov. Na základe štatistických analýz boli tieto dáta porovnávané a vyhodnocované. Môžeme potvrdiť, že u jedincov s označením T, u ktorých bola intenzita napadnutia vyššia ako u skupiny stromov K (ktoré počas trvania pokusu nakoniec tiež boli napadnuté), bolo možné sledovať zvyšujúce sa hodnoty teplotného indexu a taktiež zvýšené hodnoty indexu označeného ako Red2green.

Na základe dosiahnutých výsledkov táto diplomová práca poukazuje na možné praktické využitie moderných technológií v lesníctve.

Kľúčové slová: UAV, smrek obyčajný, teplotný index

Abstract, keywords

How to prevent random logging in mountain spruce stands caused by the insect of genus *Ips*? This is nowadays a frequent question for the foresters. Random logging and also great economical lost can be prevent by early finding of the outbreak of infection.

Newly emerging methods such as using of unmanned aerial vehicles (UAV) could help to find the trees attacked by bark beetle. Such trees shows physiological changes already at the beginning of the bark beetle attack. For the reason of data collection and monitoring of the changes in the stands a research plot in the military area Libavá was created. On this research plot two groups of trees were created. One group included three tested individuals of mountain spruce marked with character T and the second group included three controlled individuals marked with character K. These two group were placed ca. 50 m away each other. The group of trees T was located closer to the edge of the stand where the expectation of bark beetle attack was higher compared to the group of trees K, which was located deeper in the stand.

Pictures of the research plot were taken several times since the creation of the research plot till the harvest of the selected trees. Pictures were taken using UAV. Using the tree climbing technique data about the temperature from the branches and stems of researched individuals were collected. Data were compared and evaluated using statistical analysis. We can confirm higher values of temperature index and also higher values of Red2green index by individuals marked as T than by individuals marked as K, where T individuals where more infested than K individuals.

According to the achieved results this thesis refers about the possibility of practical use of modern technologies in forestry.

Keywords: UAV, Norway spruce, temperature index

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Ciele práce.....	13
3. Literárna rešerš.....	14
3.1. Diaľkový prieskum zeme	14
3.2. Využitie DPZ v lesníctve	15
3.2.1. Konkrétne štúdie využitia DPZ v lesníctve.....	16
3.3. Fotogrammetria	17
3.4. RGB a CIR	20
3.5. Technika SfM a ALS.....	21
3.6. Bezpilotné letecké prostriedky (UAV).....	22
3.7. Multikoptéry	23
3.8. Krídla.....	24
3.9. Stromolezenie.....	25
3.10. Smrek obyčajný- <i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.....	26
3.11. Lykožrút smrekový- <i>Ips typographus</i> (Linnaeus, 1758)	26
3.12. Lykožrút severský- <i>Ips duplicatus</i> (C.R.Sahlberg,1836).....	27
4. Metodika	29
4.1. Skúmaná oblasť	29
4.2. Výber skusnej plochy	30
4.3. Zber leteckých dát pomocou UAV.....	31
4.4. Použitá technika výstupu a pohybu stromolezca v korune stromu	34
4.5. Postup pri odbere vzoriek z vybraných stromov	36
4.6. Postup pri meraní teploty	39
4.7. Ekonomická náročnosť zberu dát v teréne	40
4.8. Vyhodnocovanie snímok vyhotovených pomocou dronu	42

5.	Výsledky	44
5.1.	Výsledky intenzity napadnutia	44
5.2.	Výsledky tepelných údajov	46
5.3.	Výsledky údajov odrazivosti meranej z UAV vo vzťahu k napadnutiu.	50
6.	Diskusia.....	54
6.1.	Intenzita napadnutia	54
6.2.	Porovnanie vypočítaných teplotných indexov s intenzitou napadnutia	54
6.3.	Odrazivosť nameraná pomocou UAV vo vzťahu k intenzite napadnutia.....	55
7.	Záver	56
8.	Zoznam literatúry a použitých zdrojov	57
9.	Zoznam príloh	62
10.	Prílohy.....	63

Zoznam obrázkov grafov a tabuliek

Obrázok 1.	Schematické skenovanie povrchu Zeme satelitom Landsat	14
Obrázok 2:	Letecká fotogrametria	19
Obrázok 3.:	RGB fotografia.....	20
Obrázok 4.:	CIR fotografia	21
Obrázok 5.:	Hexakoptéra DJI S900 pred odletom (Modlinger, 2017).....	24
Obrázok 6:	Krídlo SenseFly eBee (Karas, 2016).....	25
Obrázok.7.:	Kambiooxylofágne kôrovce a synúzia na kmeni smreka (Knížek, Záhradník 2004).....	29
Obrázok 8:	Skúmaná plocha, snímka vytvorená dronom (Surový, 2017)	31
Obrázok 9:	Manuálny vzlet dronu nad snímkovanú plochu (Slávik, 2017)	34
Obrázok 10.:	Stromolezec odoberá vzorky z kmeňa (Modlinger, 2017).....	36

Obrázok 11.: IR teplomer Fluke 572.....	39
Obrázok 12: Vyhodnocovanie snímok v programe Arcgis (Matejčíková 2018)..	43
Graf 1: Porovnanie intenzity napadnutia AD_IT a AD_ID so skupinami stromov K a T.....	44
Graf 2: Porovnanie celkovej intenzity napadnutia so skupinami stromov K a T..	45
Graf 3: Intenzita napadnutia u jednotlivých stromov.....	45
Graf 4: Porovnanie priemerných hodnôt teplotného indexu zameraného na kmeni a na vetvách na testovaných stromov a kontrolných stromoch.....	47
Graf 5: Teplotný index kmeňai porovnávaný so skupinou stromov T a K.....	48
Graf 6: Teplotný index vetiev porovnávaný so skupinou stromov K a T.....	48
Graf 7: Porovnanie priemerných hodnôt teplotného indexu zmeraných na kmeni u všetkých skúmaných stromoch	49
Graf 8: Odrazivosť indexu Red2green pre jednotlivé stromy.....	51
Tabuľka 1: Údaje o poraste z LHP 2010-2019	30
Tabuľka 2:Odbery a sekcie podľa svetových strán pre stromy K1 a T1.....	37
Tabuľka 3:Odbery a sekcie podľa svetových strán pre stromy K2 a T2.....	38
Tabuľka 4:Odbery a sekcie podľa svetových strán pre stromy K4 a T5.....	38
Tabuľka 5. Ekonomické zhodnotenie zberu dát.....	41
Tabuľka 5: Testovanie rozdielov pomocou Studentového T-testu	47
Tabuľka 6: Prehľad výsledkov Pearsonovho korelačného koeficientu medzi teplotným indexom a počtom dní od počiatku napadnutia stromu lykožrútmí.....	50
Tabuľka 7: Korelačná analýza pre jednotlivé premenné	52
Tabuľka 8: Zovšeobecnený lineárny model odrazivosti Red2green pre všetky stromy.....	53

Tabuľka 9: Zovšeobecnený lineárny model odrazivosti Red2green pre jednotlivé stromy.....	53
--	----

Zoznam použitých skratiek a symbolov

ALS- Airborne laser scanning

CIR- Color infra red

ČR – Česká republika

ČSN- Česká technická norma

DEM – Digital elevation model

DPZ – Diaľkový prieskum Zeme

LiDAR- Light Detection And Ranging

LHC- Lesný hospodársky celok

PLO- Prírodná lesná oblasť

RGB – Red, green, blue

RPA – Remotely piloted aircraft

SfM - Structure from Motion

UAV – Unmanned aerial vehicle

UAS- Unmanned Aerial System

ÚCL- Úrad pre civilné letectvo

1. Úvod

Náhodné ťažby v súčasnosti predstavujú v lesníckej praxi jeden z problémov, ktorému je právom venovaná tak veľká pozornosť. Náhodné ťažby na území Českej republiky vznikajú najmä z dôvodu poškodzovania porastov veternými kalamitami a následnými gradáciami biotických škodlivých činiteľov, najmä podkôrnym hmyzom. Smrek obyčajný *Picea abies*, (L.) H. Karst., pokrýva 50% lesného územia Českej republiky a zásoba týchto porastov reprezentuje až 60% celkovej zásoby drevnej hmoty v ČR. S istotou môžeme o smreku tvrdiť, že z hospodárskeho hľadiska sa jedná o najvýznamnejšiu drevinu, na ktorú je významne naviazaný drevospracujúci priemysel.

Náhodné ťažby v smrekových porastoch, ktoré znemožňujú a narúšajú vyrovnanosť plánovaných ťažieb, reálne ohrozujú celý tento fungujúci produkčno-spracovateľský reťazec. Aktívny boj proti abiotickým škodlivým činiteľom prakticky ani nie je možný. Praktikujú sa len preventívne hospodárske zásahy ako prebierky, ktorých cieľom je zvýšiť stabilitu porastu, zabránenie preštíhlených porastov, vytváranie spevňujúcich prvkov v poraste ako sú rozluky, odluky a spevňovacie rebrá, ale aj postup obnovy a priradzovanie obnovných prvkov proti smeru prevládajúceho vetra v danej oblasti. Naproti tomu, boj s biotickými činiteľmi a to najmä s podkôrnym hmyzom, vykonávame aktívne. To znamená vytváranie stromových lapákov (vyťažené stromy sa ponechajú na ploche a čakáme kedy ich naletí lykožrút, následne sa odkôrnia alebo chemicky ošetrí). Ďalšou možnosťou je odchyt lykožrútov do feromónových lapačov, v ktorých sa nachádza laboratórne vytvorený feromón, ktorý láka jedince do pasce a tým pádom zabraňuje ďalšiemu napádaniu stojacích stromov a šíreniu populácie.

Pri vysokom stupni napadnutia tzv. *outbreak-u* panuje názor, že vyššie spomínané možnosti obrany strácajú účinnosť. Pri vysokej populačnej hustote chrobákov vo vzduchu chemická komunikácia hmyzu stráca svoju účinnosť a lykožrúty napádajú stromy viac menej systematicky. Jedinou účinnou možnosťou ako zastaviť premnoženie, je sanácia stromov a celých porastov, účinnosť týchto opatrení je ale tiež niektorými autormi spochybňovaná. Pri silnom napadnutí narážame však na problém kedy chrobáky nenapádajú len porastové okraje, ale veľa

krát môžeme nájsť aktívne chrobačiare hlboko v porastoch, ktoré počas sanačnej ťažby nie sú odstránené a predstavujú nový zdroj nákazy. Z toho vyplýva, že je povinnosťou lesného hospodára takéto stromy aktívne vyhľadávať a včas odstraňovať z porastov a tak zabrániť ďalšiemu šíreniu podkôrneho hmyzu. Tradičným a dodnes najvyužívanejším spôsobom vyhľadávania takýchto stromov je stále fyzická pochôdzka v teréne, kedy lesník podrobne skúma a sleduje kmene stromov a vyhľadáva pobytové znaky lykožrútov na napadnutých stromoch v podobe drobných piliniek, ktoré vznikajú po úspešnom zavrtaní lykožrúta do lyka stromu. Tento spôsob vyhľadávania napadnutých stromov pri rozsiahlych kalamiťách je mimoriadne nákladný a neefektívny.

Avšak vďaka veľmi rýchlemu progresu moderných technológií existujú prístupy v diaľkovom prieskume zeme (DPZ), ktoré sa snažia detekovať postihnuté oblasti lykožrúťovou kalamiťou a kvantifikovať zmeny v reflektancii v jednotlivých častiach svetelného spektra. S príchodom UAV – lietajúcich bezpilotných prostriedkov-dronov, ktoré poskytujú vysoké priestorové rozlíšenie obrazu, je možné očakávať, že bude možné detekovať napadnuté stromy priamo zo snímok vytvorených dronom.

Práve táto práca sa sústreďuje a bola zameraná na sledovanie zmien napadnutých stromov a to predovšetkým na tepelné zmeny na kmeni a v korune stromov (očakávajú sa zmeny v tepelnom režime napadnutých a zdravých stromov). Taktiež zmena sfarbenia ihličia zachytená pomocou bezpilotného prostriedku.

2. Ciele práce

Cieľom tejto práce je overiť správnosť a presnosť dát získaných pomocou UAV pre hodnotenie spektrálnej odozvy smreka pri napadnutí lykožrútom rodu *Ips*, konkrétne lykožrúta smrekového *Ips typographus* (Linnaeus, 1758) a lykožrúta severského *Ips duplicatus* (C.R. Sahlberg, 1836), vo vzťahu k teplotnému profilu kmeňa. Ďalej pomocou štatistických analýz porovnať závislosť zistených teplotných indexov stromov s intenzitou napadnutia, a tiež odrazivosť ihlíc

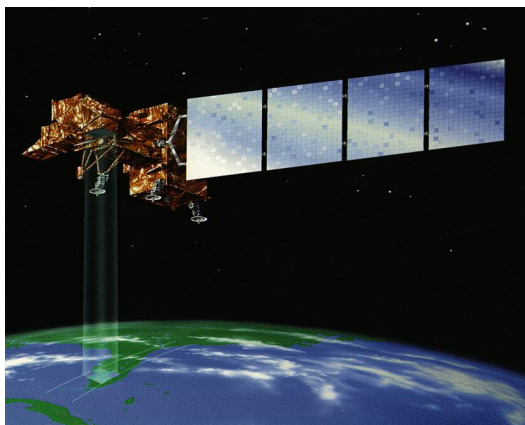
zachytenú pomocou UAV s nameranými teplotnými profilmi a taktiež intenzitou napadnutia. Neopomenuteľným cieľom je zistiť a navrhnúť vhodnú metodiku a časovú náročnosť pre zber dát z koruny pomocou stromolezeckej techniky.

3. Literárna rešerš

3.1. Diaľkový prieskum zeme

Termín diaľkový prieskum zeme (ďalej len „DPZ“), označuje spôsob získavania informácií o objektoch a javoch bez priameho fyzického kontaktu na diaľku pomocou špeciálnych zariadení (Dobrovolný, 1998). Pod touto definíciou si môžeme predstaviť tvorbu leteckých a satelitných snímok a ich spracovanie t.j. konverziu, formátovanie, štandardizáciu a napokon tvorbu tematických máp zobrazujúcich zemský povrch (Pravda, Kusendová, 2004). Absolútnym základom DPZ je fakt, že objekty vytvárajú alebo odrážajú v rôznych vlnových dĺžkach odlišné množstvo žiarenia. Tento jav je známy ako „spektrálny podpis“.

V súčasnosti môžeme DPZ podľa spôsobu získavania dát rozdeliť na dve časti. Prvou možnosťou je takzvané klasické fotografické snímkovanie prezentované v analógovej forme. Druhou možnosťou je zaznamenávanie dát číselne v digitálnej forme. Pri samotnom spracovávaní a interpretácii dát sa obe metódy navzájom prelínajú (Svatoňová, Laueremann, 2003).



Obrázok 1. Schematické skenovanie povrchu Zeme satelitom Landsat

Zdroj: < <https://landsat.gsfc.nasa.gov/> >

V súčasnosti sa DPZ stále považuje za veľmi progresívne sa rozvíjajúci odbor, ktorý nachádza uplatnenie nie len v rôznych vedeckých, ale aj v komerčných oblastiach a odvetviach. Snímkovanie povrchu Zeme môže prebiehať v rôznych výškových hladinách. Pokiaľ potrebujeme informácie o atmosférických systémoch je nutné zbierať dáta z veľmi vysokej výšky (700-800 km). V takom prípade sa snímky tvoria pomocou družíc. Napriek tomu pri nutnosti snímkovať lokalitu menších rozmerov, napríklad lesného porastu, archeologickej lokality či poľnohospodárskej pôdy sa využívajú snímky vytvorené v nižších výškach pomocou bezpilotných prostriedkov, plošín či lietadiel. Tieto prostriedky sa pohybujú v desiatkach až stovkách metrov nad zemským povrchom. Samozrejme, každá úroveň takého zberu dát má opodstatnenie, svoje výhody a nevýhody (Miřijovský, 2013). V dnešnej dobe je kladený veľký dôraz na kvalitu snímky to znamená na jej rozlíšenie, uhol, šírku a expozíciu záberu. To však so sebou nesie vyššie finančné náklady na vytvorenie snímok (Chudý, 2017).

3.2. Využitie DPZ v lesníctve

Lesy si v globálnom meradle zaslúžia veľkú pozornosť, a to z viacerých dôvodov. O lesoch hovoríme ako o obnoviteľnom zdroji energie. Predstavujú až 31% zemskej súše. Sú prirodzeným regulátorom klímy, vodného hospodárstva, erózie pôdy a iných ekologicky významných procesov. Lesy samozrejme predstavujú prirodzený biotop pre nespočetné množstvo živočíchov a rastlín. Pre tieto a mnoho ďalších dôvodov sa v súčasnosti DPZ využíva ako dôležitý nástroj na získavanie dát o stave lesných porastov (Svatoňová 2006, 2010).

Z hospodárskeho hľadiska les vnímame najmä ako zdroj cennej suroviny, dreva. Aj v dnešnej dobe viac ako polovica všetkého dreva je využívaná na energetické účely. Avšak s touto potrebou ľudí idú ruka v ruke problémy spojené s hospodárením v lesníctve, a to: veľkoplošné kalamity, požiare, odlesňovanie a pod.. DPZ sa v tomto prípade javí ako ideálny nástroj na monitoring a kontrolu takto zasiahnutých oblastí (Bitterer, 2005).

Hlavnými oblasťami využitia diaľkového prieskumu zeme v lesníctve sú : monitoring a kontrola poškodenia lesných porastov, zisťovanie druhového zloženia

lesa, inventarizácia lesa, monitoring neprístupných lesných porastov, monitoring zveri a pod (Dobrovolný, 2001).

3.2.1. Konkrétne štúdie využitia DPZ v lesníctve

Zisťovanie objemu biomasy nadzemnej časti porastov pomocou bezpilotných leteckých systémov (UAV). Zber dát prebiehal na úrovni jednotlivých stromov. Ako dáta boli použité informácie z 13 skúmaných plôch. Porast, ktorý tvoril skusné plochy boli tvorené bukom a smrekom. Zber dát prebiehal len zo stromov nachádzajúcich sa v hornej etáži. Z meraní sa zisťovali iba hrúbka a výška, teda základné parametre potrebné na výpočet objemu nadzemnej časti stromu. Vedci došli k záveru, že dáta získane pomocou dronov predstavujú nižšiu odchýlku u smreka ako u buka od skutočnej hmotnosti nadzemnej biomasy. Odchýlka od skutočnej hmotnosti nadzemnej biomasy v obidvoch prípadoch dosahuje hodnotu do 20% (Číhák, 2018).

Sledovanie dynamiky disturbancie lesov pomocou UAV. Získavanie snímok smrekových porastov zasiahnutých veternou kalamitou a neskôr napadnutie podkôrnym hmyzom. Zo štúdie vďaka využitiu snímkovania zasiahnutej plochy pomocou bezpilotných leteckých systémov je zrejmé nepretržité šírenie rozvratu porastu a taktiež rýchla regenerácia spojená so zmenou druhového zloženia a jej rozmanitosťou (Minařík, Langhammer, 2016).

Využívanie malých bezpilotných prostriedkov na inventarizáciu lesa. Na základe modelovania zobrazovaných leteckých snímok s pozemnými referencovanými dátami, ktoré korešpondujú s lineárnymi modelmi pre počet stromov, rozlohu danej plochy, strednú zásobu a taktiež strednú výšku (Puliti et al., 2015).

Zisťovanie voľných priestorov v poraste pomocou UAV. Jedná sa najmä o priestory vzniknuté ľudskou činnosťou, najčastejšie ťažbou a prirodzenými procesmi v poraste, ktoré vedú k rozvoľňovaniu porastu. Veľkosť voľných plôch sa pohybuje od 10 m² až do 100 m², teda naozaj sa jedná o veľmi malé plochy, ktoré je len veľmi ťažko monitorovať pomocou satelitných snímok (Getzin et al., 2014).

Zisťovanie stavu lesa na základe hyperspektrálnych leteckých snímok vyhotovených pomocou snímača AISA Eagle. Snímkovanie porastov prebiehalo na území Vysokoškolského lesného podniku Technickej univerzity vo Zvolene. Zámerom bolo zistiť informácie o dreve, ktoré predstavuje teoretickú hrozbu v prípade vzniku lesného požiaru. (Koreň et al., 2007)

Zisťovanie stupňa napadnutia smrekových porastov napadnutých podkôrnym hmyzom rodu *Ips* pomocou moderných technológií. Monitoring bol vykonávaný pomocou leteckých bezpilotných prostriedkov (UAV). Náklady na túto technológiu sú nižšie ako náklady spojené s klasickou teda fyzickou kontrolou. Táto technológia umožňuje sledovať a hodnotiť stav pomocou hyperspektrálnych senzorov, ktoré pracujú v rozsahu 500-900nm a preto sú vhodné na zisťovanie odlišnosti spektrálnych vlastností skúmaných predmetov (Näsi et al., 2015).

3.3. Fotogrammetria

Fotogrammetria je vedný odbor, ktorý sa zaoberá získavaním, spracovaním a použitím získaných dát v podobe fotografického záznamu. Pojem fotogrammetria je zložený z troch gréckych slov photos (svetlo), gramma (záznam), metron (merať) (Pavelka 2003).

Fotografický záznam resp. fotografiu môžeme zaznamenať podľa Bitterera (2005) dvoma spôsobmi:

- **analógovo**
- **digitálne**

Analógová fotografia je v dnešnej dobe pre väčšinu ľudí, už neznámy pojem. Využíva ju iba malá skupina nadšencov, ktorí sa venujú umeleckému fotografovaniu (Rosenblum, 1997). V podstate ide o klasickú fotografiu, kde nahrávacie médium predstavuje fotografický film, ktorý obsahuje tenkú vrstvu emulzie svetlo-citlivej halogénidy striebra. Keď je táto vrstva vystavená dostatočnému svetelnému žiareniu vznikne neviditeľný zápis na film, ktorý pomocou chemických procesov môže vytvoriť obraz viditeľný v podobe fotografie (Böhm, 2002).

V súčasnosti sa pre vedecké ale aj komerčné účely využívajú v drvivej väčšine **digitálne** fotografické záznamy, ktoré sú tvorené pixelmi. Prevod analógového signálu do digitálnej podoby sa nazýva **digitalizácia**. Zahrňuje vzorkovanie, kódovanie a kvantovanie (Hájovský et al., 2012). Odrazené svetlo od foteného objektu je cez optickú sústavu šošoviek privedené na snímací čip CCD, ktorý pracuje na fotoelektrickom princípe. Snímací čip následne vygeneruje elektrický náboj, ten sa spracuje v obrazovom procesore. Zistené informácie sa pomocou algoritmu zobrazujú ako surový obraz, ktorý je v podobe fotografie uložený v digitálnej pamäti (Rosenblum, 1997).

Fotografiu alebo inak meračský záznam, ktorý bude použitý môžeme získať pomocou rôznych zariadení. Od amatérskych fotoaparátov, ktoré nie sú moc vhodné pre detailné skúmanie obrazu, až po špeciálne fotogrametrické komory. Snímky zhotovené takouto špeciálnou technikou umožňujú detailne spracovávať zachytený objekt a body v ňom. Je možné určovať: polohu, tvar, veľkosť, umiestnenie, výškopis, polohopis a ďalšie iné vlastnosti skúmaného objektu alebo bodov na snímku (Pavelka, 2003).

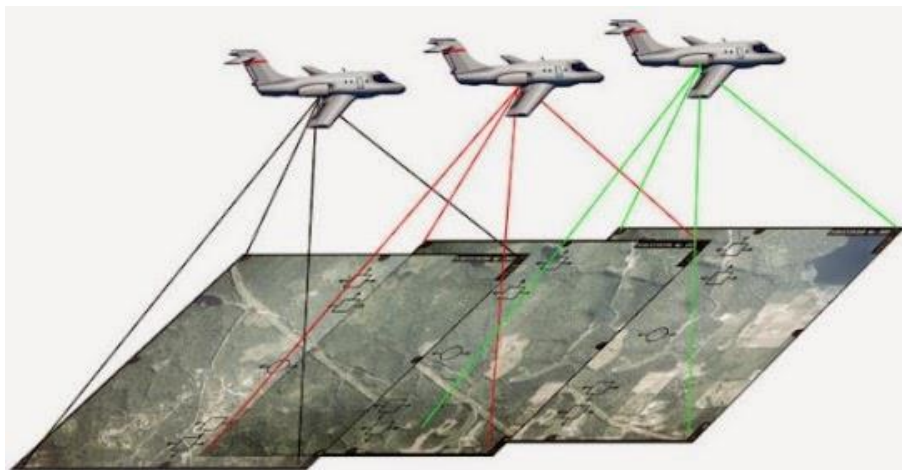
Podľa pozície fotogrametrického stanoviska rozdeľujeme fotogrametriu na dve oblasti:

- **pozemnú fotogrametriu**
- **leteckú fotogrametriu**

Pozemná fotogrametria sa zaoberá vyhotovením a vyhodnocovaním snímok vytvorených fotogrametrickou komorou z pozemných stanovísk. Fotografická ale aj technická náročnosť vybavenia je omnoho jednoduchšia ako je potrebná pri leteckej fotogrametrii (Böhm, 2002). Použitie pozemnej fotogrametrie závisí na vzdialenosti skúmaného objektu, tá sa pohybuje zhruba okolo 500 m. Vzdialenosť je obmedzená terénnymi pomermi a taktiež kvalita použitej techniky. Predstavuje v podstate vývojový stupeň fotogrametrie. Avšak stále má svoje pevné a opodstatnené miesto v rôznych odvetviach, najmä stavebníctvo, geológia, krajinná architektúra a pod. (Bitterer, 2005).

Letecká fotogrametria predstavuje v súčasnosti hlavné ťažisko fotogrametrie. Veľkou výhodou je fakt, že nie je obmedzená terénnymi podmienkami, keďže snímky sa vyhotovujú v pohybujúcom sa nosiči. Medzi také patria najmä: lietadlá, vrtuľníky alebo bezpilotné prostriedky (UAV). Využíva sa na prieskum a mapovanie väčších území (Pavelka, 2003).

Diferencovaným prekresľovaním vyhotovených snímok leteckej fotogrametrie sa zaoberá ortofotografia. Tento vedný obor sa zaoberá elimináciou skreslenia skutočnosti na snímkach, ktoré sú zapríčinené rôznou vzdialenosťou predmetov a objektov. Výsledkom takýchto diferenciácií je ortofotomapa (Bělka, 2007).



Obrázok 2: *Letecká fotogrametria*

Zdroj: <<http://arfighif.blogspot.cz>>

Podľa počtu vyhodnocovaných snímok je fotogrametria rozdelená na:

- **jednosnímkovú**
- **dvojsnímkovú**

Pri **jednosnímkovej** metóde sa využíva priamo meračský snímok. Nie je možné vypočítať a merať polohové súradnice, preto je využitie jednosnímkovej fotogrametrie obmedzené len na meranie rovinných súradníc. Tie je možné využiť

pri meraní rovinných území, prípadne v niektorých zvláštnych prípadoch v archeológii či stavebníctve (Bitterer, 2005).

Dvojsnímková fotogrametria inak **stereofotogrametria** je tvorená dvoma snímkami. Meraný objekt musí byť súčasne zobrazený na oboch snímkach. Týmto spôsobom je možné zmerať objekty, územia s polohopisným a výškopisným obsahom. Dvojsnímková fotogrametria je vďaka svojim univerzálnym vlastnostiam najviac využívaná v dnešnej dobe (Böhm, 2002).

3.4. RGB a CIR

Vytvorené snímky môžu byť čiernobiele alebo farebné. Všetky farebné fotografie sú tvorené pomocou troch základných farieb: červenej (R-red), zelenej (G-green) a modrej (B-blue). Z tohto vychádza takzvané aditívne miešanie farieb alebo **RGB** model (Hájovský et al.,2012). Letecké RGB fotografie sú tvorené vo výške cca 2km nad snímaným územím. Tvorba RGB snímok je veľmi závislá na dobrých atmosférických podmienkach. Veľkou výhodou RGB fotografií je možnosť interpretácie snímky ľudským okom.



Obrázok 3.:RGB fotografia

Zdroj: <<http://www.topgis.cz>>

CIR (angl. Color Infra Red) alebo inak farebné infračervené snímky boli vyvinuté najskôr pre vojenské účely, avšak neskôr sa začali využívať aj v iných

oblastiach a lesníctvo nie je výnimkou. Výsledkom takýchto snímok sú neprirodzené resp. nepravé farby. Dôvodom takej to zmeny farby je fakt, že jedna z vrstiev filmu je citlivá k infračervenej časti svetelného spektra. Snímky sú tvorené v nižších výškach ako RGB. Výsledkom sú snímky s dobrým kontrastným obrazom.

Pomocou RGB a CIR ortofotosnímkov je možné okrem iného v lesníctve určovať drevinové zloženie porastov, nie však so 100% presnosťou (Kardoš et al., 2013).



Obrázok 4.: CIR fotografia

Zdroj: <<http://www.topgis.cz>>

3.5. Technika SfM a ALS

SfM (angl. Structure from Motion), zobrazovacia technika, ktorá funguje na princípe odhadovania trojrozmernej štruktúry objektu resp. územia (napr. lesného porastu) z dvojrozmerných snímkových sekvenciách súvisiacich s pohybom nosiča (Lucier, 2012). Je možné to prirovnať k zraku človeka, ktorý využívame pri vizualizácii trojrozmerného vnímania objektov z obrazov dvojrozmerných vďaka pohybu okolo takýchto objektov (Šimíček, 2014). Základom SfM je veľké množstvo snímok v RGB spektre a ich prekrývanie. Tie následne slúžia na generovanie 3D mračna bodov (Wallace et al., 2016).

ALS (angl. Airborne Laser Scanning), letecké laserové skenovanie. Základom tejto techniky je LiDAR (Light Detection And Ranging). Tento prístroj vysiela laserové lúče pod rôznymi uhlami a vysokou rýchlosťou smerom k skúmanému objektu (Dolanský, 2004). Lúče sú vďaka pohybujúcemu sa zrkadlu rôzne rozptýlené po okolí. Pomocou detektoru a rozdielu medzi vyslaním a prijatím lúča je možné určiť polohu každého bodu, od ktorého sa lúč odrazil. Výsledkom takého skenovania územia je mračno bodov, z ktorých je možné vytvoriť výškopisný model s presnosťou pár centimetrov (Hyppä, 2011). V zahraničí sa skenovanie porastov pomocou techniky LiDAR úspešne využíva pri inventarizácii porastov (Benedová, 2012).

3.6. Bezpilotné letecké prostriedky (UAV)

Aktuálna ČSN 310001 definuje bezpilotný letecký prostriedok nasledovne: lietadlo spôsobilé lietať bez pilota, ktoré je za letu riadené diaľkovo zo zeme alebo automatickým zariadením.

Pre pomenovanie bezpilotného leteckého prostriedku sa používa viac výrazov a skratiek: **UAV** (angl. Unmanned Aerial Vehicle) , **UAS** (angl. Unmanned Aerial Systems), **dron** (angl. drone), (Everaerts, 2008), **RPA** (angl. Remotely Piloted Aircraft) (Icao, 2011). Úrad pre civilné letectvo pojem bezpilotné lietadlo definuje ako : Lietadlo určené k používaniu bez pilota na palube (ÚCL, 2008).

Vývoj bezpilotných leteckých prostriedkov má dlhú históriu. V druhej polovici 19.storočia, konkrétne v roku 1858, francúzsky fotograf G.F. Tournachon pomocou teplovzdušného balóna vytvoril prvú leteckú snímku. Toto obdobie môžeme považovať za vznik DPZ pomocou bezpilotných leteckých prostriedkov (Chudý, 2017).

Progresívnemu vývoju bezpilotných leteckých prostriedkov vďačíme najmä vojenskému sektoru, ktorý vynakladá veľké finančné prostriedky na vývoj nových technológií. Vďaka uvoľneniu niektorých technológií do komerčnej sféry sa začiatkom 21. storočia začali vyrábať a predávať prvé bezpilotné prostriedky určené pre verejnosť (Karas, 2016).

Bezpilotné letecké prostriedky pre komerčné použitie sú najčastejšie rozdelené na:

- **Multikoptéry**
- **Krídla**

3.7. Multikoptéry

Už samotný názov napovedá tomu, že ide o prostriedok poháňaný vrtuľami podobne ako pri vrtuľníku. Multikoptéry využívajú podobný systém ako vrtuľníky, avšak na vyrovnanie rotácii okolo vlastnej osy nepotrebujú zadnú kompenzačnú vrtuľu (Miříjovský, 2013). Najčastejšie sa používajú multikoptéry so štyrmi (kvadroptéra), šiestimi (hexagoptéra) alebo ôsmimi (oktoptéra) vrtuľami (Janoušek, 2016). Vo všeobecnosti platí pravidlo, že čím viac vrtúľ tým je silnejší výkon, vyššia bezpečnosť pri prípadnom poškodení niektorého z motorov alebo vyššia stabilita.

Pozitívnymi vlastnosťami sú: kolmé vzlietnutie multikoptéry, možnosť meniť snímacie senzory vďaka jednoduchšej konštrukcii, taktiež alternatíva využiť ako manuálneho, tak aj automatického letu podľa vopred naplánovaného letového plánu (Karas, 2016).

Negatívnou vlastnosťou je pomerne krátka doba letu, čo je spôsobené najmä vyššou hmotnosťou (UAV guide, 2014). Vďaka týmto univerzálnym vlastnostiam sa multikoptéry stali ideálnym prostriedkom na snímkovanie a monitoring lesných ekosystémov (Chudý, 2017).



Obrázok 5.: Hexakoptéra DJI S900 pred odletom (Modlinger, 2017)

3.8. Krídla

Jedná sa o špecifický druh komerčných dronov. Ich konštrukcia, dizajn a využitie vychádza z dronov vojenských. Krídla sú určené len na monitoring a mapovanie území. Využitie týchto prostriedkov je obmedzené kvôli ich konštrukčnej náročnosti, ktorá zväčša nedovoľuje meniť snímacie senzory tak ako to je u multikoptér. Vzlietnutie lietadlových dronov je možné z odpaľovacej rampy alebo z ruky. Tieto bezpilotné letecké systémy lietajú automaticky podľa letového plánu, ktorý je vopred naplánovaný a bezdrôtovo poslaný do riadiacej jednotky bezpilotného lietadla.

Nevýhodou krídel je, že: spôsob pristávania zväčša prebieha automaticky na vopred určené vhodné miesto, ktoré veľa krát predstavuje plochu o veľkosti niekoľko desiatok až stoviek metrov. Využitie týchto dronov je veľmi obmedzené a určené najmä na mapovanie a monitoring rozsiahlejších území.

Výhodou je doba letu, ktorá sa vo väčšine prípadov pohybuje okolo 60 minút. Táto vlastnosť je spôsobená nižšou hmotnosťou a letom v jednej letovej hladine (Karas, 2016).



Obrázok 6: Krídlo SenseFly eBee (Karas, 2016)

3.9. Stromolezenie

Stromolezenie (angl. treeclimbing) je špecifická činnosť, ktorá je úzko spojená so starostlivosťou o stromy, arboristikou (angl. arboriculture). Arboristika je odbor, ktorý vychádza zo základov lesníctva a záhradníctva. Zaoberá sa starostlivosťou o dreviny v urbanizovanom prostredí (Kolařík, 2003).

Stromolezenie vychádza z techník priemyselného lezenia, športového lezenia a taktiež speleologického lezenia. Na lezenie po stromoch sa využíva špeciálna na to určená technika: sedák, blokanty, trecie brzdy, karabíny, smyce, laná a iné. Stromolezec je pomocou takejto techniky schopný vystúpiť bezpečne do koruny bez toho, aby nejakým spôsobom poškodil, alebo narušil zdravotný stav stromu v podobe zlomených vetví alebo poškodeného kmeňa. To sa často stáva pri použití nevhodnej techniky, napr. hrotové stúpačky. Stromolezenie sa často využíva v rôznych odboroch akými sú ornitológia, entomológia, dendrológia či ekológia. Umožňuje zber rozličných dát priamo z korún stromov bez nutnosti spĺnenia stromu, prípadne ošetrovanie orgánov na úrovni konárov a vetiev, resp. menších častí kmeňa (Capanda, 2007).

3.10. Smrek obyčajný- *Picea abies* (L.) H. Karst

Veľká časť lesníckeho a drevárskeho priemyslu v strednej a severnej Európe stojí na produkcii drevnej hmoty smreka. Z tohto titulu patrí smrek medzi hlavné hospodárske dreviny, ako u nás tak aj v zahraničí (Musil, 2003). Ekologicky a morfológicky je veľmi plastický. Je prispôsobený rôznym pôdnym a taktiež klimatickým podmienkam, avšak je veľmi náročný na pôdnu vlhkosť (Pagan, 1999). V Českej republike je prirodzené ťažisko výskytu smreka okolo 800 m.n.m., kde tvorí súvislé klimaxové smrečiny (Musil, Homerník, 2007). V nižších polohách sa prirodzene vyskytuje ojedinele na špecifických stanovištiach (Pavličková, 2016).

Smrek zaberá až 50 % z celkového drevinového zloženia lesov v Českej republike. Keďže sa z hospodárskeho hľadiska jedná o najvýznamnejšiu drevinu v ČR, predstavuje veľký podiel v tržnej ekonomike lesného hospodárstva. Vďaka týmto aspektom je smreku venovaná vysoká pozornosť a veľký dôraz na jeho pestovanie a udržanie v porastoch. V súčasnosti sa smrek stretáva z veľkým počtom nepriaznivých činiteľov akými sú: vietor, sucho, podkôrny hmyz a pod.. Z veľkej časti za to môže nevhodné stanovište a nevhodný spôsob hospodárenia s touto drevinou (www.lesprace.cz).

3.11. Lykožrút smrekový-*Ips typographus* (Linnaeus, 1758)

Lykožrút smrekový patrí medzi šiestich zástupcov podkôrneho hmyzu rodu *Ips* na našom území (Skuhrový, 2002). Bezpochyby ide o najväznejšieho škodcu smrekových porastov v Európe, v ktorých svojou častou gradáciou populácie vytvára významné ekonomické, ale aj ekologické straty (Abdullah, 2017).

Lykožrút smrekový dosahuje veľkosť 4,2-5,5 mm. V normálnych podmienkach vyhľadáva jedince, ktoré sú už fyziologicky oslabené. Tieto stromy produkujú primárne atraktanty, ktoré lákajú lykožrúty. Na takéto dreviny lykožrút nalieta hromadne, pričom produkuje sekundárne feromóny tzv. agregáčnej feromóny (Zumr, 1985). O lykožrútovi smrekovom hovoríme ako o polygamnom druhu, samec sa pári s 1 až 3 samicami. Vývoj lykožrúta od vajíčka až po imágo prebieha v lyku dreviny o čom napovedá aj samotné rodové pomenovanie tohto druhu. Dochádza k požieraniu rastlinných pletív a následnému uhynutiu dreviny. Celkový vývoj od vajíčka po imágo v normálnych podmienkach trvá 6 až 10

týždňov. Priemerne sa roji 1 až 3 krát do roka to závisí najmä na podmienkach (počasie, potrava) (Záhradník, Knížek, 2007). Problém premnoženia lykožrúta smrekového býva často vyvolaný veternými kalamitami, kedy sa pre lykožrúta naskytnú ideálne podmienky na rozmnožovanie a vývoj. Populácie v takýchto podmienkach dosahujú epidemické hodnoty. Vetrom rozlámané alebo inak poškodené stromy nie sú schopné sa brániť a tak sa stávajú ľahkým cieľom podkôrneho hmyzu (Feketová, 2011).

3.12. Lykožrút severský-*Ips duplicatus* (C.R.Sahlberg,1836)

Na začiatku 20.storočia bol lykožrút severský v Českej republike takmer neznámy druh podkôrneho hmyzu, ktorý sa vyskytoval iba v eurosibírskej tajge od Švédska po Sachalin a okrem toho ešte v Alpách.(Knížek, Holuša 2007) Boli známe iba jednotlivé nálezy zo Slezka (Pfeffer,1965). V 20. storočí sa však postupne začal cez Poľsko šíriť smerom na juh. Od 70. rokov 20. storočia patrí medzi významných škodcov smrekových porastov na severovýchode Českej republiky (Holuša et. al., 2006).

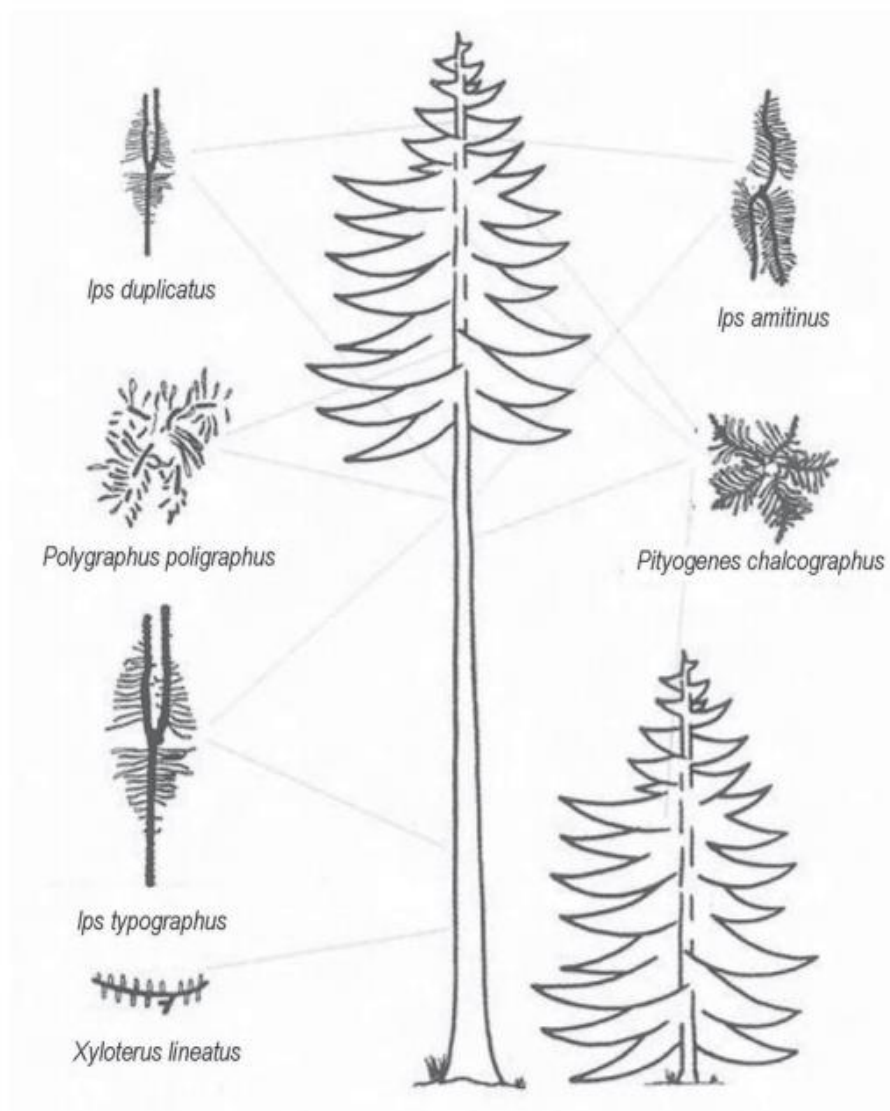
Lykožrút severský dosahuje veľkosť 2,8-4,5 mm. Podobne ako lykožrút smrekový napáda smrek obyčajný (*P. abies*), avšak na rozdiel od lykožrúta smrekového je pre lykožrúta severského atraktívnejšia horná časť kmeňa s tenšou borkou (Grodzki, 2012). Sú známe jednotlivé prípady kedy lykožrút severský napadol aj iné druhy drevín ako napríklad dúglasku tisolistú (*Pseudotsuga menziesii*) (Mirbel) Franco (Kašák, Foit, 2015) alebo rôzne druhy borovic (Pfeffer, 1965). Od ostatných lykožrútov tohto rodu sa líši týmito znakmi: zadná časť kroviek a predný okraj štítu sú pri pohľade zhora zaoblené, jemné bodkovanie medzi-rýžia, v postavení zúbkov na krovkách je u samca typický dvojzub, ktorý je tvorený druhým a tretím zúbkom. S lykožrútom smrekovým a lykožrútom smrečinovým *Ips amitinus* (Eichhoff, 1871) vytvárajú synúziu kambiofágov na smreku. Požerky lykožrúta severského sú tvarom veľmi podobné požerkom lykožrúta smrekového, avšak sú celkovo menšie a subtilnejšie. Požerok môže byť jedno až päť ramenný, no najčastejšie sa stretávame s požerkom s tromi ramenami. V napadnutej časti kmeňa lykožrútom severským môžeme často kráť najst' taktiež

požerky lykožrúta lesklého *Pityogenes chalcographus* (Linnaeus, 1761) (Holuša et al., 2006).

Lykožrút severský napáda najčastejšie 40 až 70 ročné smrekové porasty, kde sa vyvíja v stredných a horných častiach kmeňa (6 až 35 cm). Na strom ako prví nalietavajú samčekovia, ktorí po vytvorení snubnej komôrky pomocou agregáčného feromónu, ktorého hlavnou zložkou je Ipsdienol a E- myrcenol lákajú samičky. Samičky následne kladú vajíčka do zárezov v materskej chodbe, ktorú ešte skôr vyhrýzli. V priemere kladú 46 vajíčok. Larvy sa liahnu po jednom až dvoch týždňoch, vývoj lariev trvá dva až štyri týždne, závisí to najmä na klimatických a stanovištných podmienkach. Vývojové štádium kukly trvá v priemere 10 dní. Následne vyliahnuté chrobáky vykonávajú zrelostný žer, ktorý trvá 2 týždne a počas ktorého pohlavne dozrievajú. Celkový vývoj teda trvá štyri až osem týždňov. Lykožrút severský zimuje ako imágo pod kôrou prípadne v hrabanke (Knížek, Holuša 2007).

Kontrola sa vykonáva ako okulárna tak aj pomocou feromónových lapačov vo všetkých ohrozených smrekových porastoch starších ako 40 rokov. Lykožrút severský sa často krát vyskytuje v smrekových porastoch spolu s lykožrútom smrekovým, preto je vhodné vykonávať kontrolu týchto druhov spoločne. Napadnuté stromy je nutné rýchlo a včas asanovať ešte pred vyrojením (Holuša et al., 2006).

Lykožrúta severského môžeme zaradiť medzi potencionálny druh kalamitných škodcov a aj preto je nutné mu venovať patričnú pozornosť (Knížek, Holuša 2007).



Obrázok.7.:Kambioaxylotózne kôrovce a synúzia na kmeni smreka (Knížek, Záhradník 2004)

4. Metodika

4.1. Skúmaná oblasť

Vojenský újezd Libava sa nachádza v Olomouckom kraji v katastrálnom území Kozlov u Velkého Újezdu I. Lokalita spadá pod geomorfologický celok Nízky Jeseník (PLO-29, Nízky Jeseník) a je súčasťou Oderských vrchov. Oderské vrchy sú významné množstvom náhorných plošín, ktoré vznikali na rozvodí vodných tokov. Priemerná nadmorská výška predstavuje 650 m.n.m. (Pruša, 2001).

Geologické podložie je tvorené usadenými horninami, ktoré sú chudobné na minerály najmä kulmské droby a bridlice.

Už viac ako 20 rokov sú smrekové porasty v tejto oblasti pod silným tlakom podkôrneho hmyzu, čo je spôsobené viacerými faktormi: nepôvodné stanovišťa smreka, nedostatok zrážok, veterné kalamity a pod. (Jeniš, 20017).

Skúmaná oblasť patrí do LHC 17210, Lipník nad Bečvou- Potštát -Bílý kámen, porast **322A8**.

Tabuľka 1: Údaje o poraste z LHP 2010-2019

zastúpenia	zastúpenie	d 1/3	h	bonita	V/ha
	%	cm	m		m ³
SM	97	34	31	34	651
BK	2	31	27	30	6
KL	1	42	25	28	2

4.2. Výber skusnej plochy

Pred zahájením terénnych prác bolo nutné dôkladne vybrať vhodný porast a umiestnenie dvoch plôch v takom poraste. Bolo potrebné zohľadniť niekoľko limitujúcich faktorov:

1. Keďže územie sa nachádza vo vojenskom priestore, bolo nutné nájsť lokalitu kde je možné použitie dronov.
2. Zastúpenie smreka 100 % (na ploche sa nesmeli vyskytovať aktívne kôrovcové stromy, výhodou bol výskyt starých vyletených kôrovcových stromov)
3. Porastová stena, ktorá je po väčšine dňa oslnená (vo väčšine prípadov je to porastová stena orientovaná južne)
4. Porastová stena nesmela byť vystavená smeru prevládajúcich vetrov (aby nedošlo v priebehu výskumu k rozpadu porastu vetrom)

Po výbere vhodného porastu boli založené dve skusné plochy, ktoré boli označené **T** a **K**. Na každej ploche boli vybrané tri stromy, z ktorých boli odoberané

dáta. Stromy, ktoré sa nachádzali na skusnej ploche s označením K boli situované na vlhšom stanovišti. A to z dôvodu predpokladu, že budú schopné lepšie sa brániť a odolávať napadnutiu lykožrútov.



Obrázok 8: Skúmaná plocha, snímka vytvorená dronom (Surový, 2017)

4.3. Zber leteckých dát pomocou UAV

Na zber leteckých dát bola použitá koptéra DJI S900. Ide o hexakoptéru, teda koptéru/kopter poháňaný pomocou šiestich vrtúľ. Vysoká nosnosť umožňuje niesť veľkú škálu rôznych zariadení slúžiacich na zber dát. Celková hmotnosť nákladu vrátane akumulátorov by nemala prekročiť hranicu 5 kg. Dron tohto typu je schopný lietať vo vzduchu max. 20 minút. Dron je taktiež vybavený moderným autopilotom typu A2, ktorý slúži ako hlavná riadiaca časť celého kopteru. Srdcom celého UAV sú lithium-polymerové (Li-pol) batérie, ktoré dodávajú elektrickú energiu. Celková kapacita batérií predstavuje 10 000 mAH. Jedným z hlavných komponentov, bez ktorých by dron nevzlietol sú pohonné jednotky resp. motory. V tomto prípade bolo UAV vybavené šiestimi motormi s označením 4114 PRO

KV:400. Veľmi dôležitou súčasťou je tiež informačná LED dióda, ktorá slúži k vizuálnemu kontaktu operátora zo zeme s UAV. Dron je vybavený GPS a výškomerom, ktoré slúži na zaznamenávanie polohy respektíve letovej hladiny. Pre dosiahnutie čo najnižšej hmotnosti je celá konštrukcia dronu postavená z karbónových častí.

Pred zahájením každého letu musí byť vykonaná podrobná predletová kontrola a príprava všetkých použitých systémov a komponentov. Táto príprava sa vykonáva z dôvodu bezpečnosti okolia, ale aj nesených senzorov a samotného UAV. Predletová príprava zahŕňa kontrolu a funkčnosť všetkých konštrukčných prvkov a taktiež všetkých elektronických prvkov, ktoré sú súčasťou dronu.

Príprava pred odjazdom na lokalitu prebieha najmä z nabíjania samotných akumulátorov pre všetku elektroniku na GroundStation (notebook s dátovým pripojením), keďže v teréne nie je možné zabezpečiť stály pevný zdroj elektrickej energie. Táto príprava zahŕňa tiež nabíjanie niekoľkých batérii určených na pohon UAV, batérie do RGB snímača a batérie vysielачky určenej na ovládanie dronu. Je nutné viesť záznamy o počte nabíjaní akumulátorov z dôvodu obmedzenej životnosti jednotlivých batérii. Taktiež je nutné vybrať a pripraviť vhodnú SD kartu s dostatočnou kapacitou pamäte, na ktorú sú fotografie uložené v JPG a RAW formáte.

Po príchode na skúmanú lokalitu je nutné pochôdzkou preskúmať terén a jeho blízke okolie. Účelom je zistenie bližších informácií o lokalite, prípadné deformácie terénu, záchytné body pre lepšiu orientáciu a podobne. Dôležitým účelom terénnej pochôdzky je určenie ideálneho miesta mimo snímanej plochy, ktoré slúži na štart a pristávanie UAV. Toto miesto je označované ako Home Point (domovský bod), kde prebieha predletová príprava, ktorá zahŕňa kontrolu všetkých nosných prvkov, uloženie batérii, ich kontrola, upevnenie a nastavenie RGB snímača, kontrola a vyklopenie ramien s rotormi. Súčasťou tejto prípravy je tiež príprava tzv. Ground Station (pozemnej stanice), ktorej základom je notebook so softvérom Ground Station.

Ďalej nasleduje zapnutie rádia, ktoré slúži na priame ovládanie dronu. Po zapojení batérií upevnených na UAV prebieha automatické nadviazanie kontaktu medzi dronom a Ground Station, kedy UAV informuje Ground Station o svojej polohe. Nasleduje kalibrácia senzorov UAV, ktorých úlohou je udržanie dronu vo vodorovnej polohe počas letu. Úspešná kalibrácia je signalizovaná svetelným signálom kontrolnej diódy. Po úspešnom skalibrovaní UAV je možné zahájiť let, ktorý je však plne kontrolovaný pilotom. Na snímkovanie celej porastovej skupiny je nutné držať konštantnú letovú hladinu, ktorú je možné naplánovať a dosiahnuť pomocou Ground Station a autopilota. Súčasťou plánovania dráhy letu je taktiež výška letu a rýchlosť letu.

Štart UAV vždy prebieha manuálne, kedy operátor, resp. pilot, má plnú kontrolu nad dronom. Je nutné mať vypnuté všetky zariadenia, ktoré môžu rušiť alebo iným spôsobom ovplyvňovať signál medzi UAV, pilotom a Ground Station. Po dosiahnutí zvolenej letovej hladiny je manuálny režim prepnutý do plne automatického režimu. Pilot zo zeme vizuálne kontroluje priebeh letu. Vďaka svetelnej signalizácii diód je let dronu možné sledovať aj pri zníženej viditeľnosti. V prípade náhodnej poruchy je pilot okamžite schopný zasiahnuť a prípadne núdzovo pristáť. Let končí na počiatočnom bode. Podobne ako štart tak aj pristávanie prebieha manuálne, priamym ovládaním UAV operátorom. Keď je dron na zemi prebieha odpojenie batérií, vypnutie rotorov. Nasleduje kontrola kvality snímok. V prípade nevyhovujúcej kvality snímok sa musí zmeniť nastavenie RGB kamery a celý let je nutné opakovať (Slávik, 2017). Vždy je nutné dodržiavať legislatívne obmedzenia používania UAV (Kuželka, Surový, 2017).



Obrázok 9: Manuálny vzlet dronu nad snímkanú plochu (Slávik, 2017)

4.4. Použitá technika výstupu a pohybu stromolezca v korune stromu

Väčšina použitých dát v tejto práci (teplota, vzorky asimilačných orgánov, vzorky kôry) bola získavaná priamo fyzicky zo stojacích stromov. Preto bolo nutné použiť stromolezeckú techniku, pomocou ktorej bol pracovník schopný sa bezpečne dostať do koruny stromu a následne zozbierať všetky potrebné dáta.

Je nutné si uvedomiť fakt, že práca vo výškach je legislatívne upravená predpisom č. 362/2005 Sb. Tento predpis podrobne upravuje legislatívne požiadavky na BOZP vo výškach a v hĺbkach v prípade, že na pracovisku reálne hrozí pád z výšky respektíve do hĺbky viac ako 1,5 m.

Pri zahájení práce je povinnosťou vyhodnotiť všetky možné riziká, ktoré môžu svojím charakterom ohroziť bezpečnosť všetkých pracovníkov. Tieto riziká predstavujú: počasie, hluk, viditeľnosť, hodnotenie zdravotného stavu konkrétnych stromov a podobne. Po vyhodnotení týchto rizík, každý z prítomných pracovníkov musí mať informácie o polohe pracoviska a všetkých príjazdových cestách. To z dôvodu, aby v prípade pracovného úrazu každý člen na pracovisku bol schopný zavolať a informovať záchrannú zdravotnú službu o polohe zraneného.

Každý lezec je povinný používať revidované pracovné náradie, ktoré spĺňa konkrétne pracovné normy, na ktoré je dané náradie určené. Taktiež každá osoba

na pracovisku je povinná dodržiavať BOZP. Zvláštnosťou stromolezenia je povinnosť pracovať minimálne v skupine dvoch lezcov, kedy títo lezci musia byť schopní v prípade úrazu dostať postihnutú osobu z koruny stromu na zem.

Následne je možné pristúpiť k inštalácii výstupového lana do koruny stromu. Výstupové lano slúži vždy iba na bezpečný výstup lezca do koruny, nikdy sa nepracuje z tohto lana. Inštalácia výstupového lana značky BEAL ACCESS 11,0 mm prebieha pomocou praku značky FTC, nahadzovacieho lanka FTC Stifflin 1,8 mm a nahadzovacieho vrecka Notch s hmotnosťou 350 g. Pomocou nahadzovacieho lanka vytiahneme výstupové lano cez kotviaci bod v korune. Kotviaci bod predstavuje zdravé, pevné vetvenie. Najdôležitejšou časťou tohto kroku je výber správneho kotviaceho bodu v korune, ktorého nosnosť musí predstavovať min. 4 t. Samozrejme, toto v terénnych podmienkach nie je možné vždy dodržať. Preto je nutné urobiť kontrolu kotviaceho bodu zo zeme, vždy spolu s inou osobou, kedy vytvoríme na výstupovom lane silu, ktorá pôsobí na kotviaci bod hmotnosťou rovnou minimálne dvojnásobku hmotnosti samotného lezca.

Po kontrole kotviaceho bodu sa pristupuje k samotnému výstupu lezca do koruny, ktorý bol vykonaný pomocou pracovného postroja Teufelberger TREEMOTION (pracovný sedák) a výstupového setu. Samotný výstupový set sa skladá z nasledujúcich komponentov : nožný blokant CT quick step, ručný blokant PETZL ascension, tŕmen PETZL footcord, spojovacia smyca SINGING ROCK sling lanyard.

Po úspešnom výstupe do koruny stromu pristupuje pracovník k inštalácii pracovného setu nazývaného tiež dvojlanová technika. Táto technológia bola vykonávaná týmito pracovnými prostriedkami: Teufelberger PulleySAVER (chránič kambia), lano Teufelberger Xstatic 11,7 mm, arboristická brzda ART Spider Jack 3.

Až po riadnom a bezpečnom vykonaní týchto všetkých spomínaných krokov je možné pristúpiť k samotnému zberu dát v korune stromu.

4.5. Postup pri odbere vzoriek z vybraných stromov

Vzorky boli odoberané zo šiestich vybraných stromov na skúmanej ploche po jednotlivých sekciách (miesta na kmeni). Stromy boli rozdelené a označené. Prvá skupina stromov bola označená **T₁, T₂, T₅**. Táto skupina sa nachádzala na stanovišti exponovaným suchom. Druhou skupinou boli stromy označené **K₁, K₂, K₄**. Tieto stromy boli vybrané v miernom údolí s dostatkom vody. Predpokladalo sa, že stromy nachádzajúce sa na stanovišti s dostatkom vody sa budú lepšie brániť pred útokmi lykožrúta.



Obrázok 10.: Stromolezec odoberá vzorky z kmeňa (Modlinger, 2017)

Z každého stromu bolo celkovo odobratých 5 sekcií. Každá sekcia bola orientovaná k určitej svetovej strane, podľa vopred stanoveného harmonogramu. Veľkosť odobratej vzorky kôry (sekcie) mala veľkosť $12,5 \times 20$ cm, čo predstavuje $1/40$ m². Priemerná chyba odhadu hustoty populácie lykožrútov by mala dosahovať hodnotu do 25 %, preto je nutné zo stromu odobrať celkovo 50 dm² kôry.

Jednotlivé sekcie boli odoberané v nasledovných častiach kmeňa:

- Sekcia 1.: vo výške očí, cca 1,8 m
- Sekcia 2.: v polovici dĺžky kmeňa (medzi bázou kmeňa a miestom nasadenia koruny)
- Sekcia 3.: pod nasadením koruny (miesto kde ešte nie sú živé vetvy)
- Sekcia 4.: nad okrajom koruny (miesto nad prvým živým praslenom)
- Sekcia 5.: uprostred koruny (miesto medzi prvým živým praslenom a vrcholom koruny, limit pre odber sekcie je min. hrúbka 10 cm)

Založenie skunmej plochy a výber jednotlivých stromov bol 20.7.2017, samotný odber sekcií prebiehali v nasledovných termínoch :

- Odber č.1.: 5.8.2017
- Odber č.2.: 23.8.2017
- Odber č.3.: 30.8.2017
- Odber č.4.: 8.9.2017

Posledný 4. odber prebiehal zo zeme, skúmané stromy boli spílené.

Tabuľka 2: Odbery a sekcie podľa svetových strán pre stromy K1 a T1

T1/K1	Odber 1.	Odber 2.	Odber 3.	Odber 4.
<i>Sekcia 1.</i>	Z	S	J	V
<i>Sekcia 2.</i>	S	J	V	Z
<i>Sekcia 3.</i>	J	V	Z	S
<i>Sekcia 4.</i>	V	Z	S	J
<i>Sekcia 5.</i>	Z	S	J	V

Tabuľka 3: Odbery a sekcie podľa svetových strán pre stromy K2 a T2

T2/K2	Odber 1.	Odber 2.	Odber 3.	Odber 4.
<i>Sekcia 1.</i>	S	J	V	Z
<i>Sekcia 2.</i>	J	V	Z	S
<i>Sekcia 3.</i>	V	Z	S	J
<i>Sekcia 4.</i>	Z	S	J	V
<i>Sekcia 5.</i>	S	J	V	Z

Tabuľka 4: Odbery a sekcie podľa svetových strán pre stromy K4 a T5

T5/K4	Odber 1.	Odber 2.	Odber 3.	Odber 4.
<i>Sekcia 1.</i>	J	V	Z	S
<i>Sekcia 2.</i>	V	Z	S	J
<i>Sekcia 3.</i>	Z	S	J	V
<i>Sekcia 4.</i>	S	J	V	Z
<i>Sekcia 5.</i>	J	V	Z	S

Medzi spodným okrajom plátu predchádzajúceho odberu a nastávajúceho odberu bolo nutné dodržať zvislú vzdialenosť aspoň 20 cm. (kvôli zabráneniu vysychaniu lyka a minimalizácii ovplyvnení vývoja podkôrníka). Prvý odber vzorku bolo ideálne začať v najvyššom mieste sekcie. Na umiestnenie všetkých 4 odobratých vzoriek bol teda potrebný priestor 1,5 m. V miestach kmeňa s hrubšou borkou je možné umiestniť odber na opačnú stranu kmeňa, musí však byť dodržaná podmienka zvislej vzdialenosti 20 cm. (Modlinger, 2017).

Vzorky boli odoberané stromolezcom priamo na kmeni resp. v korune stromu. Jednotlivé pásy kôry boli odoberané pomocou vrubľovacieho noža (žabky) so zahnutým hrotom. Veľkosť vzorky sa vyrezávala pomocou vopred pripravenej šablóny o daných rozmeroch 12,5 × 20 cm. Šablóna bola vyrobená z kartónovej preložky. Po odkopírovaní obvodu šablóny sa opatrne kôra odlúpla od kmeňa, bolo potrebné dávať pozor aby sa plát kôry nepotrhal. Silno napadnuté vzorky mali

väčšiu tendenciu sa trhať, čo bolo spôsobené materskými a larválnymi chodbičkami. Vzorky následne boli vložené do PVC vreciek, ktoré boli popísané príslušným kódom. Zber prebiehal od vrcholu koruny smerom k báze kmeňa. Po zostupe stromolezca na zem boli zmerané presné rozmery odobraných vzoriek (výška a šírka) a taktiež pomocou posuvného meradla hrúbka kôry a lyka (obťažné meranie, často nejasné). Odobraté pláty slúžia na určenie počtu závrtočných otvorov tie boli zisťované z vonkajšej strany vzorku. Z vnútornej strany sa zisťoval počet druhov lykožrúta : *Ips duplicatus*, *Ips typographus* a *Pytiogenes chalcographus*. U požerkov *Ips duplicatus* a *Ips typographus* boli zaznamenané materské chodbičky ich počet a najpokročilejšie štádium vývoja. Je potrebné spomenúť, že merané a skúmané boli len materské chodby, ktoré boli obsiahnuté vo vzorku celé.

4.6. Postup pri meraní teploty

Meranie teploty prebiehalo pomocou teplomera značky Fluke 572. Ide o bezkontaktný profesionálny diagnostický IR teplomer, ktorý využíva na meranie teploty infračervené žiarenie (IR). Rozsah možnosti merania týmto teplomerom predstavuje -30 až +900 °C. Maximálna možná odchýlka je 0,5 °C. Presnosť merania 0,1 °C.



Obrázok 11.: IR teplomer Fluke 572

Zdroj: < <http://www.ipscustom.com> >

Samotné meranie sa vykonávalo nasledovne. Na vytipovaný bod bolo nutné kolmo zamieriť vo vzdialenosti 50 až 100 cm a následne na pištoľovej rukoväti podržať tlačidlo ktorým sa spustilo meranie. Ukončenie merania signalizovala krátka zvuková signalizácia zhruba po 2-3 sekundách. Zistená teplota sa zobrazila na digitálnom displeji teplomera.

Samotné merania prebiehali v 4 sekciách stromu:

- Prvá sekcia predstavovala miesto v hornej časti koruny. Miesto kde začína juvenilná časť koruny (najvrchnejšia časť celej koruny, posledné 2 až 3 metre koruny). Toto miesto poznáme podľa zmeny uhla nasadenia vetiev, zmeny veľkosti samotných vetiev a taktiež sfarbenie ihlíc juvenilnej časti sa mierne líši od sfarbenia celej koruny.
- Druhá časť sa nachádzala v dolnej časti koruny. Toto miesto bolo nad prvým zeleným praslenom.
- Tretia sekcia bola v polovici kmeňa. Miesto medzi bázou kmeňa a nasadením koruny.
- Štvrtá časť bola meraná v prsnej výške teda 1,3 m.

Na každej z týchto sekcií boli jednotlivo merané tieto časti:

- Oslnená časť kmeňa
- Neoslnená časť kmeňa
- Oslnené asimilačné orgány, ktoré museli byť minimálne dvojročné alebo staršie.
- Neoslnené asimilačné orgány, ktoré museli byť minimálne dvojročné alebo staršie

Na každej z jednotlivých častí bolo vykonaných 5 meraní.

4.7. Ekonomická náročnosť zberu dát v teréne

V tabuľke nižšie môžeme vidieť časovú a taktiež finančnú náročnosť jednotlivých činností, ktoré súviseli so zberom dát pre túto prácu. Jednotlivé činnosti sú zobrazené pre porovnanie jedného pracovníka (stromolezca) s dvomi pracovníkmi.

Tabuľka 5. Ekonomické zhodnotenie zberu dát

1 pracovník		2 pracovníci	
činnosť	jednotky	činnosť	jednotky
kancelárska príprava	10 min.	kancelárska príprava	10 min.
príprava vybavenia	20 min.	príprava vybavenia	20 min.
presun na plochu tam a späť (40 km)	50 min.	presun na plochu tam a späť (40 km)	50 min.
príprava stromu na výstup	20 min.	príprava stromu na výstup	10 min.
výstup do koruny	10 min.	výstup do koruny	5 min.
zber ihlíc	15 min.	zber ihlíc	7,5 min.
zber vzoriek kôry	30 min.	zber vzoriek kôry	15 min.
dokončenie prác	10 min.	dokončenie prác	5 min.
Čas merania - 1 strom	85 min.	Čas merania - 1 strom	42,5 min.
SUMA 6 stromov	510 min	SUMA 6 stromov	255 min.
SUMA 6 stromov	8,50 hod.	SUMA 6 stromov	4,25 hod.
mzda	450kč/hod	mzda	450kč/hod
počet pracovníkov	1	počet pracovníkov	2
celkový čas merania	9,83 hod.	celkový čas merania	5,58 hod.
mzda 1 pracovník	4425 Kč,-	mzda 1 pracovník	2512,5 Kč,-
		mzda 2 pracovníci	5025 Kč,-

Je však nutné spomenúť, že na pracovisku musia vždy pracovať minimálne dvaja stromolezci, ktorí sú schopní v prípade úrazu dostať zraneného zo stromu na zem a poskytnúť prvú pomoc. Z tabuľky tiež vyplýva, že síce mzda na jedného pracovníka vychádza nižšia ako v prípade dvoch stromolezcov, avšak celkový čas zberu dát je takmer dvojnásobný. Je taktiež dôležité spomenúť, že zber dát prebiehal od 11:00 hod do 16:00 hod.. To znamená, že jeden pracovník by nebol schopný zozbierať dáta v jeden pracovný deň.

4.8. Vyhodnocovanie snímok vyhotovených pomocou dronu

Vyhodnocovanie snímok je možné pomocou viacerých programov na to určených, v našom prípade boli snímky vyhodnocované v programe AgisoftPhotoScan.

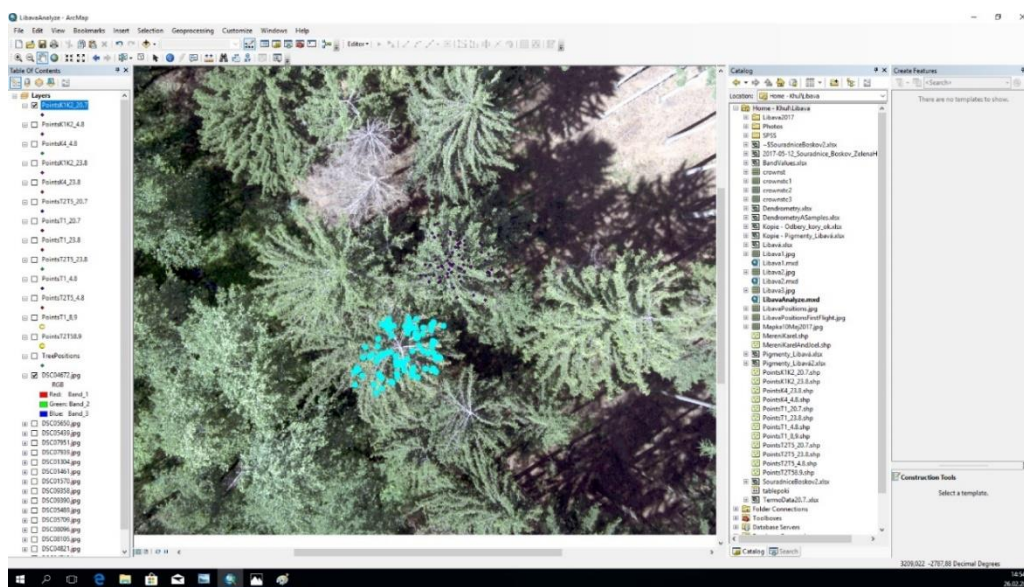
Prvým krokom bola kontrola a selekcia fotografií, ktoré boli nevhodné na ďalšie vyhodnocovanie. Fotografie sa pomocou funkcie Add Photos nahrajú do programu. V tejto fáze prebieha označenie fotografií vhodných na ďalšie spracovanie a odstránenie nevhodných fotografií.

Ako náhle sú vybrané a nahrané vhodné fotografie v programe PhotoScan je nutné tieto fotografie zarovnať. Na zarovnanie slúži funkcia Align photos. Je nutné nastaviť zarovnanie aké práve potrebujeme, to znamená: maximálne a minimálne množstvo vygenerovaných bodov a ich presnosť. Program automaticky vyhľadá pozíciu a orientáciu každej fotografie a vytvorí takzvaný riedky model bodového mračna.

Vďaka programu PhotoScan sme schopní vytvoriť a vizualizovať 3D model hustého bodového mračna. Konkrétne pomocou funkcie Build dense Cloud program vypočíta detailnejšie informácie pre každú jednu pozíciu, ktorá následne bude spojená do hustého bodového mračna. Je možné nastaviť rôzne parametre tejto funkcie. Táto funkcia slúži k rekonštrukcii skúmanej oblasti. Funkciu možno ďalej analyzovať.

Ďalším krokom bolo vytvorenie ortomozaiky, výsledkom ktorej je snímka s vysokým rozlíšením. V podstate ide o vytvorenie ortofotomapy. V našom prípade, keď že sme sa zaujímali o jednotlivé stromy, ortofotomapa, resp. ortomozaika slúžila iba na celkové zhodnotenie skúmanej plochy. Vytvorenie ortomozaiky prebiehalo pomocou príkazu Build Orthomosaic. Bolo nutné nastaviť potrebné parametre ako je súradnicový systém, surface (DEM) a pod..

Nás zaujímali snímky, na ktorých sa nachádzajú jednotlivé skúmané stromy tzv. nadire. To je poloha, na ktorej vznikne fotografia, kedy sa objektív fotoaparátu pripevnený na drone nachádza v predĺženej osi kmeňa stromu, resp. dron sa počas vytvorenia snímky nachádzal priamo nad fotografovaným stromom. Z takýchto fotografií kde sa jednotlivé stromy (T1, T2, T5 a K1, K2 a K4) nachádzajú nadire bolo potrebné pomocou programu ArcGis zistiť spektrálnu odrazivosť asimilačných orgánov.



Obrázok 12: Vyhodnocovanie snímok v programe Arcgis (Matejčíková 2018)

Bola vytvorená nová bodová vrstva, body tejto vrstvy boli manuálne na klikané na zelené časti (ihlice stromov). Body bolo nutné umiestňovať na časti koruny, ktoré neboli v tieni ale neboli ani prepálené. Keď bol vytvorený dostatočný počet bodov, pomocou funkcie Toolbox/Spatial Analyst/Extract Values to points bola vytvorená a umiestnená do argumentov funkcie bodová a rastrová snímka príslušného stromu. V atribútovej tabuľke boli vytvorené stĺpce b1 (červené spektrum R), b2 (zelené spektrum G) a b3 (modré spektrum B). Takto boli spracované všetky snímky, ktoré boli nasnímané na všetkých skúmaných stromoch (T1, T2, T5 a K1, K2 a K4) a všetkých dátumoch zberov.

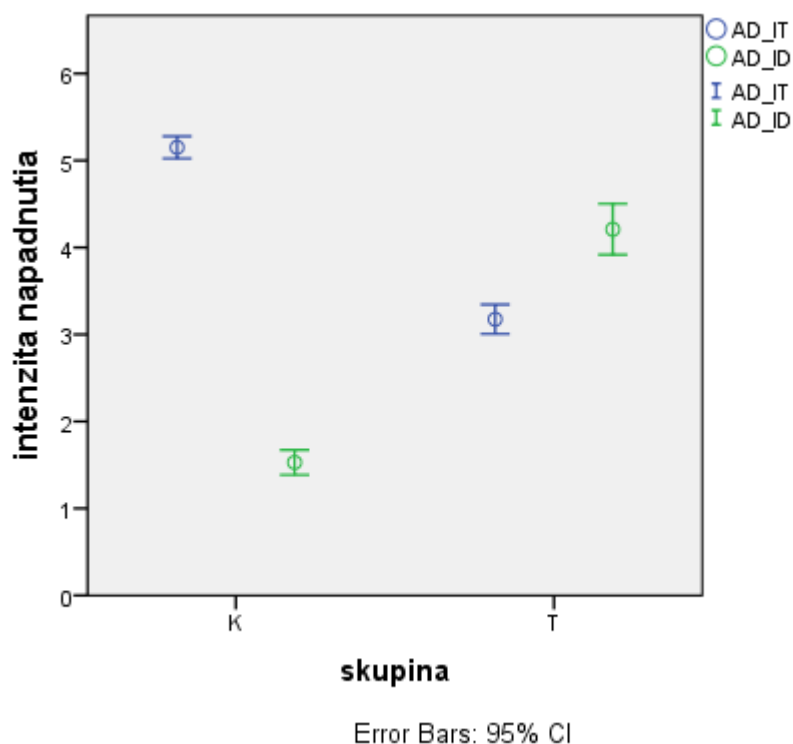
Následne spracovanie dát prebiehalo v štatistickom programe IBM SPSS Statistics 24

5. Výsledky

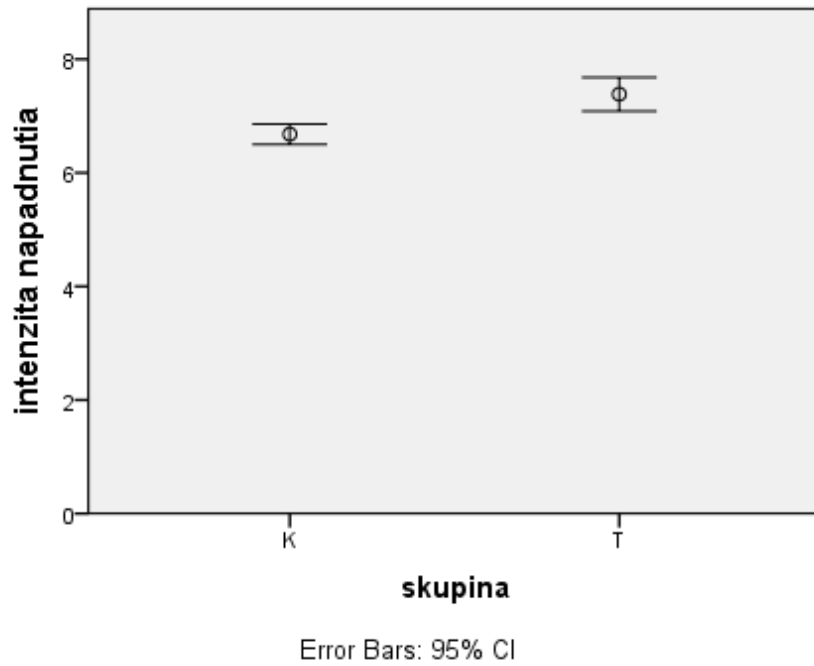
5.1. Výsledky intenzity napadnutia

Pre zhodnotenie napadnutia jednotlivých stromov bola navrhnutá intenzita napadnutia. Intenzita napadnutia predstavuje priemerný počet závrtovej na odobranú vzorku. Rozlišovali sme závrty **AD_IT**, to boli závrty vytvorené *Ips typographus* a závrty vytvorené *Ips duplicatus* boli označené **AD_ID**.

Nasledujúci graf porovnáva intenzitu napadnutia kontrolných stromov a stromov testovaných. Intenzita napadnutia je ešte rozlíšená pre lykožrúta severského a smrekového.

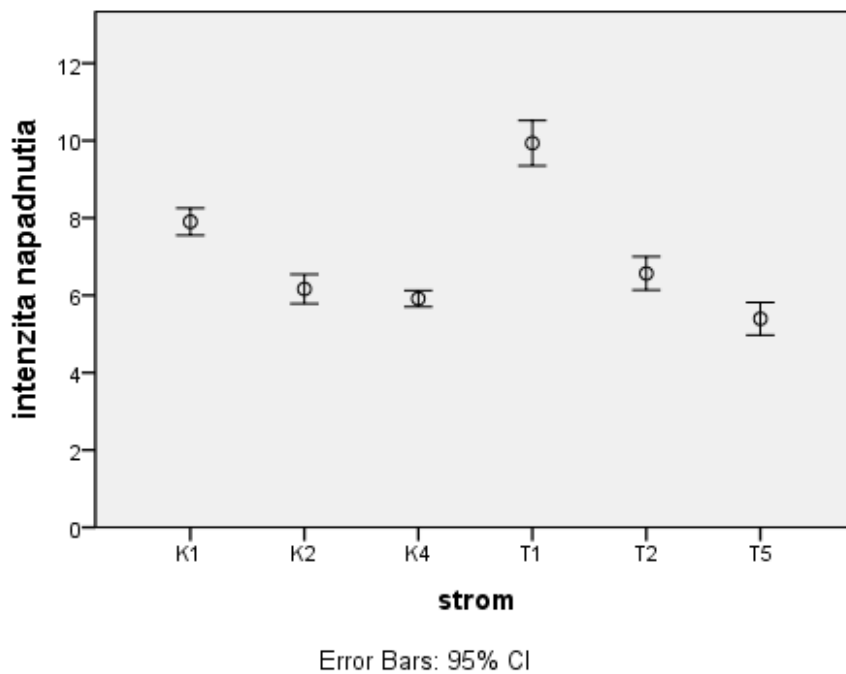


Graf 1: Porovnanie intenzity napadnutia AD_IT a AD_ID so skupinami stromov K a T



Graf 2: Porovnanie celkovej intenzity napadnutia so skupinami stromov K a T

Z grafu 2 je možné vidieť, že intenzita napadnutia je mierne vyššia u stromov testovaných T ako u skupiny stromov kontrolných K.



Graf 3: Intenzita napadnutia u jednotlivých stromov

Graf 3 zobrazuje intenzitu napadnutia u jednotlivých stromov T a K. Z celkového priemeru sa výrazne vymyká strom T1, ktorého hodnota intenzity napadnutia je najvyššia.

5.2. Výsledky tepelných údajov

Na to, aby bolo možné hodnotiť teplotný vplyv napadnutia škodcom bol navrhnutý index tepelného rozdielu, ktorý je založený na relatívnom podiele diferencie osvetlenej a zatienenej časti stromu (kmeňa a vetiev), k časti zatienenej. Účelom tohto tepelného indexu bolo zaznamenať rozdiel medzi osvetlenými (ohrievané) a zatienenými (ochladzované) časťami kmeňa a vetiev. Očakáva sa, že zdravý strom sa vďaka transpiračnému prúdu chladí lepšie ako strom, ktorý je napadnutý lykožrútom. To znamená, že u napadnutých stromov by mal teplotný index naberať vyššie hodnoty ako u zdravých stromov. Index bol navrhnutý nasledovne:

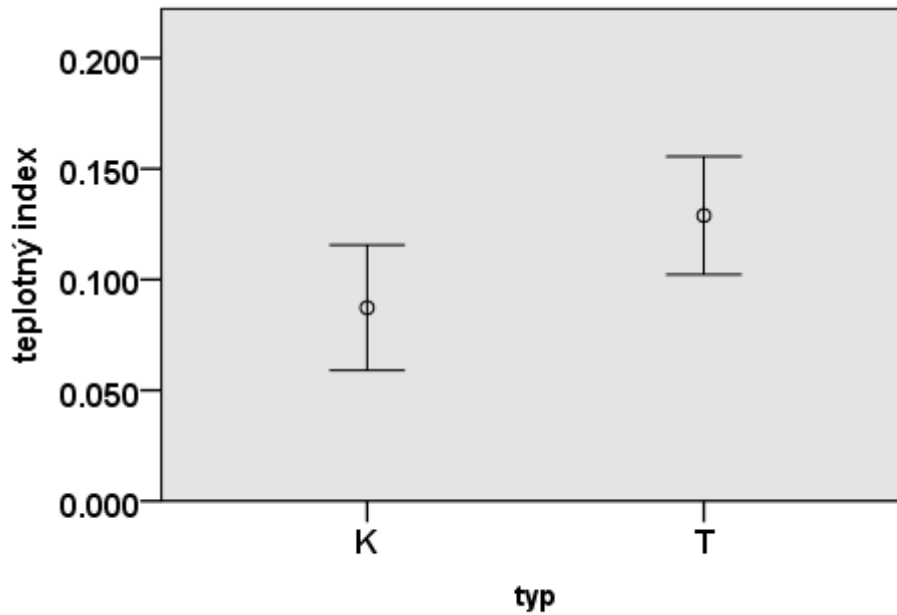
$$Ti = \frac{t_s - t_t}{t_t}$$

Ti ... teplotný index

t_s ... teplota osvetlenej časti stromu

t_t ... teplota zatienenej časti stromu

Z grafu 4 môžeme vidieť priemerné hodnoty teplotného indexu, na základe získaných dát, ktoré boli namerané na testovacích (označené T) a kontrolných stromoch (označené K) za celé obdobie výskumu pre vetvy a kmeňovú časť dohromady.



Error Bars: 95% CI

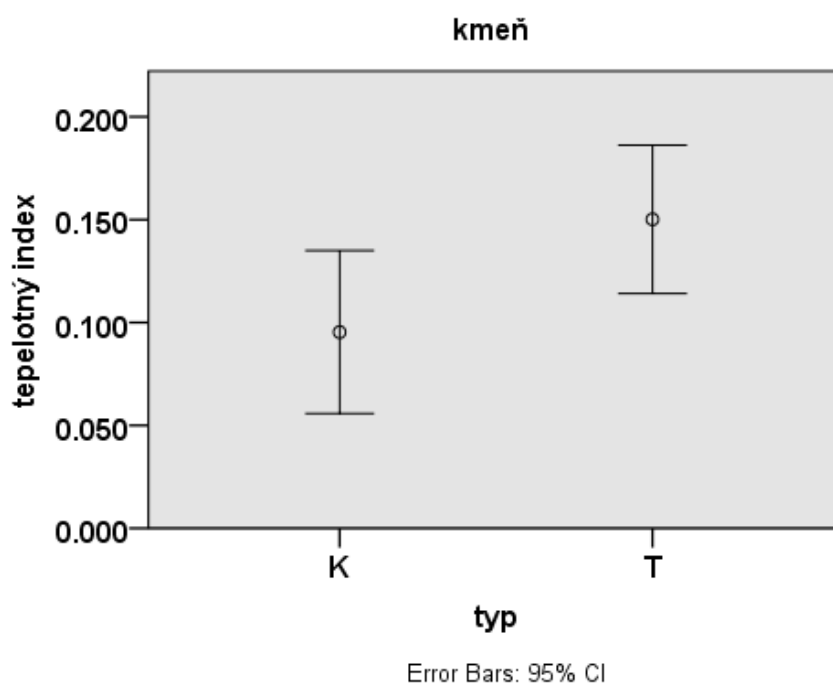
Graf 4: Porovnanie priemerných hodnôt teplotného indexu zmeraného na kmeni a na vetvách na testovaných stromov a kontrolných stromoch

Na prvý pohľad je zrejmé, že u testovacích stromov, ktoré boli viac napadnuté je hodnota tepelného indexu v priemere vyššia ako u stromov kontrolných. Tento rozdiel bolo potrebné otestovať, k tomu bol použitý Studentov T-test pre nezávislé množiny. Výsledky testu sú uvedené v nasledujúcej tabuľke 5.

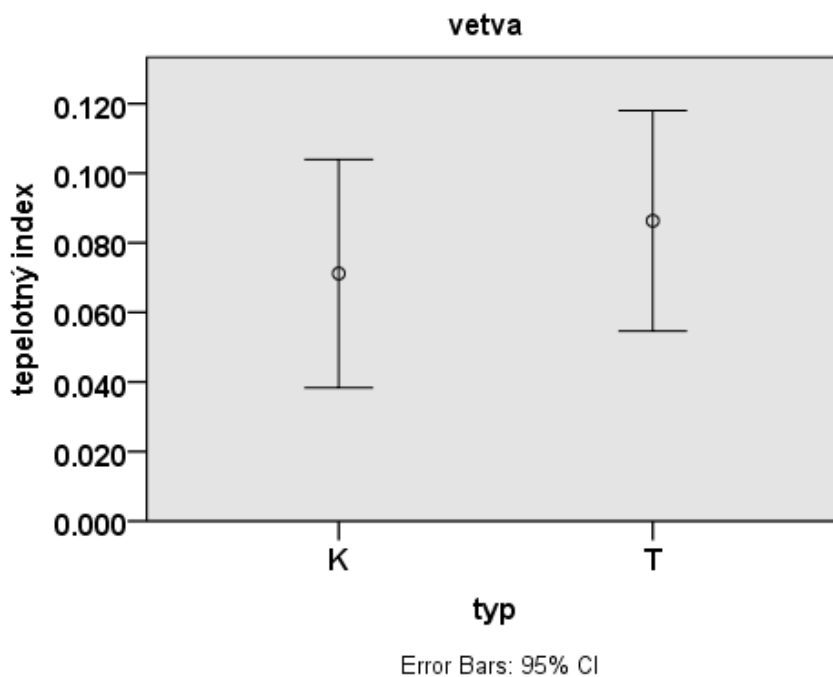
Tabuľka 5: Testovanie rozdielov pomocou Studentového T-testu

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				95% Confidence Interval of the Difference		
rozdiel rel		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
	Equal variances assumed	.476	.491	2.127	178	.035	.04160	.01956	.00301	.08019
	Equal variances not assumed			2.127	177.37	.035	.04160	.01956	.00300	.08019

Z tabuľky 5 môžeme vidieť, že na základe testu zamietame nulovú hypotézu o zhodnosti priemerov, avšak zamietnuť ju môžeme len na hladine alfa 0,05. Je nutné spomenúť, že ak by sme volili hladinu 0,01 vzorky by sme museli považovať za zhodné. V ďalšej časti boli použité dáta rozdelené na časť kmeňovú a korunovú.



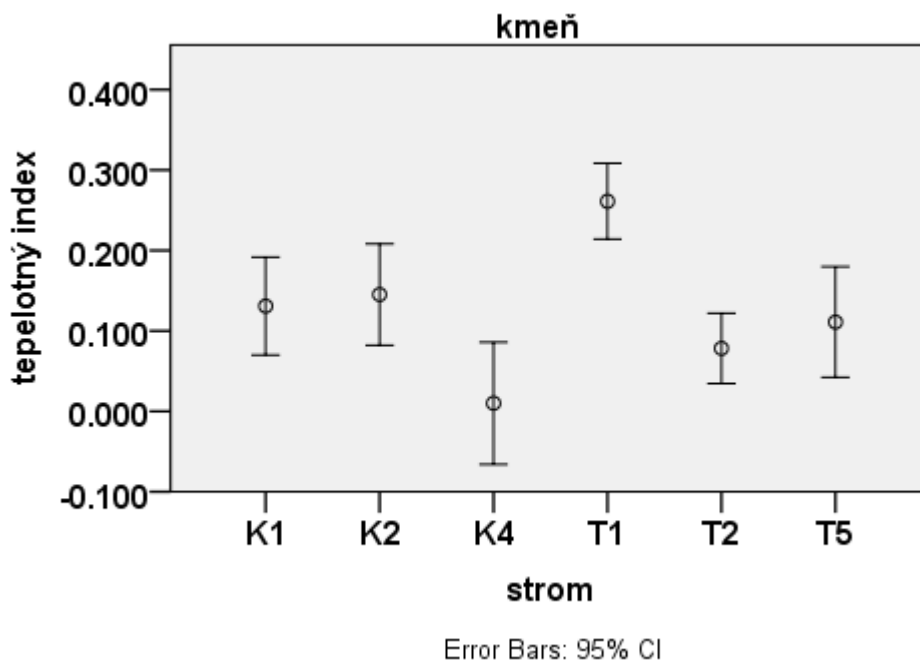
Graf 5: Teplotný index kmeňai porovnávaný so skupinou stromov T a K



Graf 6: Teplotný index vetiev porovnávaný so skupinou stromov K a T

Pri porovnaní grafov 5 a 6 je možné vidieť, že rozdiel v korunovej časti je málo markantný, naproti tomu pre kmeň sú rozdiely väčšie. Kvôli tomuto faktu sa

d'alej v tejto práci používajú hlavne dáta namerané na kmeni testovaných a kontrolných stromov. Na grafe 7 sú zobrazené rozdelenie tepelného indexu namerané na kmeni pre všetky stromy za celé hodnotené obdobie.



Graf 7: Porovnanie priemerných hodnôt teplotného indexu zmeraných na kmeni u všetkých skúmaných stromoch

Z Grafu 4 je evidentné, že priemerné hodnoty teplotných indexov najviac ovplyvňujú stromy T1 a z kontrolnej skupiny stromov K4. Pričom T1 je najviac rozdielny v osvetlenej a zatienenej časti a naopak K4 najmenej. Veľmi dôležitou otázkou, ktorú je nutné si položiť je vývoj teplotného indexu v čase. Preto bol použitý Pearsonov korelačný koeficient, ktorý poslúžil na zhodnotenie vzájomného vzťahu medzi počtom ubehnutých dní napadnutia a hodnotou teplotného indexu T_i . Konkrétny prehľad výsledkov môžeme vidieť v nasledujúcej tabuľke 6.

Tabuľka 6: Prehľad výsledkov Pearsonovho korelačného koeficientu medzi teplotným indexom a počtom dní od počiatku napadnutia stromu lykožrútkami

počet dní	K1	K2	K4	T1	T2	T5
41	0.271	-0.081	-0.134	.450*	-0.414	-0.081
	0.248	0.736	0.574	0.046	0.069	0.734

Z tabuľky vyplýva, že vzťah medzi ubehnutými dňami a teplotným indexom je štatistický významný len na testovanom strome T1. To znamená, že s počtom ubehnutých dní sa tepelný index zvyšoval len u stromu T1, počas sledovaného obdobia.

5.3. Výsledky údajov odrazivosti meranej z UAV vo vzťahu k napadnutiu

Z jednotlivých kanálov R, G a B boli vytvorené indexy pomocou, ktorých boli hodnotené výsledky odrazivosti. Ako najlepší sa nám ukázal index rozdielu odrazivosti červenej časti spektra v porovnaní k zelenému, ktorý bol vyjadrený nasledovne:

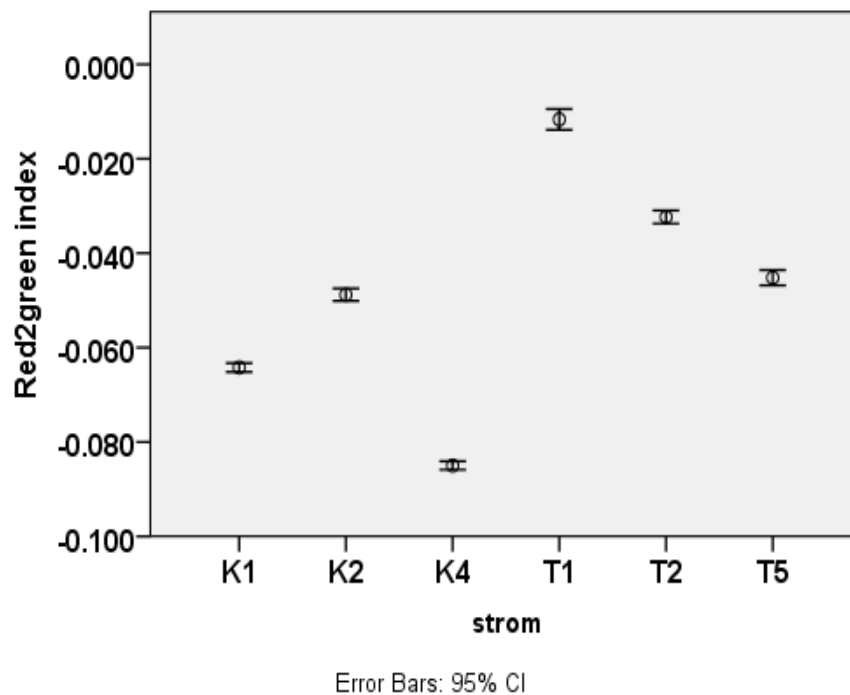
$$Red2green = \frac{(r - g)}{(r + g)}$$

Red2green...index odrazivosti červenej časti spektra vyjadrený rozdielom k zelenému. (čím väčší rozdiel, tým väčšia hodnota indexu)

r...intenzita červenej odrazivosti

g...intenzita zelenej odrazivosti

Nasledovný graf zobrazuje vzťah medzi jednotlivými stromami a odrazivosťou Red2green nameranou pomocou UAV.



Graf 8: Odrazivosť indexu Red2green pre jednotlivé stromy

Z grafu môžeme vidieť odrazivosť indexu Red2green pre jednotlivé stromy. Jeho hodnoty sú evidentne vyššie na stromoch typu T ako hodnoty indexu u stromov typu K. Nasledovná tabuľka zobrazuje korelačnú analýzu pre jednotlivé premenné.

Tabuľka 7: Korelačná analýza pre jednotlivé premenné

		Correlations				
		Red2green	AD_IT	AD_ID	dt	rel. Priemer
Red2green	Pearson Correlation	1	-,071**	,230**	,155**	,506**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000
	N	6299	6299	6299	6299	6299
AD_IT	Pearson Correlation	-,071**	1	-,209**	,499**	-,050**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000
	N	6299	6299	6299	6299	6299
AD_ID	Pearson Correlation	,230**	-,209**	1	,743**	,235**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000
	N	6299	6299	6299	6299	6299
dt	Pearson Correlation	,155**	,499**	,743**	1	,174**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000
	N	6299	6299	6299	6299	6299
rel. Priemer	Pearson Correlation	,506**	-,050**	,235**	,174**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	
	N	6299	6299	6299	6299	6299

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Výsledkom tejto štatistickej analýzy sú nasledovné pozorovania,. Nami sledovaná veličina Red2green je štatisticky významne korelovaná s nasledujúcimi veličinami: **dt** predstavuje sumu napadnutia **AD_IT** (*Ips typographus*) a **AD-ID** (*Ips duplicatus*). Táto korelácia ma pozitívnu hodnotu, čo znamená, že s narastajúcim počtom závrto v sa znižuje rozdiel medzi odrazivosťou R a G. Podobné výsledky je možné pozorovať aj pre teplotný index, kde je opäť pozorovaný nárast indexu Red2green so zvyšujúcou sa hodnotou teplotného indexu, ktorý sa zvyšuje s intenzitou napadnutia.

Tabuľka 8: Zovšeobecnený lineárny model odrazivosti Red2green pre všetky stromy

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Red2green

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	3,395 ^a	7	,485	1151	,000	,562
Intercept	3,126	1	3,126	7420	,000	,541
dt	,025	1	,025	59,027	,000	,009
rel.Priemer	,046	1	,046	109,4	,000	,017
strom	1,821	5	,364	864,5	,000	,407
Error	2,650	6291	,000			
Total	26,208	6299				
Corrected Total	6,045	6298				

a. R Squared = ,562 (Adjusted R Squared = ,561)

Zovšeobecnený lineárny model pre predikciu odrazivosti Red2green na základe premenných: **dt** predstavuje intenzitu napadnutia, **rel. Priemer** je priemerný tepelný index všetkých stromov, **strom** reprezentuje všetky stromy ako skupinu T tak skupinu K. Hodnota Sig je menšia ako 0,01 to znamená že všetky premenné sú štatisticky významné.

Tabuľka 9: Zovšeobecnený lineárny model odrazivosti Red2green pre jednotlivé stromy

Parameter Estimates

Dependent Variable: Red2green

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval		Partial Eta Squared
					Lower Bound	Upper Bound	
Intercept	-,053	,001	-49,80	,000	-,055	-,051	,283
dt	,000	,000	7,683	,000	,000	,000	,009
rel.Priemer	,043	,004	10,459	,000	,035	,051	,017
[strom=K1]	-,020	,001	-19,27	,000	-,022	-,018	,056
[strom=K2]	-,003	,001	-3,194	,001	-,005	-,001	,002
[strom=K4]	-,034	,001	-30,28	,000	-,037	-,032	,127
[strom=T1]	,028	,001	22,168	,000	,025	,030	,072
[strom=T2]	,015	,001	12,618	,000	,013	,018	,025
[strom=T5]	0 ^a

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Tabuľka 9 nám ukazuje, že všetky stromy dosahujú koeficient sig nižší ako 0,01 to znamená, že všetky premenné sú významne zo štatistického hľadiska.

6. Diskusia

6.1. Intenzita napadnutia

Pri skúmaní, ktorý zo stromov je napadnutý viac resp. menej, bolo nutné vymyslieť konkrétne hodnotenie intenzity napadnutia. V tejto práci sa hodnotila intenzita napadnutia podľa počtu závrtovej na jednotlivých odobraných vzorkách kôry. Jeden závrť mal hodnotu 1. Rovnako závrty *Ips typographus* a tak isto aj *Ips duplicatus*. Dalo by sa namietat', že požerok lykožrúta smrekového je dva krát väčší ako požerok lykožrúta severského. To je síce pravda, avšak lykožrút severský operuje v tenších častiach kmeňa, čo znamená že jeho poškodenie sme označili za rovnako významné ako poškodenie lykožrúta smrekového, ktorého požerok je ďaleko väčší, avšak sa nachádza na priemere kmeňa širších dimenzií.

Z celkového hodnotenia vidíme, že skupina testovaných stromov **T** bola v priemere napadnutá viac ako skupina stromov **K**. Kontrolné stromy **K** boli takmer rovnako napadnuté lykožrútom smrekovým ako aj severským. Zaujímavosťou je, že strom **T1** bol napadnutý výrazne viac ako všetky ostatné stromy.

6.2. Porovnanie vypočítaných teplotných indexov s intenzitou napadnutia

Teplotný index vytvorený pre kmeň, rovnako tak tepelný index pre vetvy boli navzájom porovnávané medzi kontrolnými stromami **K** a testovanými jedincami **T**. Ukázalo sa, že tepelný index, ktorý bol získaný z teplôt nameraných na ihliciach nie je medzi hodnotenými stromami rozdielny a tým pádom nebol v ďalšom porovnávaní využitý.

Pri porovnávaní a skúmaní tepelných indexov získaných z meraní na kmeni nás zaujímajú najviac stromy **K4** a naproti tomu **T1**. U týchto dvoch jedincov bol

zistený najväčší rozdiel v teplotnom indexe. **T1** dosahoval najvyššie hodnoty a naopak **K4** hodnoty najnižšie.

Podľa Smigaj et al. (2017) ihličnaté dreviny pri vyššom stupni stresu, spôsobenom suchom vyžarujú vo vrcholovej časti priemerne vyššiu teplotu ako stromy, ktoré takému stresu vystavené nie sú.

S určitosťou nevieme povedať, čo je presnou príčinou, že priemerný tepelný index nameraný na kmeni je u testovacích stromov **T** vyšší ako na stromoch kontrolných **K**. Taktiež nevieme prečo sa z týchto dvoch skupín výrazne odkláňajú jedince **K4** a **T1** od priemerných hodnôt. Vzniká otázka. Je tepelný index u **T1** vyšší ako u **K1** kvôli výrazne vyššej intenzite napadnutia, horších stanovištných podmienok? Alebo **K1** sa v dôsledku lepších podmienok (viac vlhky), lepšej vitality dokáže lepšie ochladzovať? Odpovede na tieto otázky je možné získať len ďalšími pokusmi a meraniami, do ktorých je nutné zapojiť diametrálne viac testovaných a kontrolných jedincov. S určitosťou však môžeme tvrdiť, že zhoršujúce sa fyziologické zmeny, najmä intenzita napadnutia stromov majú priamu súvislosť so zmenami tepelného indexu. Čím trvá stres dlhšie, tepelný index časom v priemere dosahuje vyššie hodnoty. Čo však je presnou príčinou zatiaľ povedať nevieme.

6.3. Odrazivosť nameraná pomocou UAV vo vzťahu k intenzite napadnutia

Na porovnanie odrazivosti s napadnutím bol vytvorený Red2green index. Tento index je vyjadrený rozdielom odrazivosti červenej a zelenej časti spektra. Môžeme povedať, že index Red2green popisuje zdravotný stav stromov. Čím je hodnota zápornejšia, tým je jedinec v lepšom zdravotnom stave. Naopak keď sa hodnota indexu blíži k nule resp. je kladná zdravotný stav stromu je horší.

Pri porovnaní skupín stromov **K** a **T** opäť vidíme, že stromy, ktoré sú viac napadnuté, teda skupina jedincov **T**, dosahuje tento index vyšší ako skupina **K**. Rovnako ako v predchádzajúcom porovnaní napadnutia s teplotným indexom nám aj v tomto prípade porovnania Red2green indexu vychádza, že najviac napadnutý strom je opäť jedinec označený **T1**.

Na základe všetkých jednotlivých premenných bol vytvorený zovšeobecnený lineárny model, ktorého podobu pre jednotlivé stromy môžeme vidieť v tabuľke 9.

7. Záver

Cieľom tejto práce bolo overiť správnosť a presnosť dát získaných pomocou UAV, porovnať a analyzovať s dátami získanými pomocou stromolezeckej techniky zo stojacích stromov. Na toto porovnanie boli založené dve skupiny stromov. Prvá skupina stromov bola testovacia, tie boli označené **T**, druhá skupina stromov bola kontrolná s označením **K**. Hodnotila sa spektrálna odozva smreka na základe odvodeného **Red2green** indexu k intenzite napadnutia lykožrútkami rodu *Ips*. Taktiež zmena teplotného profilu kmeňa, ktorá bola vyjadrená teplotným indexom **Ti** vzťahnutá opäť k intenzite napadnutia. Pomocou štatistických analýz boli jednotlivé dáta vyhodnotené.

Na základe výsledkov vieme povedať, že fyziologické zmeny stromov, ktoré vznikajú na základe stresujúcich podmienok. (napadnutie hmyzom, zhoršené stanovištné podmienky) je možné úspešne zachytiť pomocou snímok vytvorených UAV. Je však nutné podotknúť fakt, že na uvedenie tejto metódy detekcie napadnutých stromov do praxe je nutné vykonať podobných pokusov viac a s viacerými skúmanými jedincami. Aj preto bola vypracovaná podrobná metodika vďaka, ktorej je možné podobný pokus zopakovať.

8. Zoznam literatúry a použitých zdrojov

ABDULLAH, H., DARVISHZADEH, R., SKIDMORE, A. K., GROEN, T. A., & HEURICH, M. (2018). *European spruce bark beetle (Ips typographus, L.) green attack affects foliar reflectance and biochemical properties*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 64(October 2017), 199–209.

A. LUCIEER, S. ROBINSON, D. TURNER, S. HARWIN, J. KELCEY *Using a micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observation of antarctic moss beds* ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci., XXXIX-B1 (2012), pp. 429–433

BENEDOVÁ, Andrea. *Návrh nové metody měření parametrů pro inventarizaci lesa, založené na využití pozemních a leteckých lidarových dat*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Přírodovědecká fakulta. bakalářská práce (Bc.). 2012. Dostupné z:

<http://theses.cz/id/8fim0k/Bc_Benedova_tisk.pdf>

BĚLKA, Luboš. *Popis ortofotomap*. Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. 518 16 Dobruška, Česká republika. 11s.

BÖHM, Jozef. *Fotogrammetrie učebné texty*. Vysoká škola banská technická univerzita Ostrava Hornicko - geologická fakulta Institut geodézie a dulního měřictví. Ostrava, 2002 16 s.

CAPANDA Radek. *Lezecké techniky v systému péče o stromy*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. Lesnická a dřevařská fakulta. Bakalářská práce. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloš Peichal, CSc. Lednice na Moravě. 2007. 79 s.

ČSN EN 31 0001. *Letectví a kosmonautika - Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 2005

CHUDÝ, Josef. *Využití dronů pro získávání dat o zmlazení z území ovlivněných disturbancemi*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a

dřevařská. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce Ing. Peter Surový Phd.. 2017. 62 s..

DOBROVOLNÝ, Petr. *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova Univerzita. 1998. 208 s.

DOLANSKÝ, Tomáš. *Lidari a letecké laserové skenování*. Acta Universitatis Purkynianae 99, Studia geoinformatica, Ústí nad Labem 2004. ISBN 80-7044-575-0

EVERAERTS, Jurgen, a další. *The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping*. Belgie: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008, 37: 1187-1192

FEKETOVÁ, Zuzana (2011). *Lykožrút smrekový (Ips typographus) a jeho úloha vo forézii uropodných roztočov. (ACARI : U ROPODINA)*, Prirodovedecká fakulta univerzity Komenského, Entomofauna carpathica, 23(1), 23–30.

GETZIN, Stephan, Robert S. NUSKE a Kerstin WIEGAND. *Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests. Remote Sensing*. 2014. DOI: 10.3390/rs6086988

GRODZKI W (2012) *Two types of Norway spruce Picea abies (L.) H. Karst. infestation by the double spined bark beetle Ips duplicatus C.R. Sahlb. (Coleoptera: Scolytinae) in southern and north-eastern Poland*, Folia Forestalia Polonica, series A, 2012, Vol. 54 (3), 169–174

HAJKOVSKÝ, R., PUSTKOVÁ, R., KUTÁLEK, F. *Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2002. 189 s. ISBN 978-80-248-2596-0

HYPPÄ, Juha; a další. *State of the art in laser scanning*. In Fritsch, D. (Ed.). Photogrammetric week ' 11. Stuttgart: Institut für Photogrammetrie. 2011. 203–216 s

IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0.
Armonk, NY: IBM Corp.

ICAO. *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Montréal: ICAO Cir 328. [online].
2011.[cit. 2016-15-11]. ISBN 978-92-9231-751-5. Dostupné z:
<https://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf >

Jak se budou vyvíjet ceny dříví. Lesnícka práce č.03/03. [online] [2003] [cit.
2018-02-06]. Dostupné z WWW: < <http://www.lesprace.cz/> >

JANOUSĚK, Filip. *Využití bezpilotních prostředků v hospodářské úpravě lesů
České republiky*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická
a dřevařská. Bakalářská práce. Vedoucí bakalářské práce Ing. Peter Surový Phd..
2016. 56 s.

JENIŠ, J. *Chřadnutí smrkových porostů ve správě VLS ČR s. p., divize Lipník nad
Bečvou*. Ln: Knížek M. (ed.): Škodliví činitelé v lesích Česka 2016/2017 –
Praktická ochrana lesa v současných podmínkách. Sborník. Průhonice, 19. 4.
2017. Zpravodaj ochrany lesa. s. 44-48. ISBN 978-80-7417-136-9

KARAS, Jakub; TICHÝ, Tomáš. *Drony*. Brno: Computer press, Albatros Media
a. s., 2016. 264 s. ISBN 978-80-251-4680-4.

KARDOŠ, M., MEDVEĎOVÁ, A., SUPEK, ŠIMON. *Objektovo orientovaná
klasifikácia drevinového zloženia na digitálnych leteckých snímkach zosuvného
územia*. Zprávy lesnického výzkumu, 58, 2013(3):195-205

KAŠAK, J., & FOIT, J. (2015). *Double-spined bark beetle (Ips duplicatus)
(Coleoptera: Curculionidae): A new host - Douglas fir (Pseudotsuga menziesii) -
Short communication. Journal of Forest Science, 61(6), 274–276.*
<<http://doi.org/10.17221/28/2015-JFS>>

KOREŇ, M., TUČEK, J., ČERMAN, P.: *Hyperspectral aerial photos and their
utilization in forestry*. Lesn. Čas. – Forestry Journal, 53(3): 251 – 262, 2007, ref.
23. Discussion paper. ISSN 0323–104623 ref.

KOLARŽÍK, Jaroslav; et al.. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les*, I. díl. 2.vydání. Vlašim: Metodika Českého svazu ochránců přírody; č. 5, 2003. 334 s. ISBN 80 – 86327 – 36 – 1

KUŽELKA, Karel; SUROVÝ, Peter. *Systém operativního leteckého snímkování pro doplňování ortofotografií po hospodářských zásazích nebo po kalamitách*. Metodika. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017. 53 s. ISBN 978-80-213-2811-3

MINAŘIK, R., & LANGHAMMER J. (2016). *Use of a multispectral UAV photogrammetry for detection and tracking of forest disturbance dynamics*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, 41(July), 711–718.
<<http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-711-2016>>

MÍŘIJOVSKÝ, Jakub. *Fotogrammetrický přístup při sběru geodat pomocí bezpilotních leteckých zařízení*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Přírodovědecká fakulta. Disertační práce (Ph.D.). Vedoucí disertační práce Prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc. 2013. Dostupné z: <<https://theses.cz/id/xnw5oj>>

MUSIL, I. *Lesnická dendrologie 1. Jehličnaté dřeviny*. 3. vydanie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2003. 177 s.

MULTICOPTER. *TheUAVGuide*. [Online] 2014. [cit: 2016-14-12]. Dostupné z: <<http://wiki.theuavguide.com/wiki/Multicopter>>

NÄSI, R., HONKAVAARA, E., LYYTIKÄINEN-SAARENMAA, P., BLOMQUIST, M., LITKEY, P., HAKALA, T., ... HOLOPAINEN, M. (2015). *Using UAV-based photogrammetry and hyperspectral imaging for mapping bark beetle damage at tree-level*. Remote Sensing, 7(11), 15467–15493.
<<https://doi.org/10.3390/rs71115467>>

PAGAN, J. *Lesnícka dendrológia*. 2. vydanie. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1999. 378 s. ISBN 80-228-0821-0

PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 10*. Praha: České vysoké učení technické v Praze – fakulta stavební. 2003. 194 s.

PREUSS, R., DYGASZEWICZ, J. *Ortofotomapa w sieci – Projekt Geoportal*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Zarząd Główny Stowarzyszenia Geodetów Polskich, 2006 (495-504)

PRŮŠA, Eduard. *Pěstování lesů na typologických základech*. 1. vydání. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. 2001. 594 s. ISBN 80-86386-10-4.

PULITI, Stefano, Hans OLERKA, Terje GOBAKKEN a Erik NÆSSET. *Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System*. Remote Sensing [online]. 2015, 7(8), 9632-9654 [cit. 2017-02-01]. DOI: 10.3390/rs70809632. ISSN 20724292.

ROSENBLUM, Naomi. *A world history of photography*. Bibliographie d'Histoire de l'Art. 1997, ISBN 0789200287

SLAVÍK, Martin. *Využití dronů pro získání doplňujících inventarizačních dat na úrovni porostů*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce Ing. Peter Surový Phd.. 2017. 83 s.

SVATOŇOVÁ, Hana; LAUERMAN, Lubomír. *Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací*. Brno: Masarykova univerzita. 2010. ISBN 978-80-210-5162-1

SVATOŇOVÁ, Hana; LAUERMAN, Lubomír. *Dálkový průzkum Země z družice*. Brno: Masarykova univerzita, 2006. [online]. [cit. 2018-22-01]. Dostupné z: < <https://educoland.muni.cz/down-174/>>

ŠIMÍČEK, Martin. *Implementace metody Structure from Motion do UAV fotogrammetrie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Přírodovědecká fakulta. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce RNDr. Jakub Mířijovský, PhD. 2014. Dostupné z: < http://theses.cz/id/xve1ij/Simicek_DP_2014.pdu>

WALLACE, Luke; a další. *Assessment of Forest Structure Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structure from Motion (SfM) Point Clouds*. Forests. 2016, 7.3: 62. 2D A 3D

ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Doplnující informace ÚCL k návrhu Doplnku X leteckého předpisu L2. In: Caa. [online]. 2008. [cit. 2018-30-01]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/file/2250_1_1/>

Ústav geoinformačních technologií. *Dálkový průzkum Země*. Lesnická a dřevařská fakulta MENDELU. [online]. [cit 2018-02-20] Dostupné z WWW: <http://uhulag.mendelu.cz/>

Veda na dosah. *Kvantifikácia nadzemnej biomasy lesných porastov s pomocou vstupných veličín zisťovaných bezpilotnými lietadlami* [online]. [cit 2018-02-20]. Dostupné z WWW: <<http://vedanadosah.cvtisr.sk/>>

ZÁHRADNÍK, P., HOLUŠA, J.,: *Lykožrout severský Ips duplicatus (Sahlberg)*, Lesnická práce 4/2007. druhé, doplnené vydanie. VÚLHM, v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště

ZÁHRADNÍK, P., KNÍŽEK, M.,: *Lykožrout smrkový Ips typographus (L.)*, Lesnická práce 4/2007. druhé, doplnené vydanie. VÚLHM, v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště

9. Zoznam príloh

Príloha 1: Poster z výskumu str. č. 1 (Modlinger, 2017)	63
Príloha 2: Poster z výskumu str. č. 2 (Modlinger, 2017)	64

10. Prílohy

Outbreak of bark beetles in Oderské Mountains (Central Europe): Influence of changing climate?

Roman Modlinger^{1*}, Rastislav Jakuš^{1,2}, Adam Chudíak¹, David Tomašák¹, Anna Jirošová¹, Peter Surový¹

¹ Faculty of Forestry and Wood Science, Czech University of Life Sciences, Prague, Czech Republic, *modlinger@fd.czu.cz, surovyp@fd.czu.cz
² Institute of Forest Ecology, Slovak Academy of Sciences, Zvolen, Slovakia, rasti.jakus@gmail.com

Causes of bark beetle outbreak

Spruce forest in the Oderské Mountains (Fig. 1) is experiencing the worst crisis in health status since 2003, which resulted in the mass breakup of spruce stands in this area.

Northern Moravia and Silesia belong to areas with the most changed forest species composition in Europe. The unfavorable development in this area started with windbreak in 2002 (see Graph 1) followed by first drought period. The two windbreaks in 2007 and 2008 and the second drought period started in 2010 made the conditions for the future bark beetles outbreak. Consequently, the population density of *Ips typographus*, the main pest species, and *Ips duplicatus* started to gradually rise. Sequentially, the hot summer in 2015 with high number of tropical days had fatal influence to health status and defense ability of the trees that led the standing trees more attractive to beetles. These trees worked as trap trees, and the population of *I. typographus* and *I. duplicatus* became very high and caused outbreak. This rising trend continued to present days, when the harvested tree volume overstepped the prescribed cut four times.



Fig 1. Map indicating the site of the military forest area Libavá



Fig 2. High density of *Ips typographus* maternal galleries

Current observation

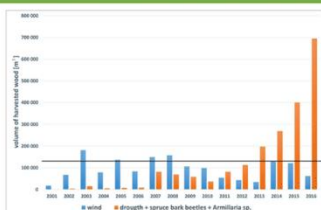
In the spring 2017, we observed number of anomalous phenomena – adults of *I. typographus* attacking standing trees only for maturation feeding, the strong sister brood generation of *I. typographus* females. Enormous observed density of maternal galleries lowered the reproduction success (Fig.2). This situation in the region also complicates by almost ubiquitous presence of fungi, *Armillaria* sp.

Problems with management

Management of affected stands is very complicated due to limited efficacy of the classical forest protecting methods (because of great attraction of *I. typographus* towards standing trees and co-presence of *I. duplicatus*). The majority of forest is localized in military area of the Czech Army, Libava, and due to military training in the area did not allow in time harvesting operations to cut the attacked trees.

Main aims of research

Early detection method to recognize the bark beetle attack using drone technology and the measurement of thermal properties of standing trees.



Graph 1. Overview of the spruce wood harvested from 2001-2016 in the military area of Libavá, Czech Republic. Blue bars indicate the wood volume harvested from wind fallen trees and orange bars represent the wood volume harvested from drought + spruce bark beetles + *Armillaria* sp. affected spruce trees. Horizontal line placed on the bars represent the annual average prescribed harvested wood volume.

Outbreak of bark beetles in Oderské Mountains (Central Europe): Influence of changing climate?

Roman Modlinger^{1*}, Rastislav Jakuš^{1,2}, Adam Chudiak¹, David Tomašák¹, Anna Jirošová¹, Peter Surový²

¹ Faculty of Forestry and Wood Science, Czech University of Life Sciences, Prague, Czech Republic, *modlinger@fd.czu.cz, surovy@fd.czu.cz
² Institute of Forest Ecology, Slovak Academy of Sciences, Zvolen, Slovakia, rast.jakus@gmail.com

Method development for early detection of attacked trees

UAV (drones)

In this stage, we evaluate the spectral profile of the trees by scanning of affected area by drone with mounted RGB sensor. The main advantage of this method is the possibility to scan the spectral features frequently during the season of interest as demonstrated at Figs. 3-4. The part of classic imagery UAV provides 3D point cloud for morphological analysis of individual crowns (Fig. 5). Later, thermal, infrared and hyperspectral sensors will be used.

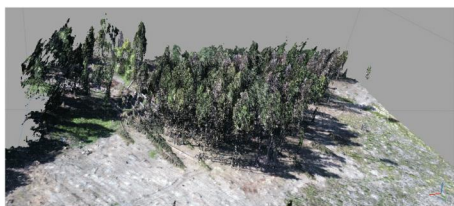


Fig. 5. 3-D point cloud of trees in the research plot on 30.8.2017. The cloud shows the fallen as well as standing trees. The dry trees can be identified by grey colour points.

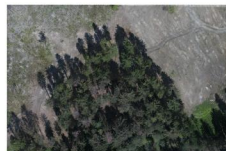


Fig. 3. An orthophoto map of the research plot recorded on 30.7.2017. Left bottom part indicates the trees started decaying due to bark beetle attack.



Fig. 4. The orthophoto map taken on 30.8.2017. The trees observed previously are clearly dry, the bottom area indicate trees damaged by wind, and several trees from edge of the plot were uprooted.

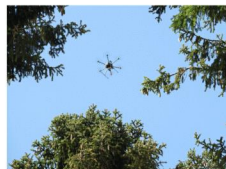


Fig. 6. A drone flying over the plot.



Fig. 7. Landing of the drone in open area after flight.

Study of thermal properties, in relation to bark beetle attack, of individual trees and tree stands

We have studied the thermal properties of tree stem and crown with the use of hand held distance thermometers Fluke 572 (Fig. 10-11) and thermal camera Flir T650sc (Fig. 9). sults are in the stage of evaluation.



Fig. 8. A tree climber inspecting bark beetle development under the tree bark.



Fig. 9. A thermal camera showing temperature measurement from the newly created forest edge.

The temperature profiles of healthy trees and trees in different stages of attack are also studied.



Fig. 10. A tree climber measuring tree stem temperature by using infra-red thermometer.



Fig. 11. A tree climber measuring temperature from the crown of bark beetle attached tree by using infra-red thermometer.

Acknowledgement

This research was supported by the EU project „EXTEMIT - K“, No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/15_003/0000433 financed by OP RDE.

We thanks to Katerina Dekojová for her support with graphical design and to Muhammad Binyameen for editing.

Czech University of Life Sciences Prague
Faculty of Forestry
and Wood Sciences

EXTEMIT-K