

STUDIE PROVEDITELNOSTI MONITORAČNÍHO SYSTÉMU PRO OPERATIVNÍ LESNICKÉ PLÁNOVÁNÍ ZALOŽENÉHO NA DPZ POMOCÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ

Peter Surový, Karel Kuželka, Přemysl Janata, Tomáš Mikita

Realizováno v rámci projektu EHP-CZ02-OV-1-019-2014

FRAMEADAPT Rámce a možnosti lesnických adaptačních opatření a strategií souvisejících se změnami klimatu

Výstup aktivity 5: Návrh operativních metod dálkového průzkumu země (DPZ) pro podporu adaptačního managementu

Název programu:

CZ02 – Biodiverzita a ekosystémové služby / Monitorování a integrované plánování a kontrola v životním prostředí / Adaptace na změnu klimatu

Programová oblast:

PA 7 – Adaptace na změnu klimatu

Zprostředkovatel programu: Ministerstvo financí České republiky

Partner programu: Ministerstvo životního prostředí



Podpořeno grantem z Islandu, Lichtenštejska a Norska.

Supported by grant from Iceland, Liechtenstein and Norway

ABSTRAKT

Využití bezpilotních prostředků (UAV, dronů) je v současnosti ve středu zájmu jak výzkumných organizací, tak široké veřejnosti. Už dlouho se jako mimořádně vhodné prostředí pro využití dronů jeví právě lesnická praxe, kde se v současnosti využívá klasické letecké snímkování pro doplnění dat pro účely tvorby lesních hospodářských plánů. Snímkování pomocí pilotovaného letadla je ale finančně náročné a není možné je vykonávat často a operativně podle aktuální potřeby. Kromě toho, území s dynamickými změnami (těžby, kalamity), které je třeba podchytit monitoringem, je typicky tak malého rozsahu, že snímkování pomocí klasických pilotovaných letadel by bylo značně neefektivní z časového i finančního hlediska. Praktickou a levnou alternativu slibuje využití UAV.

Cílem projektu bylo prozkoumat a zhodnotit možnosti využití bezpilotních prostředků ve třech oblastech, a to:

- podpůrného snímkování při inventarizaci lesa,
- snímkování v kalamitních oblastech a
- snímkování poškozených porostů.

KONCEPT

Projekt řeší ověření možností využití UAV ve zmíněných oblastech praktického lesnictví včetně zhodnocení praktičnosti a efektivnosti využití této technologie. Jedná se o novou technologii, která prochází v současné době stadiem překotného vývoje, a možnosti jejího využití jsou mapovány v mnoha odvětvích lidské činnosti. V praktickém lesnictví je možnost využití UAV atraktivní zejména díky možnosti levného a operativního mapování stavu porostů, možnosti získat snímky ultravysokého rozlišení díky možnosti pohybu přímo nad korunami zájmových porostů a zejména možnosti rychlého zhodnocení stavu porostu, které by v případě pozemního šetření bylo nepoměrně časově náročnější. Pro zhodnocení efektivnosti je samozřejmě nutné uvažovat i negativa, která jsou v současné době nedílnou součástí této nové technologie. Jedná se především o krátkou dobu letu UAV způsobenou vysokou energetickou náročností bezpilotních prostředků a současnými limity v oblasti uchování energie v bateriích. Dalším limitem může být i legislativní omezení civilního letectví, které aktuálně umožňuje provoz UAV pouze při vizuálním kontaktu pilota s prostředkem, případně malý operační radius bezpilotního prostředku důsledkem obou zmíněných omezení. Dosud neověřená je také přesnost dat získaných pomocí UAV a zejména přesnost odvozených údajů. Díky tomuto lze těžko odhadnout ekonomickou efektivnost využití UAV pro různé aplikace.

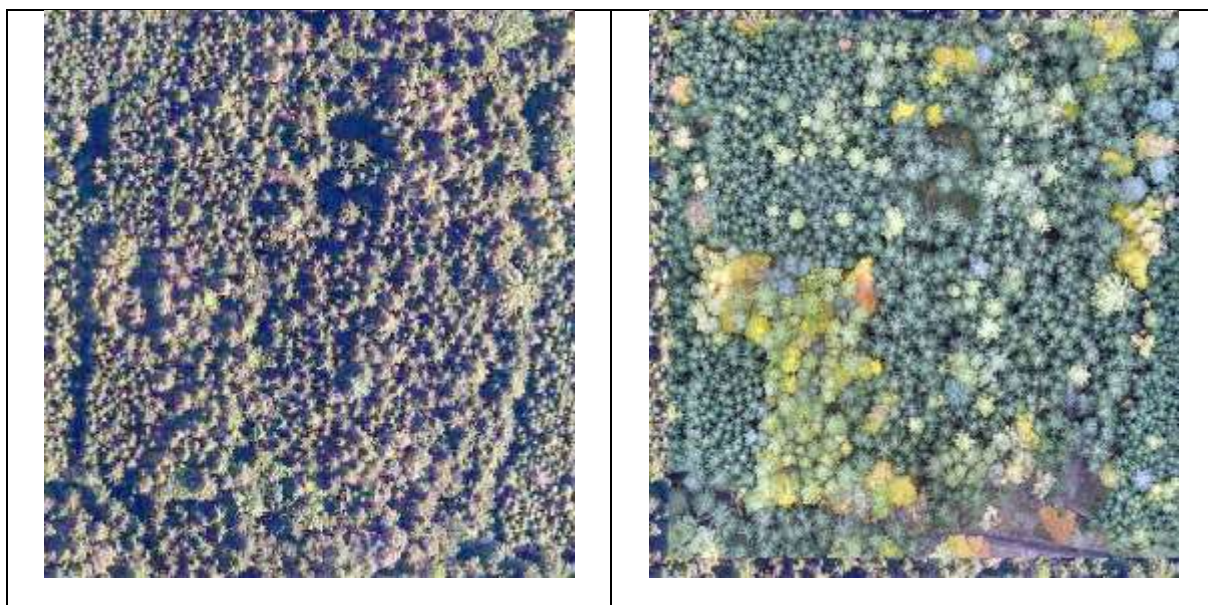
Pro průzkum možností využití UAV v jednotlivých oblastech řešených v projektu byly vybrány vhodné výzkumné plochy odpovídající modelovým situacím. Na zkusných plochách bylo prováděno pokusné získávání dat pomocí UAV. Získaná data byla poté zpracovávána tak, aby výsledky byly relevantní pro každou z řešených oblastí.

Zároveň byly operativně řešeny další aspekty snímkování pomocí UAV, které se s postupem prací ukázaly jako nutné pro možnost dalšího pokračování v řešení projektu. Zejména se jednalo o řešení technických problémů souvisejících s provozem UAV, snímkováním a optimalizací letových a snímacích parametrů.

VÝSLEDKY

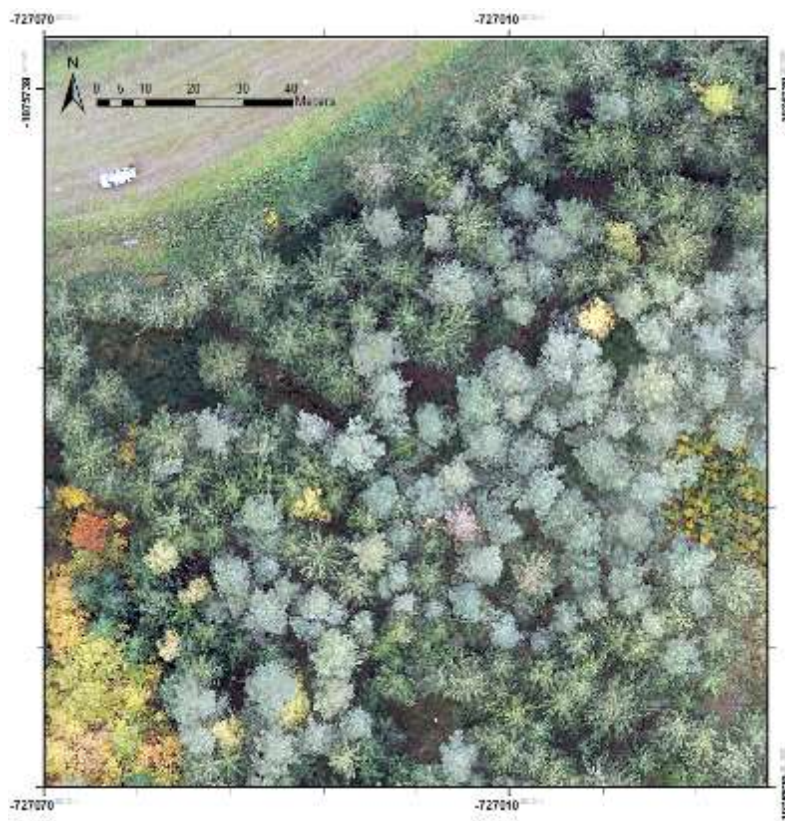
Kvantifikace rozdílů interpretací leteckých snímků dosud používaných v projektu CzechTerra a nově pořízených pomocí bezpilotních prostředků.

Rozdíly mezi klasickým leteckým snímkováním a snímkováním pomocí bezpilotního prostředku jsou demonstrovány Obrázkem 1. Klasický letecký snímek je zde porovnán s ekvivalentním výstupem ze snímkování pomocí UAV – ortorektifikovaným snímkem vzniklým složením většího množství fotografií (v tomto případě se jednalo o přibližně 400 fotografií zpracovaných do ortofoto mozaiky prostřednictvím aplikace Agisoft PhotoScan).



Obrázek Porovnání výstupů klasického leteckého snímkování (vlevo) a snímkování pomocí UAV (vpravo).

Ortorektifikované kompozitní snímky mohou být lokalizovány v globálních souřadnicových systémech a využity jako mapový výstup. Obrázek 2 demonstruje příklad plnohodnotné ortofotomapy lesního porostu doplněnou měřítkem a souřadnicovou sítí systému S-JTSK.



Obrázek : Ortofotomapa vzniklá ze snímků pořízených pomocí UAV.

K hlavním výhodám fotografií pořízených pomocí UAV patří:

- Možnost volby období pořízení snímků, příp. opakovaného snímkování během roku (viz Obrázek 1 zobrazující snímek pořízený ke konci vegetačního období) a z toho vyplývající možnost zvýraznit jednotlivé dřeviny vedoucí ke snadnější identifikaci a přesnějšímu určení jejich zastoupení i bez použití náročných a drahých technologií zahrnujících snímkování v širších spektrech – multi- a hyperspektrálních kamer.
- Možnost častého snímkování dovolující podchytit změny objevující se v důsledku hospodářské činnosti na malých územích (těžba, probírky) a z nich plynoucí změny druhové skladby a struktury lesa.
- Možnost snímkování s ultravysokým rozlišením – s prostorovým rozlišením 1 cm i méně. Takové rozlišení snímků umožňuje klasifikaci dřevin i podle tvaru a textury jednotlivých viditelných listů v koruně.
- Možnost vytváření 3D bodových mračen s vysokým prostorovým rozlišením. Takové struktury umožňují přesnou kvantifikaci výšek jednotlivých stromů v porostu i výpočet dalších taxačních ukazatelů (viz např. Pulliti et al., 2015 nebo Panagiotidis et al. (in press)), případně mohou být využity v kombinaci s terestriální fotogrammetrií, jak je demonstrováno v práci publikované v rámci projektu (Mikita et al., 2016).

K nevýhodám využití bezpilotních prostředků pro účely inventarizace lesa patří v současnosti především jejich malá doletová vzdálenost – řádově stovky metrů – a legislativní omezení civilního letectví, které povoluje využívání dronů výhradně v dohledu pilota.

Popis použité technologie, která bude konstrukčně optimalizována pro navrhovaný projekt

V průběhu řešení projektu byl postaven a otestován bezpilotní letecký prostředek typu samonosné křídlo, jehož hlavní výhody v porovnání s multirotorovými prostředky zahrnují dlouhý dolet, řádově delší letová doba a relativně větší bezpečnost v případě poruchy motoru či poškození baterie (možnost plachtění).

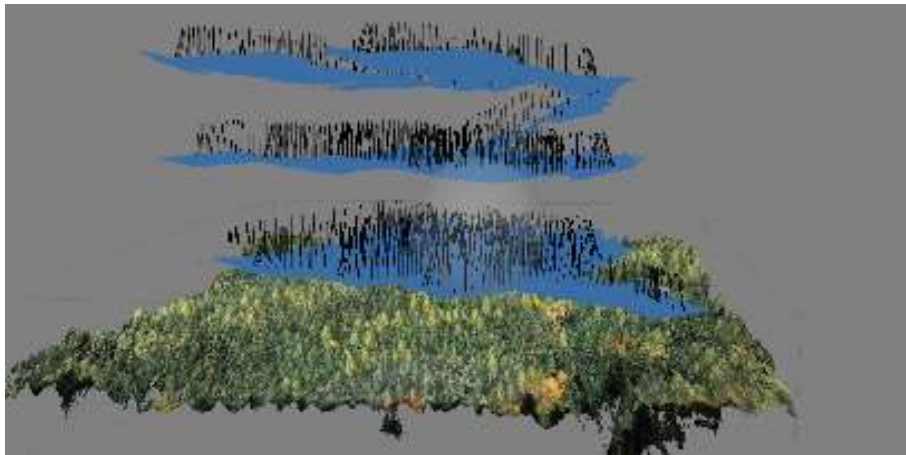


Křídlo vyvíjené ve spolupráci s předními institucemi v ČR zabývajícími se stavbou bezpilotních prostředků bylo navrženo tak, aby bylo schopné za pomoci silného motoru rychlého vystoupení na krátké vzletové dráze nad porost vyšších dřevin, a bylo tak schopné nasazení například v oblastech bez rozsáhlých odlesněných ploch. Letadlo je vybaveno autopilotem Pixhawk od firmy 3DR, který umožňuje několik režimů létání od plně manuálního řízení přes tzv. fly-by-wire režim (tj. režim udržování výšky a zamezení přetočení letounu) až po plně automatický režim, kdy je letoun schopen autonomního letu podél předem zvolené trajektorie. Je nutno zmínit, že komponenty letounu procházejí velmi intenzivním vývojem – zatímco v době návrhu projektu například autopilot Pixhawk jako komerčně dostupný produkt ještě neexistoval, dnes – v době finalizace řešení projektu – je již vytlačován dalšími generacemi autopilotů.

Vytvořený letoun je vybaven snímkovacím zařízením, jehož uchycení a zapojení jsou nadále vylepšovány s cílem eliminovat přenos vibrací letounu na snímkovací zařízení a zajistit maximální přesnost GPS taggingu jednotlivých fotografií tak, aby bylo možné zajistit ortorektifikaci snímku bez pracného a zdlouhavého měření referenčních bodů v terénu.

Porovnání finálních georeferencovaných ortorektifikovaných snímků pořízených z různých výškových hladin (tzn. s různým rozlišením) s ohledem na jejich interpretační schopnosti

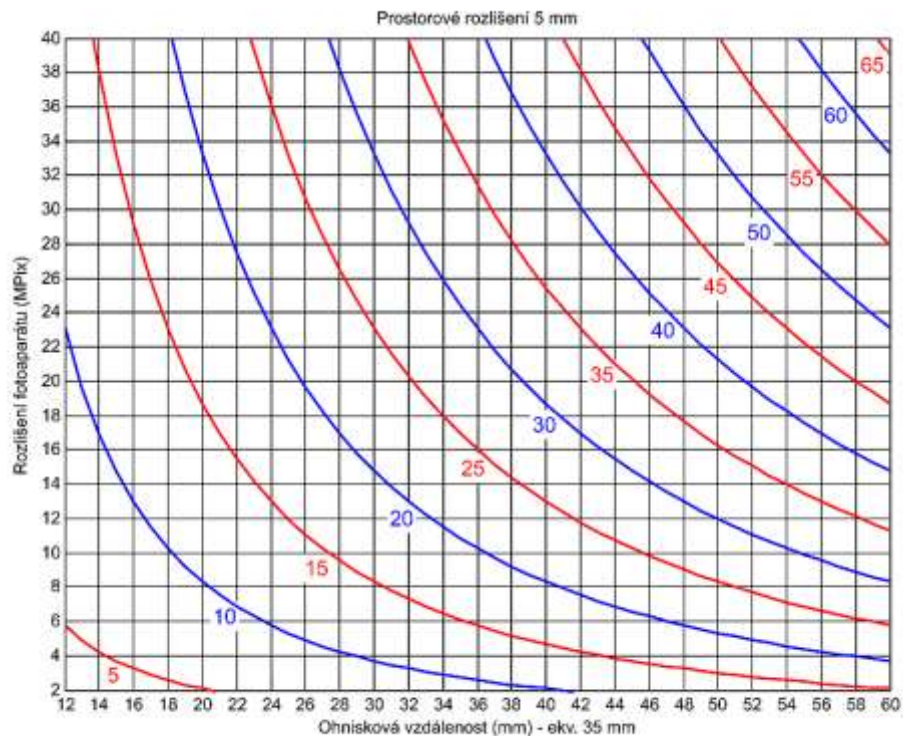
V průběhu řešení projektu bylo na vybraných plochách provedeno snímkování pomocí autopilota ze tří letových výšek, konkrétně 60 m, 100 m a 140 m pro následovné vyhodnocení optimální výšky letu (viz Obrázek 3).



Obrázek

Následná analýza vytvořených snímků naznačila, že v letových hladinách v ČR legislativně dostupných pro bezpilotní prostředky, tedy v takových, kdy je možné udržovat vizuální kontakt s letounem (výška do cca 150 m) byly snímky porovnatelné svou výpovědní hodnotou. Prokazatelně větší vliv na kvalitu snímkování mají další parametry snímkování, jako je letová rychlost, frekvence snímání (tyto dva parametry zároveň definují překryv jednotlivých fotografií) a expoziční parametry fotoaparátu (clona, expoziční čas, ISO).

Naopak letová výška může být optimalizována vzhledem k použitému snímkovacímu zařízení a požadovanému prostorovému rozlišení. Letová výška je determinována volitelným parametrem: požadovaným prostorovým rozlišením snímku neboli rozměru části zemského povrchu reprezentovaným na digitálním snímku jedním obrazovým bodem, pixelem. Dále závisí na technických parametrech použitého optického senzoru. Těmito ovlivňujícími parametry jsou rozlišení senzoru, jeho rozměry a ohnisková vzdálenost použitého objektivu. Na základě znalostí těchto parametrů lze pomocí geometrických vztahů jednoznačně definovat letovou výšku, při níž bude dosaženo požadovaného prostorového rozlišení. Z těchto geometrických vztahů byla odvozena série diagramů pro určování výšky letu na základě rozlišení senzoru a ekvivalentní ohniskové vzdálenosti použitého objektivu pro různá požadovaná prostorová rozlišení snímků; Obrázek 4 ukazuje vytvořený diagram pro požadované prostorové rozlišení 5 mm.



Obrázek Diagram pro určení letové výšky na základě rozlišení fotoaparátu a ohniskové vzdálenosti použitého objektivu pro požadované prostorové rozlišení 5 mm

Vyhodnocení časové a ekonomické náročnosti snímkování vzhledem k použitým prostředkům (multirotory vs. křídla)

Časová náročnost

- V důsledku nižší spotřeby energie během letu disponuje křídlo (letoun) podstatně delší maximální dobou letu. Standardní doba letu křídla dosahuje 30 min., zatímco běžný multirotorový prostředek vydrží operovat ve vzduchu cca. 10 min.; multirotorový prostředek s maximální délkou letu blížící se 30 min. je spíše výjimkou. Doba, během níž může multirotorový prostředek provádět snímkování, je navíc zkrácena o dobu potřebnou k bezpečnému přistání prostředku. Vzhledem k tomu, že multirotorový prostředek při klesání překonává proud vzduchu, který tlačí pod sebe, není možné bezpečně klesat velkou rychlostí. Přistávací manévr tak vyžaduje delší čas, s nímž je potřeba počítat při plánování letové trasy.
- Mezi významná omezení využitelnosti křídla patří především dolní limit rychlosti letu. Rychlost letu křídla není možné efektivně snížit pod cca 20 km/h (tj. 5,6 m/s), což může být v závislosti na světelných podmínkách a technických možnostech snímáčního zařízení rychlost příliš vysoká pro kvalitní podrobné snímkování. Naopak multirotorové prostředky disponují schopností velmi flexibilně měnit letovou výšku, rychlost letu apod., včetně schopnosti zastavit pohyb a zůstat nad místem zájmu.

- Ekonomická náročnost

- Letoun využívá klouzavého pohybu a je tudíž schopen letu s menší energetickou náročností. Multirotorové prostředky jsou energeticky velmi náročné a nákup a obnova dostatečného množství baterií představují výraznou ekonomickou potřebu.
- Letoun je zároveň také méně náročný na údržbu, neboť je obvykle charakterizován výrazně jednodušší stavbou i menším počtem motorů (obvykle jedním oproti minimálně čtyřem v případě multirotorových prostředků).
- Multirotorový prostředek je obvykle schopen většího zatížení, může tedy nést kvalitnější senzory s lepší rozlišovací schopností geometrickou i spektrální, což se odrazí na kvalitě a přesnosti výstupu.
- Na ekonomiku využití UAV může mít vliv také jeho transportovatelnost. Multirotorové prostředky obvykle vyžadují menší prostor při převozu a snadněji se přenáší než letoun, který musí být vybaven poměrně širokými křídly, aby byl zajištěn dostatečný vztlak pro stabilitu letu a nosnost užitečné zátěže pro snímkování.

Mapa přirozené obnovy snímkaných oblastí (jako vzor možných výstupů navrženého monitoračního systému)

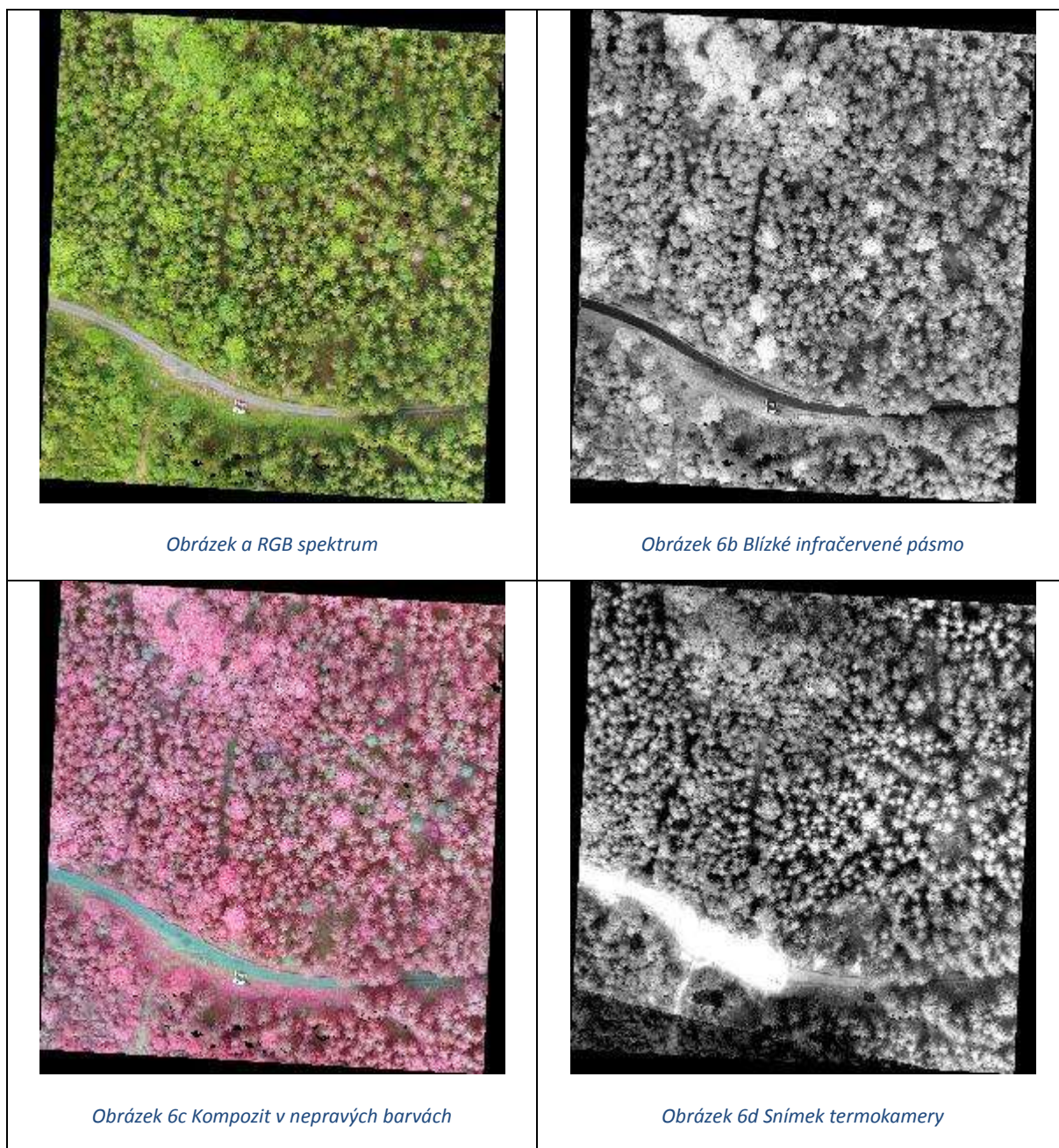
Monitorovací plocha byla nasnímaná pomocí křídla a následně také pomocí multirotorového prostředku. Výsledkem zpracování snímků jsou podrobné ortofotomapy s ultravysokým rozlišením (Obrázek 5) přirozeného zmlazení. Mapy byly překryty vrstvou pozemního měření. Při porovnání počtu stromů nalezených při manuální interpretaci snímku s počty zjištěnými pozemním měřením byla zjištěna 90% shoda metod. V dalším postupu bude vyhodnocena přesnost určení výšky a průměru koruny.



Obrázek Ortografomapy přirozené obnovy překryté vrstvou umístění přirozené obnovy zjištěným pozemním měřením.

Porovnání výstupů z různých senzorů s důrazem na IR složku, testování termálních senzorů.

Na příkladu porostu poškozeného biotickým činitelem bylo testováno využití snímků v různých pásmech elektromagnetického záření pro detekci poškozených a odumřelých stromů v porostu.



Obrázek 6 Čtveřice snímků téhož území s použitím různých spektrálních pásem a jejich kombinací.

Porost poškozený biotickým škodlivým činitelem byl nasnímán ve viditelném RGB spektru pomocí fotoaparátu Sony Nex5r (Obrázek 6a) a pomocí totožného přístroje, ale upraveného pro snímání v blízkém infračerveném pásmu (Obrázek 6b). Viditelné spektrum bylo v tomto případě eliminováno filtrem B&W s propustností vlnové délky od 830 nm. Obrázek 6c ukazuje kompozit v nepravých barvách, kdy RGB kanály kompozitu zobrazují NIR, R a G pásma snímku. Obrázek 6d demonstruje ortofoto mozaiku vytvořenou z termálních snímků pořízených pomocí termokamery FLIR Tau2 a doostřených metodou pan-sharpening.

Již snímek ve viditelném spektru poskytuje možnost systematického detailního a přesného mapování poškozených a odumřelých stromů v porostu. Již vizuální interpretace snímku s možností manuální

identifikace značně usnadní práci oproti vyhledávání odumřelých stromů přímo v terénu. Z Obrázku 6 je zřejmé, že využití blízkého infračerveného kanálu (NIR) může být výhodnou pomůckou při studiích ohrožení porostu. Zejména v kompozici s dalšími kanály (Obrázek 6c) se otevírají možnosti využití vegetačních indexů pro zvýraznění poškozených a odumřelých jedinců, což umožňuje rychlý náhled na stav porostu, ohrožení a predikci následného šíření biotických činitelů (viz např. Näsi et al., 2015).

V průběhu řešení projektu bylo zároveň provedeno pozemní šetření nasnímaných lokalit. To bude sloužit k verifikaci dat a informací získaných pomocí UAV. Mimo jiné je také připravována publikace popisující možnosti a přesnosti odhadu ohrožení porostu s využitím metod UAV pro snímkování ve viditelném a NIR spektru elektromagnetického záření.

ZÁVĚR

V rámci řešení projektu byly prozkoumány možnosti využití UAV v lesnictví, a to převážně se zaměřením na ergonomickou a ekonomickou stránku jak samotného snímkování, tak kvality a využitelnosti získaných dat. Ve zprávě jsou popsány dva typy využívaných bezpilotních prostředků – křídlo (letoun) a multirotorový prostředek (kopter) – a jsou rozebrány výhody a omezení jejich využití v inventarizaci lesa, snímkování kalamitních oblastí po destrukčním působení abiotických činitelů (polomy) a snímkování porostů poškozených biotickými škodlivými činiteli.

Vzhledem k faktu, že bezpilotní letouny jsou mimořádně novou technologií, je nutno podotknout, že všechny závěry vyvozené během výzkumu souvisejícího s projektem jsou vázány na konkrétní období, v němž řešení projektu probíhalo, a to jak s ohledem na využití technologie, tak s ohledem na legislativní úpravy v daném období. Díky tomu je obtížné odhadnout budoucí vývoj v obou zmíněných aspektech. I během doby řešení projektu prošly komponenty UAV výraznými změnami; některé součástky, jejichž nákup byl plánován v návrhu projektu, byly během doby řešení překonány, při realizaci nákupu již nahrazeny novými a v době tvorby závěrečné zprávy již byly komerčně dostupné produkty další generace (např. zmíněný autopilot).

Každopádně s ohledem na enormní zájem vědecké komunity i komerční sféry v tuzemsku i v zahraničí je důležité sledovat vývoj těchto technologií a neustále ověřovat efektivitu a praktičnost jejich využití. S postupem technologického vývoje je možné očekávat, že minimálně v nepřístupných a těžko přístupných lokalitách najdou UAV již v blízké době svoje praktické uplatnění.

LITERATURA

- Mikita, T.; Janata, P.; Surový, P. (2016) Forest Stand Inventory Based on Combined Aerial and Terrestrial Close-Range Photogrammetry. *Forests* 2016, 7, 165.
- Näsi, R.; Honkavaara, E.; Lyytikäinen-Saarenmaa, P.; Blomqvist, M.; Litkey, P.; Hakala, T.; Viljanen, N.; Kantola, T.; Tanhuanpää, T.; Holopainen, M. Using UAV-Based Photogrammetry and

Hyperspectral Imaging for Mapping Bark Beetle Damage at Tree-Level. *Remote Sens.* 2015, 7, 15467-15493.

Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., Surovy, P., Chiteculo, V. (in press) High resolution airborne UAV imagery to determine tree height and crown diameter. *International Journal of Remote Sensing*

Puliti, S., Olerka, H., Gobakken, T., and Næsset, E. (2015). Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System. *Remote Sensing* 7, 9632-9654.

GRAFICKÁ PŘÍLOHA

Obr. 1: Mapa zmlazení

Mapa zmlazení snímkové oblasti

