

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
Katedra biotechnických úprav krajiny (KBÚK)



**Fotogrammetrie pomocí UAV a neměřičské
fotokamery**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Slavomír FILÍN
Vedoucí práce: Ing. Jiří BRYCHTA

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Slavomír Filín

Vodní hospodářství

Název práce

Fotogrammetrie pomocí UAV a neměřičské fotokamery

Název anglicky

Photogrammetry using UAV and non-metric photcamera

Cíle práce

1. Hlavním cílem této práce je provedení kompletní fotogrammetrické mise včetně vyhodnocení DTM a ortofota.
2. V práci bude porovnáván vliv nastavení parametrů fotogrammetrické mise a způsobu zpracování dat na přesnost výsledného DTM a ortofota.

Metodika

1. Obecné seznámení s fotogrammetrií, metodami zpracování dat, technologií UAV a příklady jejího využití formou literární rešerše.
2. Popis použité techniky UAV, příslušenství a software pro zpracování dat.
3. Popis použitých postupů provedení fotogrammetrické mise, včetně kalibrace fotokamery, nastavení letových parametrů a určení prvků vnější orientace.
4. Zpracování dat a porovnání výsledků.

Doporučený rozsah práce

50 stran

Klíčová slova

fotogrammetrie, UAV, neměřičská fotokamera, DTM, ortofoto

Doporučené zdroje informací

- Dronemapper: UAV Flight Tracking and Imagery Processing [online]. 2012 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://dronemapper.com/>
- EISENBEISS, Henri. The Potential od Unmanned Aerial Vehicles for Mapping. 2011. Dostupné z: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/140Eisenbeiss.pdf>
- EISENBEISS, Henri. UAV Photogrammetry. Curych, 2009. DISS. ETH NO. 18515. Dostupné z: http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/Blaue_Berichte_PDF/105.pdf. Disertační práce. ETH Curych
- GisCat: Consulting-Application-Training [online]. 09.10.2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.giscat.com/>
- hotomodeler: Measuring & Modeling the Real World [online]. 2010 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <http://www.photomodeler.com/>
- PAVELKA, K. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STAVEBNÍ FAKULTA, – HALOUNOVÁ, L. *Dálkový průzkum Země*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03124-1.
- Pavelka K.: Fotogrammetrie 1, skriptum , ČVUT 2009. ISBN 978-80-01-04249-6
- Pavelka K.: Fotogrammetrie 2, skriptum , ČVUT 2011, ISBN 978-80-01-04719-4
- Pix4D UAV [online]. 2012, 11.5.2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.pix4d.com/>
- REMONDINO, F. UAV Photogrammetry for mapping and 3D modeling: Current status and future perspectives. 2011. Dostupné z: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/1-C22/papers/remondino.pdf>
-

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jiří Brychta

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 18. 03. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 11. dubna 2016

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Brychtovi za odborné vedení práce a poskytnutí odborných rad.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá využitím bezpilotních leteckých prostředků zejména v environmentálních odvětvích. Postupně jsou popsány různé typy a vlastnosti letounů. V úvodě je vysvětlen historický vývoj a platná legislativa pro nakládání s bezpilotním leteckým prostředkem. Další část se věnuje zpracování výsledků pořízených za pomoci UAV. Je vysvětlena fyzikální podstata sběru dat. Dále jsou popsány jednotlivé typy dat, které se dají získat umístěním různých senzorů a kamer na UAV nosiče. Jedná se o multispektrální, hyperspektrální, termovizní a lidarové senzory. Je vysvětlen proces vyhodnocování naměřených dat v prostředí GIS. Práce řeší také vyhodnocování snímku, pořízených prostřednictvím UAV za pomoci polo automatizovaných softwarů. V práci jsou uváděny příklady těchto celosvětově rozšířených softwarů. Pozornost byla kladena také na využití jednotlivých výstupů. V poslední části jsou uvedeny příklad využití UAV nebo softwarů na konkrétních příkladech, kde byly UAV prostředky nevyhnutným nástrojem k samotné realizaci projektu.

Klíčová slova

Fotogrammetrie, UAV, neměřičská fotokamera

Abstract

This thesis deals with the use of unmanned airborne vehicles especially in environmental sectors. Gradually they describe the different types and characteristics of aircraft. The introduction explains the historical development and the legislation applicable to the management of unmanned airborne vehicle. Another part deals with processing of the results acquired with the help of UAVs. It is explained by the physical principle of data collection. The following describes the different types of data that can be obtained by placing different sensors and cameras for UAV support. This is a multispectral, hyperspectral, thermal imaging and lidar sensors. It explains the process of evaluating the measurement data in the GIS environment. Work also addresses the evaluation of the images taken by UAV with the help of a semi automated software. The paper presents examples of the world's most pervasive software. Attention was also placed on the use of individual outputs. The last section provides examples of the use of UAVs or software on concrete examples, where the UAV resources necessary tool for the project implementation.

Key words

Photogrammetry, UAV, non-metric photcamera

Obsah:

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
1. ÚVOD	11
2. CÍLE PRÁCE.....	11
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	12
3.1. Bezpilotní prostředky	12
3.1.1. Co je to UAV.....	12
3.1.2. Historie bezpilotních zařízení	12
3.1.3. Rozdělení UAV.....	13
3.1.4. Typy UAV	14
3.1.5. Technologie multikoptéry	17
3.2. Dálkový průzkum země	20
3.2.1. Fyzikální podstata sběru dat	20
3.2.2. Typy dat.....	22
3.3. Fotogrammetrie	26
3.3.1. Letecká fotogrammetrie	26
3.3.2. Družicová fotogrammetrie	27
3.3.3. Fotogrammetrie pomocí UAV a neměřické fotokamery	28
3.4. Provedení fotogrammetrické mise pomocí UAV a neměřické fotokamery.....	28
3.4.1. Kalibrace fotokamery	28
3.4.2. Optimální výška a rychlost letu	29
3.4.3. Waypoint body.....	30
3.5. Vyhodnocování UAV snímků pomocí software	31
3.5.1. Pix4D.....	31
3.5.2. Aerogis	31
3.5.3. Icaros.....	32
3.5.4. Dronemapper	32
3.5.5. PhotoModeler Scanner	33
3.5.6. Agisoft PhotoScan.....	33
3.6. Grafické výstupy v GIS.....	34
3.6.1. Ortofoto snímky.....	34
3.6.2. Digitální model reliéfu.....	35
3.6.3. Digitální model terénu	35
3.6.4. Digitální model povrchu.....	36
3.6.5. 3D model	36
3.7. Příklady využití UAV v environmentálních odvětvích	37
3.7.1. Mapování vodních ploch a vlhkosti půdy	37
3.7.2. Lokalizace zdrojů znečištění	38
3.7.3. Zkoumání lesních porostů.....	38
3.7.4. Monitoring pobřežních oblastí	39
3.7.5. Časové sledování změn vodních ploch a jezer.....	39
3.7.6. Mapování kvality vody	40
3.7.7. 3D modelování povrchových lomů.....	40
3.7.8. Mapování pro geodetické účely	41
3.7.9. Oceňování lesních pozemků.....	41
3.7.10. Mapování půdní eroze	42

3.7.11.	Archeologie	42
4.	DISKUSE	43
5.	ZÁVĚR	45
6.	PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	46
7.	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK A OBRÁZKŮ	51

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- UAV - Unmanned Aerial Vehicle (bezpilotní letecké prostředky)
- UAS - Unmanned Aerial System (bezpilotní letecké systémy)
- GPS - Global Positioning System (systém globální navigace)
- ÚCL - Úřad pro civilní letectví
- GIS - geografický informační systém
- INS - inerciální navigační systém
- GNSS - Global Navigation Satellite System (systém globální satelitní navigace)
- DPZ - Dálkový průzkum země
- RGB - Red Green Blue (červená zelená modrá - viditelné spektrum)
- NIR - Near Infrared (blízké infračervené záření)
- SWIR - Short Wave Infrared (krátkovlnné infračervené záření)
- MWIR - Midle Wave Infrared (středovlnné infračervené záření)
- LWIR - Long Wave Infrared (dlouhovlnné infračervené záření)
- DTM - Digital Terrain Model (Digitální model terénu)
- DEM - Digital Elevation Model (Digitální model reliéfu)
- DSM - Digital Surface Model (Digitální model povrchu)
- TIN - Triangulated Irregular Network (trojúhelníková nepravidelná síť)
- LHCP - Left Hand Circular Polarization (levotočivá polarizace)
- RHCP - Right Hand Circular Polarization (pravotočivá polarizace)
- FPV - First Person View (pohled první osoby)
- CCD - Charge Coupled Device (Nábojová vázaná struktura)

1. ÚVOD

Vývoj bezpilotních leteckých prostředků zaznamenal za posledních deset let svůj největší rozmach za celou jeho historii. V minulosti bylo družicové a letecké snímkování čistě státní záležitostí nebo vojenskou činností. Všechna strategická data získána prostřednictvím družicových nebo leteckých misí podléhala utajení. V dnešní době je situace zcela odlišná. Získat mapové údaje o dané lokalitě je díky internetu umožněno celému spektru široké veřejnosti. Tak jako je možné získat již hotové mapové podklady, se v dnešní době naskýtá možnost také dostupného pořizování podkladů pro jejich tvorbu. Nejjednodušší a nejdostupnější metodou je snímkování pozemních cílů za pomoci bezpilotních letounů neboli UAV. Díky jejich jednoduché manipulaci je možno provést i ty nejnáročnější letecké fotogrammetrické mise. Pořízené mapové podklady slouží jako základní vstup pro tvorbu prostorových dat. Ty pak nalézají využití v celé řadě různých environmentálních a geografických aplikacích.

2. CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této práce je teoretické shrnutí problematiky sběru dat pomocí bezpilotních leteckých prostředků. Cílem práce je také uvádět praktické příklady využití UAV fotogrammetrie v environmentálních odvětvích.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1. Bezpilotní prostředky

3.1.1. Co je to UAV

Bezpilotní letecký prostředek neboli UAV (unmanned aerial vehicle) je označení pro malá dálkově nebo automaticky ovládaná zařízení. Známe také pod názvem dron, létající robot. Letoun je ovládán pouze bezpilotně. Pilot není fyzicky přítomen na palubě, ale ovládá letoun dálkově a to automaticky nebo přímo. Tohle zařízení je definováno i samotnými technickými parametry jako jsou váha a rozměry samotného zařízení (Rouse, 2015).

Dle § 2 zákona o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů je Bezpilotní letou (UAV) definován následovně: „Letadlem se rozumí zařízení schopné vyvozovat síly nesoucí jej v atmosféře z reakcí vzduchu, které nejsou reakcemi vůči zemskému povrchu. Pro účely tohoto zákona se nepovažuje za letadlo model letadla, jehož maximální vzletová hmotnost nepřesahuje 20 kg“.

Bezpilotní letadla je obecně možné provozovat pouze s povolením ÚCL. Jedná se zejména o povolení k létání a dále o povolení k provozování leteckých prací, leteckých činností pro vlastní potřebu nebo k provozování obchodní letecké dopravy. Povolení ÚCL není potřeba pouze pro modely letadel do maximální vzletové hmotnosti 20 kg. Definice modelu letadla a vymezení druhů leteckých činností nicméně vylučují provoz modelu letadla pro činnosti jiné, než rekreační a sportovní (Úřad pro civilní letectví, 2016).

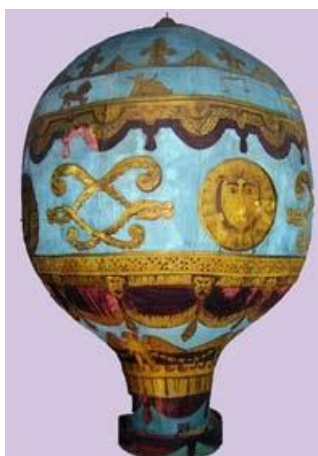
3.1.2. Historie bezpilotních zařízení

Za první bezpilotní zařízení jsou považovány horkovzdušné balóny. První funkční model se objevil ve Francii. Na obrázku č. 1 je detailní snímek repliky balónu zhotoveného bratři Montgolfierovými v roce 1783. Během Americké Občanské Války v roce 1861-1865 Sovětský Svaz vypustil balóny se zápalnými zařízeními v naději založení požárů. Od roku 1848 do roku 1896 se bezpilotní zařízení konstruovaly především za účelem zjistit, zda je vůbec možné létat bez toho, aby byl pilot na palubě letounu přítomen (Tetrault, 2016).

Vývoj UAV byl zesílen v období 2. světové války. Jednou ze známých rádiem naváděných raket je raketa Fiesler FI 103 V1 která byla vypálena na Londýn v roce 1944.

Díky podpoře a financování armády jsou dnešní UAV vybaveny kamerovými a naváděcími systémy díky kterým je možné ovládat letoun na velmi velké vzdálenosti. Mnohé z nich jsou určeny ke špionáži dokonce i k samotnému boji.

V dnešní době je ale trendem zpřístupnit zařízení v prospěch komerčního využití například na tvorbu a sběr dat nebo k rekreaci.



Obrázek č. 1 Balon bratrů Montgolfierů (URL 1)

3.1.3. Rozdělení UAV

Bezpilotní letecké prostředky je třeba rozdělit na základní dvě kategorie, a to zda využívají k letu to, že jsou lehčí než vzduch nebo ne. Dále rozdělujeme UAV dle toho, zda využívají k pohybu sílu vzlaku a setrvační síly nebo motor. UAV rozdělujeme také dle typu a velikosti křídla nebo vrtule. Přehled rozdělení UAV dle váhy zařízení a typu pohonu je uveden v tabulce č. 1.

	Lehčí než vzduch	Těžší než vzduch		
		Stavitelné křídlo	Pevné křídlo	Rotační křídlo
Bez pohonu	Balón	Rogalo	Vetroň	-
		Paraglida		
		Drak		
S pohonem	Vzducholod'	Paraglida s motorom	Letadlo	Vrtulník
				Coaxiální vrtul.
				Multikoptéry

Tabulka č. 1 Rozdělení UAV dle váhy a pohonu (upraveno dle Eisenbeiss, 2009)

3.1.4. Typy UAV

Vývoj bezpilotních prostředků byl formován zejména tím, k čemu byly využívány. Tento faktor má na svědomí to, že typů UAV je v dnešní době mnoho. Cílem je popsat alespoň některé základní typy, které se v dnešní době využívají.

Balón

Balóny jsou využívány zejména v meteorologii a to jako nosiče měřících zařízení. Balón dokáže létat na základě toho, že je lehčí jako vzduch. To znamená, že nemá vlastní motor. Přesto je balon schopen unést i relativně těžký náklad. Vše záleží jenom na velikosti objemu, který balón má. Vznášecí síla helia dokáže vynést do atmosféry různě těžká měřící zařízení. Různé velikosti balónů se využívají pro různé účely. Velikost meteorologického balónu (viz obr. č. 2) je v porovnání s armádním typem (viz obr. č. 3) o mnoho menší. Avšak oba plní svou úlohu nosiče. Výhoda balónu napuštěného heliem je, že se dokáže vznést do atmosféry na velmi dlouhou dobu (Osborn & Haines, 2010).



Obrázek č. 2 Meteorologický balón (URL 2)



Obrázek č. 3 Polyesterový kulový balón (URL 3)

Drak

UAV tohoto typu se využívá jako cenově nejdostupnější varianta tvorby snímku. Drak je využíván pro civilní účely mapování území malých měřítek. Výhodou tohoto zařízení je například jeho váha. To napomáhá transportu na těžko dostupná místa, odkud je měření prováděno (Murray & kol., 2013).

Obecně platí, že čím menší letoun, tím lépe zvládá vítr. Velké draky odolávají větru od 10-25 km/h, malé s plochou křídel okolo 1m² dokážou překonávat vítr o síle 40 km/h. Náklady spojené se samotným provozem jsou prakticky nulové, potřebná je lidská síla a vítr (Verhoeven, 2009).

V některých rozvojových krajinách jako například v Súdánu je použití multikoptéry zakázáno. Pacina (2015) se pro provedení fotogrammetrické mise rozhodl použít leteckého draka Elliot Rhombus Mega Power Sled. Drak nesl závěsné zařízení Picavet pro ukotvení a stabilizaci kamery.

Helikoptéra

Helikoptéra patří do skupiny UAV které jsou těžší než vzduch. K letu slouží hlavní rotor s vrtulí a sekundární vrtule pro ovládání směru. Výhodou je možnost vzlétnout a přistát kolmo na prakticky libovolní přistávací plochu. Vzletová a přistávací dráha není potřebná.

Nevýhodou helikoptéry je ne příliš stabilní provedení letu. V porovnání s multikoptérou je let vystaven větším náklonům letounu a silnějším vibracím. V dnešní době se pro fotogrammetrické účely využívá spíše drak nebo multikoptéra. Helikoptéra Yamaha Rmax se v dnešní době využívá např. k rozprašování aerosolů v zemědělství.

Letadla s pevným křídlem

Letadla s pevným křídlem jsou konstruována s maximální vzletovou hmotností 30 kg. Jejich maximální výška letu je kolem 300 m nad terénem s doletem maximálně 10 km od pozemní ovládací stanice. Letoun může být ovládán prostřednictvím dálkového ovládání nebo automaticky ovládaným režimem. Navigace je založená na dvou navigačních systémech, a to GPS nebo INS (Inertial Navigation Systems). Letadlo může zpracovávat signál ze dvou systému současně nebo jenom z jednoho systému GNSS (Colomina & Molina, 2014).

Jedním z velmi používaných letounů je Sensefly SwingletCam UAV, jehož váha je menší než 500g, (viz obr. č. 4). Skládá se z křídla, kamery, GPS čipu, výškového senzoru, rádio přijímače a procesoru. Baterie je schopna udržet letoun v provozu přibližně 30 minut a odolávat slabšímu větru do 25 km/h. Minimální vzdálenost pro udržení kvalitního signálu potřebného k ovládání je 1,3 km (Gonçalves & Henriques, 2015).



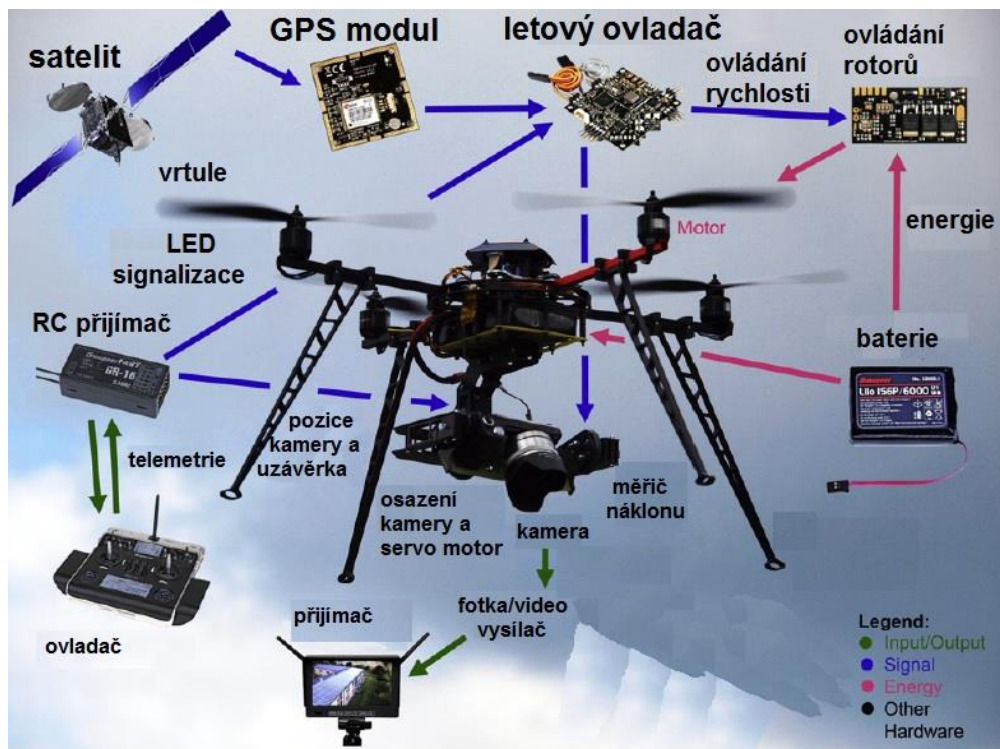
Obrázek č. 4 Sensefly Swinglet Cam UAV (URL 4)

Multikoptéra

Multikoptéra se řadí do skupiny UAV s rotujícími křídly stejně jako helikoptéra, rozdíl je však v počtu rotorů. Multikoptéra využívá k letu 4 (kavadroptéra), 6 (hexakoptéra) nebo 8 (oktokoptéra) rotorů. Díky většímu počtu rotorů přinášejí oproti jednorotorovým platformám celou řadu výhod. Umístění rotorů po obvodě multikoptéry umožňuje upevnit kameru nebo jiné pozorovací zařízení centrálně pod letoun, kde se na rozdíl od jednorotorových zařízení nachází mnohem větší prostor. Konstrukce zabezpečuje stabilní let a ovládání, to umožňuje využívat multikoptéry v mnoha odvětvích (Chang & kol., 2016).

Točivý moment u multikoptéry nevytváří ztrátu energie důsledkem rotorů točících se opačným směrem. Hlavní výhodou multikoptéry je jejich lehká ovladatelnost, vysoká flexibilita a stabilita letu. Váha, kterou může dron neboli multikoptéra při letu nést je až 5kg navíc. Náklad může představovat nejrůznější měřicí přístroje a kamery (Siebert & Teizer, 2014).

Obrázek č. 5 popisuje systém, jakým pracuje multikoptéra neboli dron. Systém se skládá z baterie, která plní funkci elektrického zdroje. Dále následuje celá soustava ovládání polohy, náklonu a směru multikoptéry ovládaná prostřednictvím procesoru. Do letounu je instalován také GPS modul, který plní úlohu zaznamenávání polohy zařízení. Následně může být multikoptéra ovládána za pomoci poloautomatického režimu.



Obrázek č. 5 Hlavní komponenty multikoptéry (URL 5)

3.1.5. Technologie multikoptéry

V následující části se zaměřuji na technologické principy částí ovládající multikoptéru. Je popsán proces letové kontroly, funkčních částí a navigace. Každá z těchto částí má za úkol společně multikoptéru navádět, udržet v letové výšce a koordinovat let.

Letová kontrola

Každá multikoptéra má zabudovaný modul, který ovládá řízení a stabilizuje ho. Tento systém se skládá z několika přístrojů, které spolu navzájem komunikují. Systém pozůstává z gyroskopu, akcelerometry, barometrickým čidlem a procesoru. Díky spolupráci těchto komponentů dokáže procesor provést stabilní kontrolu letu a to i při mírném větru.

Navigační kontrola

Neméně důležitou součástí je také navigační složka. Ta obsahuje několik součástí jako magnetometr, procesor a GPS přijímač. Použitím správného nastavení je možné efektivně minimalizovat nežádoucí náklon a zabezpečit stabilní pozici s ohledem na svislou osu multikoptéry.

GPS modul

Díky instalaci GPS modulu je možné, aby byl letoun ovládán v poloautomatizovaném režimu. Díky přesnému určení polohy v jednom z GNSS systémů, letoun dokáže letět po předem námi definované trase. Letoun se tak stává zcela autonomní.

Kontrola balance

Kvadroptéry se skládají z několika rotorů, které spolu spolupracují a zabezpečují potřebný vztlak k udržení letounu ve vzduchu. Systém kontroly balance upravuje rychlost otáček jednotlivých rotorů tak aby letoun mohl stabilně a kontrolovaně letět.

FPV technologie (manuálně)

V dnešní době se pro účely manuálního ovládní UAV využívá FPV technologie. FPV (First-person view), česky - pohled první osoby, je název pro dálkové ovládní letounu prostřednictvím kamerového přenosu přijímaném na dálkovém ovládní a vysílaném samotným letounem. Obraz nahrazující pohled pilota fyzicky přítomného na palubě letounu je vysílán prostřednictvím vysílače. Osoba, která ovládá letoun za pomoci dálkového ovladače, přijímá obraz první osoby prostřednictvím antény přijímače. Vše se odehrává v reálném čase. Díky tomu je osoba, která letoun ovládá schopna reagovat rychleji a efektivněji. Letoun je ovládán manuálně. (Kontogiannis & Ekaterinaris, 2013)

Pozemní stanice

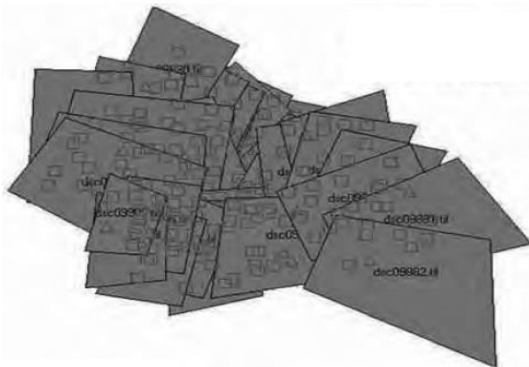
K manuálnímu navádění UAV nám slouží pozemní stanice se zabudovaným monitorem. Díky němu můžeme vidět údaje o letové výšce, rychlosti letu, stav baterie, atd. Navíc je možné sledovat obraz FPV v reálném čase. Pozemní stanice je vybavená anténou pro komunikaci s letounem. Zařízení funguje na principu vysílání a přijímání telemetrických dat. Anténa zabezpečuje nepřetržitou komunikaci mezi UAV a uživatelem. Uživatel ovládá pohyb letounu pomocí dvou joystiků. V dnešní době je možné použít notebook a nahradit tak dálkové ovládní. Prostřednictvím modemu lze spojit UAV s notebookem a v příslušném softwaru ovládat letoun a přijímat informace o jeho stavu.

Autonomní let

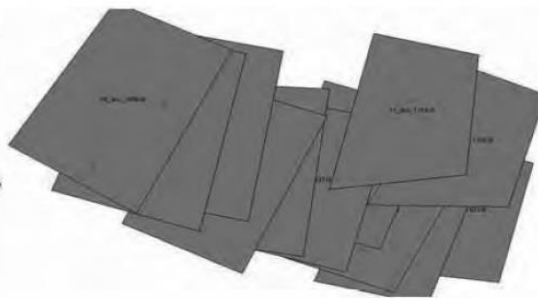
Autonomní let se od manuálního liší hlavně v náročnosti ovládní. Na rozdíl od manuálního, autonomní dokáže provést fotogrammetrickou misi přesněji. Na obrázku č. 6 je znázorněn rozdíl v přesnosti rozložení snímku mezi manuálním a autonomním letem. Autonomní let představuje řízení letounu podle předem definované dráhy. Tu v prostředí daného softwaru určíme před provedením mise. Data uložíme do paměti například multikoptéry. Letoun pak provede snímkování dle nastavených parametrů. Autonomní let nelze, však provést v oblastech kde hrozí ztráta GPS signálu s letounem. Existuje také polo-automatický režim, kde můžeme ovládat jenom určité vlastnosti letu. Jedním z nich je např. směr letu nebo uzávěrka kamery. (Eisenbeiss, 2004)

Zařízení, které získává data díky předem naprogramovanému plánu, dokáže vypočítat přesně jak často a s jakým překryvem má vyhotovit snímek. Zařízení definuje požadované rozlišení a plochy, které je třeba nasnímat. Vše se vypočte a naprogramuje předem díky letovému programu. Autopilot může také komunikovat s pozemní stanicí díky telemetrickému spojení. (Whitehead & kol., 2014)

MANUÁLNÍ LET



AUTONOMNÍ LET



Obrázek č. 6 Rozdíl mezi manuálním a autonomním letem (URL 6)

Gyroskopická stabilizace kamery

Gyroskopická stabilizace spočívá v udržení kamery v poloze kolmé k terénu, který je předmětem snímkování. U zařízení typu multikoptéra se nejčastěji využívá tří - osá gimbal stabilizační hlava. Zabezpečuje možnost kontroly nad náklonem kamery v třech směrech. To znamená, že kamera dokáže být natočená kolmo na terén i když se dron ze své vodorovné polohy vychýlí.

Na obrázku č. 7 je snímek kvadrokoptéry DJI Phantom 3. V její spodní části se nachází tří - osá gyroskopická stabilizační hlava. Dále také 2,7K HD kamera. Kameru je také možné spojit také s operačním systémem iOS nebo Android, což umožňuje její dálkové ovládání. Baterie o kapacitě 4480mAh je schopná vydržet při plném nabití až 23 minut letu.



Obrázek č. 7 Kvadrokoptéra DJI Phantom 3 (URL 7)

3.2. Dálkový průzkum země

3.2.1. Fyzikální podstata sběru dat

U DPZ rozdělujeme snímkování dle fyzikální podstaty sběru dat prostřednictvím měřicích zařízení. Rozhodující je vlnová délka a elektromagnetické spektrum, které činí až 20 řádů. Toto spektrum se pohybuje od 10^{-7} mkm (kosmické záření) až do 10^9 (televizní a rádiové vlny) (Kolář, 1997).

Při snímání povrchu země je důležité spektrální chování objektů. Každý objekt má svoji jedinečnou kombinaci závislosti odrazivosti a vlnové délky, tzv. spektrální křivka odrazivosti. Výběr získávání dat o objektu je ovlivněn tvarem křivky. Tyto křivky mají pro typickou třídu objektů charakteristický průběh. (Dobrovolný, 2016)

Sběr dat pomocí DPZ je založen na snímání elektromagnetických vln, které vyzařují jednotlivé objekty na zemském povrchu. Část spektra je zemským povrchem pohlcena. Tu část, kterou zemský povrch odrazí, jsme schopni díky různým sensorům nebo kamerám zachytit. Ty můžou být umístěny na umělých družicích Země, letadlech nebo také na UAV. U DPZ se využívá jenom určitá část elektromagnetického spektra. V následující části si popíšeme základ a využití jednotlivých záření.

Ultrafialové záření

Ultrafialové záření je škodlivé pro živé organismy. Velká část UV záření je pohlcována atmosférou, která nás chrání. Využívání UV v DPZ je prováděno prostřednictvím tzv. UV laserů. Díky vlastnosti minerálů odrážet ultrafialové záření, se využívá UV např. při monitorování ropných skvrn nebo v mineralogii (Železný, 2007).

Viditelné záření

Nejdéle využívaná část spektra pro DPZ. Objekty jsou snadno rozpoznávány dle barev blízkých lidskému oku. Viditelné spektrum se skládá z modrého, zeleného a červeného světla. Toto záření pohlcují mraky, mlha nebo déšť. To znamená, že k snímkování může být realizované jenom za dobrého počasí. Výhodou tohoto záření je, že modré světlo proniká vodním sloupcem cca do 20 m hloubky. To umožňuje studovat vodní objekty (Kolář, 1997)

Infračervené záření blízké

Toto záření je oproti ultrafialovému pohlcováno a rozptylováno atmosférou méně. To umožňuje vytvářet snímky ostré s dobrým kontrastem. Využívá se k topografickým účelům, pro studium vegetace a lesního pokryvu. U tohoto snímkování je voda vykreslována jako černé těleso. Atmosférické podmínky na rozdíl od viditelného spektra nepůsobí na kvalitu snímku. Princip studie vegetace spočívá v rozdílu viditelné části spektra (RED - červeného světla) a blízkého infračerveného NIR spektra. Pro tyto účely se využívají tzv. vegetační indexy. Vegetační indexy reprezentují kvantitativní složku biomasy (Komeščíková, 2006).

Infračervené záření střední

Využívá se především k pozorování vegetační a geologické struktury krajiny. Slouží také k rozpoznávání sněhu a ledu a k odlišení oblačnosti. Má velmi dobré rozpoznávací vlastnosti mnoha minerálů. Odražených vln je mnohem víc než pohlcených ne však tolik jako u tepelného záření (Železný, 2007).

Tepelné záření

Slouží k zjišťování teplotních změn na Zemském povrchu. Na základě odraženého záření od objektů lze zjistit jejich teplotu. Tepelné záření je možné mapovat i v noci. Využití nalézá v oceánografii při zkoumání teplotních rozdílů vody nebo také tepelného znečištění jezer a řek. Dále lokalizace a vyhodnocování lesních požárů.

Mikrovlnné záření

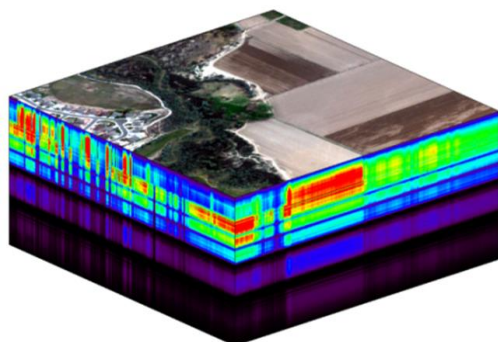
Díky dlouhým vlnám je mikrovlnné záření schopné proniknout i pod zemský povrch. Počasí na ně má nejmenší vliv a je možné ho použít i v noci. Využívá se u zařízeních typu radar např. v meteorologii. Vlivem dešťů je záření zeslabováno - princip meteorologického radaru. Využívá se taky na mapování mořského dna za pomoci zařízení sonar (Železný, 2007).

3.2.2. Typy dat

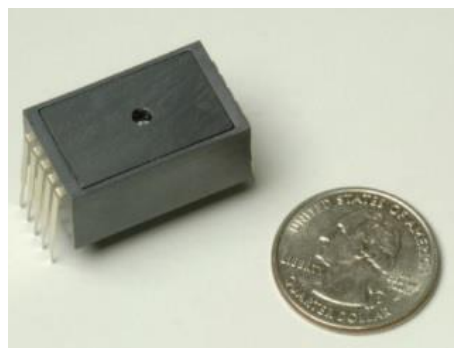
V dnešní době se v DPZ využívá mnoho typů snímkování a dat. Zaměříme se na data vytvářená prostřednictvím UAV monitoringu. Jednotlivá data si popíšeme a uvedeme příklady jejich využití. Součástí bude také příklad senzorů využívaných pro sběr těchto dat prostřednictvím UAV.

Hyperspektrální snímkování

Tento druh dálkového průzkumu země je označen pro obrazovou spektroskopii a řadíme ho mezi nejnovější technologie. Za pomoci hyperspektrálních snímků dokážeme rozpoznat druh minerálů v podloží, vegetaci nebo dokonce materiály vytvořené člověkem. Pomáhá také detekovat znečištění v půdě a množství absorbované vody nebo jiných látek. Tato technologie je známá víc jak 100 let. Až vývojem technologie se začíná využívat ke zkoumání Země. Hyperspektrální data tvoří 100-200 barevných pásem v rozsahu 5-10 nm. Hyperspektrální obraz je definován jako prostorová data X-Y plánu a spektrální informaci reprezentuje výškový směr Z. Tyto souřadnice jsou základem pro vytvoření tzv. hyperspektrální krychle (viz obr. č. 8) (Macháčová, 2006).



Obrázek č. 8 Hyperspektrální krychle (URL 8)



Obrázek č. 9 Mini-spektrometr c10988ma (URL 9)

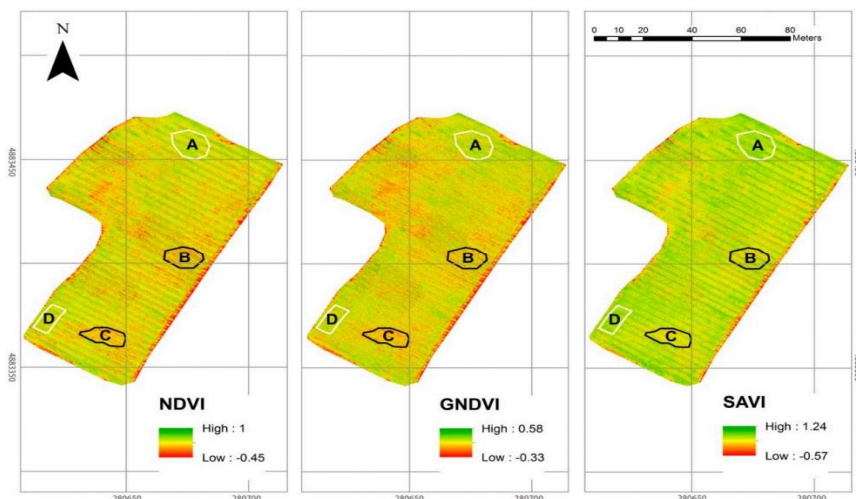
Uto (2013) se svým týmem se v jejich práci zaměřili na snímkování rýžových polí hyperspektrální senzorem umístěným na kvadrokoptéře. Pro leteckou misi byla určena kvadrokoptéra MD4-1000 s možností autonomního letu. Na spodní části těla UAV byl instalován mini-spektrometr vyráběný firmou Hamamatsu Photonics C10988MA. Zařízení dokáže zaznamenat záření o vlnové délce v rozsahu od 327-763 nm s rozlišením o velikosti 14 nm. Zaznamenává 256 prvků odraženého světla. Pro představu lidské oko dokáže zaznamenat jenom 3 a to červenou, zelenou a modrou. Největší výhodou tohoto senzoru je ale jeho váha a velikost. Na obr. č. 9 je vyfocen v porovnání s mincí. Jeho váha je pouhých 9 gramů.

Multispektrální snímkování

Multispektrální data se skládají z několika pásem. Pásma mohou být zobrazována jako škála šedi nebo jako kombinace tří pásem a to červené, zelené a modré, tzv. RGB. Porozumění multispektrálním snímkům vyžaduje znalost interpretace spektrální odrazivosti pro jednotlivé cíle zachycené na snímcích (Chin, 2001).

Tento druh snímkování kombinuje dva až pět spektrálních pásem, a to viditelné spektrum (0,4 – 0,7 μm), infračervené záření blízké (NIR; 0,7 – 1 μm), krátkovlnné infračervené záření (SWIR; 1 – 1,7 μm), infračervené záření střední (MWIR; 3,5 - 5 μm) a dlouhovlnné infračervené záření (LWIR; 8 – 12 μm) do jednoho systému. Do těchto elektro-optických/infračervených multispektrálních systémů používaných pro průzkum nebo sledování krajiny jsou instalovány světlocitlivé senzory spolu s infračervenými senzory. Viditelné spektrum NIR a SWIR se řadí mezi elektro-optické pásma, které využívají pro zobrazení světlo odražené od zobrazovaného objektu. MWIR a LWIR tvoří skupinu termo neboli infračervených pásem, které vykreslují sílu radiace, kterou objekt vyzařuje (Coffey, 2012).

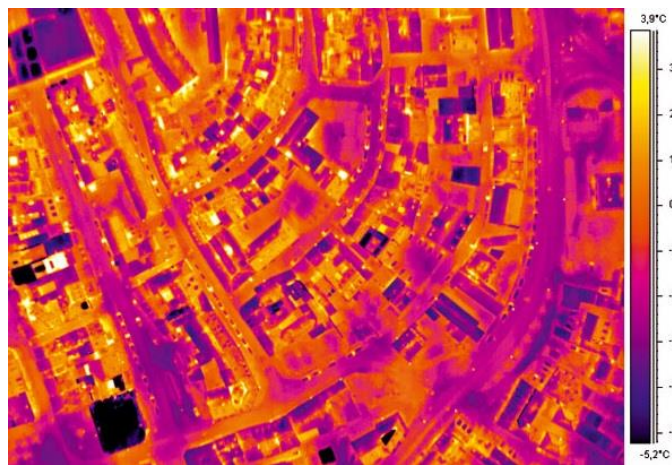
Candiago (2015) se se svým týmem zaměřil na zkoumání kvality vegetace prostřednictvím multispektrálního snímkování pomocí UAV. Pro účely provedení mise byla vybrána hexakoptéra ESAFLY A2500_WH a na ní instalován senzor Tetracam ADC Micro. Ten zachytává tři spektrální pásma a to zelené, červené a NIR. Objektem snímkování bylo rajčatové pole a vinná réva. Vytvořené ortofoto sloužilo k posouzení vitality rostlin prostřednictvím vegetačních indexů. Na obr. č. 10 jsou znázorněny rozdíly mezi NDVI (normalizovaný diferenční vegetační index), GNDVI (zelený normalizovaný diferenční vegetační index) a SAVI (očistěné půdy vegetace index). Výsledky ukázali rozdíly ve vitalitě rostlinstva až 30%.



Obrázek č. 10 Rozdíly mezi NDVI, GNDVI a SAVI (URL 10)

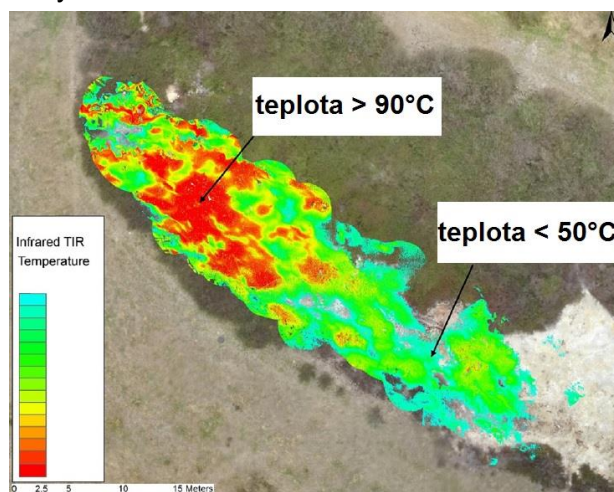
Termovizní snímkování

Termovize neboli termovizní snímkování je metoda bezkontaktního měření povrchové teploty snímkaných objektů. Senzor termovizní kamery zachytává elektromagnetickou radiaci vyzařovaným objektem. Pro správné získávání termovizních dat je nutné dodržet několik zásad. Je potřeba mít kvalitní termovizní kameru, důležité je stanovení účelu termovizního snímkování. Nesmíme zanedbat povětrnostní podmínky a dobu snímkování, zda se jedná o snímkování denní nebo noční. Na obr. č. 11 vidíme termovizní snímek intravilánu města. Rozsah stupnice snímané teploty se pohybuje od -5,2 do 3,9 °C.



Obrázek č. 11 Termovizní snímek intravilánu města (URL 11)

Nishar (2016) se ve své práci zaměřil na mapování geotermálních polí v oblasti Wairakei - Nový Zéland. Mapování geotermálních oblastí za pomoci UAV bylo pro jeho tým nelehkým úkolem. Manipulace s UAV při silném větru v kombinaci s parami ztěžovala pořízení kvalitních snímků. Snímkování bylo prováděno za pomoci kvadrokoptéry Blade 350 QX2 a termo kamery FLIR Tau 320. Letoun je schopen odolávat větru o síle 20 km/h. Na obrázku č. 12 je znázorněná reprezentace jednotlivých barev.



Obrázek č. 12 Termovizní snímek geotermální oblasti (URL 12)

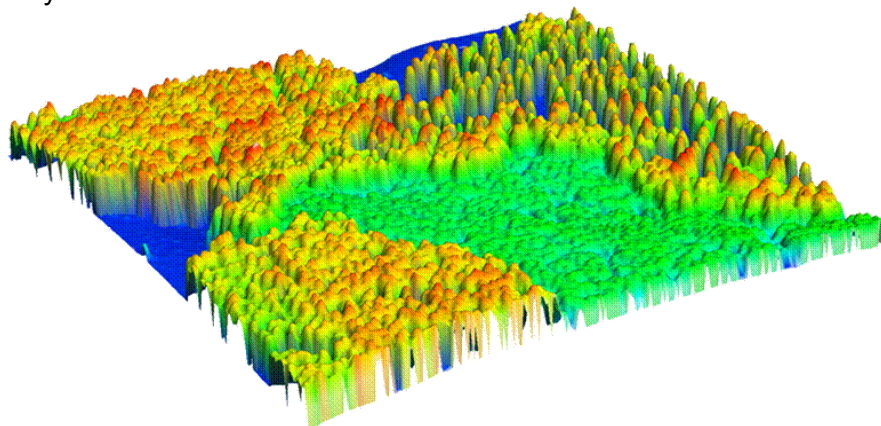
LiDAR data

LiDAR (Light Detection and Ranging) je laserový skener využívaný v DPZ. Toto zařízení se stalo velmi populární pro získávání prostorových dat ve vysokém rozlišení, znázorňující nadmořskou výšku skenovaného povrchu. Topografie zemského povrchu je vykreslována na základe měření času, který urazí laserový paprsek od skeneru k objektu na zemi a následně je oražen zpátky ke skeneru (Jensen, 2007).

Na rozdíl od letecké fotogrammetrie, LiDAR vytvoří mračno polohově a výškově definovaných bodů. Hustota těchto bodů se standardně pohybuje od 4 do 20 bodů na 1 m². Cena senzorů pro UAV se pohybuje od 50 do 200 tisíc korun. Jedním z volně dostupných softwarů pro vyhodnocování LiDAR dat je software BCAL LiDAR. Na obr. č. 13 je ukázka DMP krajiny mapované pomocí technologií LiDAR.

Data jsou využívány v mnoha environmentálních odvětvích jako tvorba digitálního modelu terénu krajiny a infrastruktury, měření lesního pokryvu nebo výpočet záplavových zón. Spojením LiDAR a DPZ dat jsou zkoumány vlastnosti lesních struktur, rozmanitost druhu, odhadu dřeva určeného k spotřebě, vyhodnocování lesních pohárů nebo klasifikace pobřežních oblastí a mokřadů. V urbanizovaném území nalezne LiDAR využití v LULC klasifikaci – krajinné využití / krajinný pokryv (land use/land cover) nebo v 3D modelování (Awrangjeb, 2010).

Wallance (2012) se se svým týmem zabýval mapováním území za pomoci dostupných UAV systému spolu s instalovaným senzorem typu LiDAR. LiDAR senzor byl instalován do spodní části oktokopty Droidworx AD-8. LiDAR senzor značky Ibeo LUX má dosah laseru do 200m. Maximální uhel snímání je 110°. Ibeo LUX dokáže vyslat tři laserové impulzy během jedné vteřiny při určení polohy s přesností 4 cm. Nízká váha kolem 1kg a spotřeba energie dělají z Ibeo LUX senzoru ideální přístroj pro využití sběru dat kombinací UAV a LiDARu.



Obrázek č. 13 DMT vytvořen z LiDAR dat (URL 13)

3.3. Fotogrammetrie

V následující části jsou popsány různé způsoby sběru dat. Jednotlivé možnosti mají své výhody i nevýhody. Cílem je pokusit se je určit a popsat. Zaměříme se na družicovou a leteckou fotogrammetrii. Dále také na hlavní část a to na způsob sběru dat distančním monitoringem pomocí UAV.

3.3.1. Letecká fotogrammetrie

Letecká fotogrammetrie patří mezi první způsoby sběru velkoformátových fotogrammetrických dat. Využití letecké fotogrammetrie je velmi rozsáhlé. Letecká fotogrammetrie je jednou s možností mapování terénu velkých měřítek, lesnictví, průzkumu vojenských oblastí nebo také území, které je předmětem ochrany životního prostředí.

V dnešní době se k snímkování využívají digitální fotokamery. Tyto kamery fungují na základe snímání odraženého elektromagnetického záření, které je zachyceno a číselně znázorněno díky CCD čipu. Letecké snímky musí pro následné vyhodnocení splňovat určitá kritéria. Jednou z hlavních podmínek je dodržet vhodný překryv jednotlivých snímků a to jak podélný tak příčný. Dále musí být jasně stanovená kvalita a schopnost rozlišení, v jaké se snímky budou pořizovat (Pavelka K. , 2009).

Nejznámější velkoformátovou fotogrammetrickou kamerou je na obrázku č. 12 kamera UltraCam D (viz obr. č. 14). Kamera se skládá z osmy objektivů a její rozlišení je 11750*7500 megapixelu. Rozměr jednoho pixelu je 0,009 mm. Rozměr odpovídající jednomu pixelu je při letové výšce 500m nad terénem je 5cm v oblasti terénu. Čas mezi pořízením snímků je pouhých 0,75s. Velikost překryvu může být díky této rychlosti libovolná. Velikost paměti je 1,5 TB co představuje přibližně 2700 obrazových záznamů (Kožuch, 2011).



Obrázek č. 14 Kamera UltraCam D (URL 14)

3.3.2. Družicová fotogrammetrie

Data pořízená pomocí umělých družic země jsou získávána měřeními fyzikálních jevů jako elektromagnetické záření, silových magnetických nebo gravitačních polí nebo také seizmických vibrací a vlnění. Díky své vysoké výšce nad zemským povrchem jsou družice schopné snímat velkou část zemského povrchu najednou. Družice mohou sloužit jako nosiče zařízení pro sběr fotogrammetrických dat. Jedná se o radiometry, skenery, kamery nebo senzory. Naměřená data se rádiovým spojením posílají do pozemní stanice k uživatelům (Čerňanský & Kožuch, 2002).

Nevýhodou družicových snímků je náročná dostupnost družicových dat. Cena snímků pořízených družicí Landsat se pohybuje od 15000 do 60000,- Kč. Snímky z družice Landsat 7 jsou multispektrálního charakteru, sedmi spektrálních pásy. Například snímek o rozměrech 50x50km území stojí v nejzákladnější verzi kolem 15000,- Kč (FitzGerald, 2016).

V dnešní době se na oběžné dráze naší planety nachází celá řada družic, práce uvádí družice obsahující multispektrální nebo hyperspektrální senzory. Družice NOAA obsahuje 5 pásmový multispektrální radiometr AVHRR. Družice LANDSAT 5, 6, 7 a v dnešní době už i 8. Družice SPOT 1 - 5 od roku 1986 - 2001. Družice IRS, RESURS, japonská JERS (7 pásem), EARTHWATCH (PAN) a QuickBird (PAN). (Železný, 2007)

Družice Landsat 7 slouží také jako nosič pro multispektrální skener, který zachytává osm spektrálních pásem. Viditelné spektrum (RGB), čtyři infračervené spektra a panchromatické pásmo. NIR pro stanovení vegetačních indexů. SWIR pro zaznamenávání vlhkosti půdy a sněhové pokrývky. TIR využívané k zjišťování teplotního vyzařování. SWIR 2, které slouží k určení geologické složky země ale nevhodné pro studii vegetace. Jako poslední panchromatické černobílé data (Pavelka K. , 2016).

Souza (2013) se svým týmem se zaměřili na studii odlesňování Amazonského pralesu. Díky deseti letým snímkům z družice Landsat vyhodnocovali rozsah odlesňování. Snímky pořízené od roku 2000 do roku 2010 ukázaly značný rozsah přeměny lesních pozemků na zemědělskou půdu důsledkem lidské činnosti. Během deseti let bylo zničeno přibližně 50800 km² lesa důsledkem těžby dřeva a lesních požárů.

3.3.3. Fotogrammetrie pomocí UAV a neměřické fotokamery

V dnešní době patří distanční monitoring pomocí UAV k nejdostupnější formě sběru fotogrammetrických dat. Snímkování země pomocí UAV je časově efektivní a finančně nenáročné. Využití bezpilotních fotogrammetrických systémů přináší mnoho výhod i přesto, že poskytují méně přesné data jako tradiční geodetické práce.

Mapování pomocí UAV umožňuje skvělé manévrování a jednoduše se dostane do různých nedostupných terénů a výšek. Takto metoda je také bezpečnější, protože pilot není fyzicky přítomen na palubě letounu. UAV monitoring na rozdíl od ostatních metod dovoluje provádět leteckou misi v blízkosti budov a objektů. Díky této výhodě můžeme získat detailní snímky pro revizi, inspekci nebo také pro průzkumy. Výhodou UAV je schopnost vzlétnout a přistát na libovolném místě. Velké plus je také nízká hlučnost letounu. To dovoluje získat data z chráněných území, obytných oblastí nebo provádět měření v blízkosti zvířat.

Distanční monitoring pomocí UAV se stává velmi významným v oblasti environmentálních disciplín. Sběr dat pro tyto účely je díky dostupnosti a možnosti se zaměřit na danou lokalitu vysoce prospěšný. Na rozdíl od letecké nebo družicové fotogrammetrie, UAV monitoring je zaměřen na pozorování oblastí malých měřítek.

3.4. Provedení fotogrammetrické mise pomocí UAV a neměřické fotokamery

V následující části se zaměříme na principy pořizování fotogrammetrických snímků pomocí UAV a neměřické fotokamery. Uvedeme si hlavní prvky provedení fotogrammetrické mise nezbytné k správnému vyhodnocení naměřených fotogrammetrických dat.

3.4.1. Kalibrace fotokamery

Jednou z prvních prací vedoucí k pořízení co nejpřesnějších a nejkvalitnějších fotogrammetrických podkladů je kalibrace fotokamery. Kalibrace slouží k definování vlastností kamery určenou k snímkování. Tyto tzv. prvky vnitřní orientace fungují jako ID kamery při vyhodnocování naměřených dat. Každá kamera má parametry a to: konstantu komory, polohu hlavního snímkového bodu, zkreslení

a rozličné přídavné parametry. Cílem kalibrace je tyto vlastnosti definovat a zohlednit je při vyhodnocování snímků. K tomu nám slouží kalibrační metody a to laboratorní kalibrace, kalibrace pomocí testovacího pole a simultánní kalibrace (Zhang & kol., 2010).

Při vyhodnocování fotogrammetrických snímků pak zohledňujeme výsledky kalibrace. Ruzgiene (2015) se svým týmem vyhodnocovali data v softwaru Pix4D. Program prvky vnější orientace zohledňuje a optimalizuje dle nich výsledný model.

Další účinnou metodou je použití vlíčovacích bodů. Funkce vlíčovacích bodů spočívá v určení identických bodů na dvou rozličných snímcích. Vlícovací body zprostředkovávají vztah mezi dvěma snímky nebo vztah mezi snímkem a terénem. Pro tvorbu vlíčovacích bodů platí několik zásad. Body musí být jasně identifikovatelné na snímku i v terénu. Jednotlivé body se odměří a určí se jejich geodetické souřadnice. Body musí také ležet na úrovni snímkaného terénu. Není vhodné umístit vlícovací body na střechy budov nebo objektů. Pro správné vyhodnocení snímků je potřeba znát nejlépe čtyři vlícovací body na jednom snímku. Důležité je i jejich prostorové rozložení a vhodný výběr velikosti a barvy signálů. Rozdělujeme přirozené signály (rohy budov, křižovatky cest) a umělo signalizované body (čtvercové, kruhové, křížové).

3.4.2. Optimální výška a rychlost letu

Nutnost dosažení co nejlepšího rozlišení předchází stanovení optimální rychlosti a výšky letu UAV. Díky vhodnému nastavení pak nedochází k například k rozmazání snímku. Výška letu se určí ze vztahu mezi konstantou fotokomory a požadovaného měřítka konkrétního projektu. Potřebné je také určit potřebný překryv jednotlivých snímků a to jak podélný tak příčný. Optimální podélný překryv se volí od 60% do 80%. Minimální příčný překryv je 40% a víc. Pro dodržení tvorby stanovených překryvů je nutné znát čas závislý na rychlosti letu, kdy je snímek pořízen.

Pro správné vyhotovení snímku je nutné určit nejdelší možný expoziční čas, při kterém nedochází k mazu snímku. Ten lze zjistit nejlépe samotným testováním dané výšky, rychlosti letu a různými nastavením uzavírky fotokamery. Optimální nastavení je při rychlosti 2 - 3 m/s je kolem 1/200s. Vše záleží od konkrétních parametrů fotokamery.

Su a Chou (2015) zvolili při své práci 80% podélný a 70% příčný překryv. Při letové výšce 286 m byla pozemní rozlišovací vzdálenost snímku 10 cm/pixel. Ohnisková vzdálenost použité kamery byla 5 mm. Rychlost letu letounu byla přibližně 45 km/h. Pozemní rozlišovací vzdálenost se vypočte dle vzorce:

$$PRV = ps * (H/c)$$

Kde: PRV = pozemní rozlišovací vzdálenost, ps = (CCD velikost pixelu), H = letová výška a c = ohnisková vzdálenost kamery.

3.4.3. Waypoint body

Pod pojmem waypoint body si můžeme představit síť polohově i výškově definovaných bodů. Tyto body se určí před provedením fotogrammetrické mise v příslušném softwaru. Síť waypoint bodů určují dráhu letu bezpilotního leteckého zařízení. Jednotlivé body jsou určovány na základě potřeby zachycení snímku. Waypoint bod je zároveň bod nebo místo kde kamera v daném okamžiku pořídí snímek. Díky navigační soustavě GPS letoun provede misi rychleji a přesněji. Výsledkem jsou snímky pořízené v předem stanovené kvalitě a měřítku. Navíc snímkování pomocí waypoint autonomního letu je z pohledu uživatele i časově méně náročné.

K plánování fotogrammetrické mise nám slouží několik softwarů. Ruzgiene (2015) se svým týmem provedli plánování v prostředí softwaru Mission Planner. Software pracuje s digitální mapou území. Na základě námi určeného území a stanovených parametrů dokáže provést výpočet dráhy a waypointů.

Su a Chou (2015) ve své práci využili k plánování fotogrammetrické mise waypoint body. Na obrázku č. 15 je názorná ukázka rozložení waypoint bodů.



Obrázek č. 15 Rozložení waypoint bodů (URL 15)

3.5. Vyhodnocování UAV snímků pomocí software

Zájem o využívání UAV pro fotogrammetrické účely se v posledních letech významně zvýšil. Vývoj UAV spolu s technologiemi digitální fotogrammetrie výrazně zefektivňují sběr dat. Během fotogrammetrické letecké mise letoun pořídí stovky snímků, ty je nutno vyhodnotit a následně analyzovat (Ruzgiené & kol., 2015). K tomu nám slouží několik typů softwarů, které si představíme a popíšeme jejich funkce a vlastnosti.

3.5.1. Pix4D

Zpracování UAV snímků pomocí softwaru Pix4D spočívá v algoritmu, který vyhledá identické vlíčovací body které použije pro georeferencování. Přibližná pozice kamery se pak využívá k určení orientaci jednotlivých snímků. Vlíčovací body jsou použity pro koordinaci 3D prostoru. Ten může být použit jako podklad pro tvorbu DMT, DMR nebo DMP. Protože Pix4D je zcela webová služba není žádný z těchto kroků námi viditelný. Celý proces zpracování se odehrává u dodavatele. Uživatel musí jenom nahrát své snímky, které mají být zpracovány prostřednictvím internetu na stránky Pix4D a čekat na výsledek. Ten obsahuje finální výstup a zprávu o přesnosti s jakou byl vytvořen (Turner, 2014).

V internetové aplikaci Pix4D při nahrávání snímku určíme také polohu vlíčovacích bodů. Pro každý bod definujeme souřadnice v jednom z GNSS systémů. Následně nahrajeme data na vzdálený server, kde proběhne výpočet. Náhled a informace o přesnosti jsou zcela zdarma. Dále je možno zakoupit profesionální ortofoto, výškový rastr nebo 3D model. Trial verze platná 15 dní je zdarma, placená verze například na jeden rok stojí 3500 \$.

3.5.2. Aerogis

Aerogis vytvořen firmou Giscat tak jako Pix4D převádí digitální letecké snímky na fotogrammetrické produkty jako ortofoto, digitální model povrchu, 3D model a mapy ve vysokém rozlišení. Software je schopný pracovat bez jakýchkoli podkladů kromě samotných snímků. Není nutné merit pomocí GPS nebo jinými metodami. Software pracuje na základe algoritmu s názvem Bundler. Ten je schopen z neorientovaných snímků vytvořit 3D model objektu. Na základe

dostatečného počtu snímků a překryvů je Aerogis schopný určit prvky vnější ale také i vnitřní orientace kamery. Algoritmus Bundler je využíván i v mnoha jiných programech pro zpracování dat pořízených pomocí UAV. Tak jako i Pix4D tak i Aerogis pracuje formou nahrání snímků na vzdálený server, výpočet je prováděn firmou Aerogis, výsledný produkt je nám pak zaslán nebo zpřístupněn ke stažení prostřednictvím internetu (Kremmers, 2016).

3.5.3. Icaros

Společnost Icaros založená v roce 2004 poskytuje celou řadu mapových služeb. Jejich společnost poskytuje tak jako Pix4D nebo Aerogis služby pro tvorbu mapových děl, ortofoto snímků, DMP, DMR nebo 3D model. Disponují zařízeními, které snímají pět druhů elektromagnetického spektra. Mezi jejich činnosti patří také výroba vlastních kamer nebo UAV systémů. Tak jako předešlé dvě společnosti i Icaros vyhodnocuje UAV snímky a to také prostřednictvím internetu pomocí vzdálených serverů. Výpočet probíhá také za asistence pracovníka firmy Icaros.

Roční licence základního balíku Icaros OneButton je nyní zcela zdarma. Pořízené snímky nahrajeme spolu se souřadnicemi vlíčovacích bodů. Cena neomezené licence balíku OneButton Professional je 7995 \$.

3.5.4. Dronemapper

Společnost založená v roce 2013 v Cedaredge v Coloradu. Systém pracuje stejným způsobem jako předešlý dodavatelé. Snímky nahrajeme přes internet na vzdálený server, kde následně probíhá výpočet za asistence pracovníka firmy Dronemapper. Výsledný produkt v podobě DMP, DMR, ortofota nebo 3D modelu je nám zaslán zpátky.

Založení účtu na stránce firmy Dronemapper je podmíněné platbou 250 \$. Firma vám za tuto částku zabezpečí až 3 hodiny konzultace o metodice, jak správně provádět fotogrammetrickou misi. Uživatel se může rozhodnout, zda tyto informace potřebuje. V případě, že se uživatel rozhodne tyto konzultace neprovádět, peníze se přesunou na jeho účet pro pozdější využití. Cena vyhotovení se odvíjí od pozemní rozlišovací vzdálenosti snímků. Cena se pohybuje od 20 - 100 \$ pro území menší než 1 km. Pro území do 3 km se cena pohybuje od 60 - 300 \$ v závislosti od PRV od 5 - 1 cm.

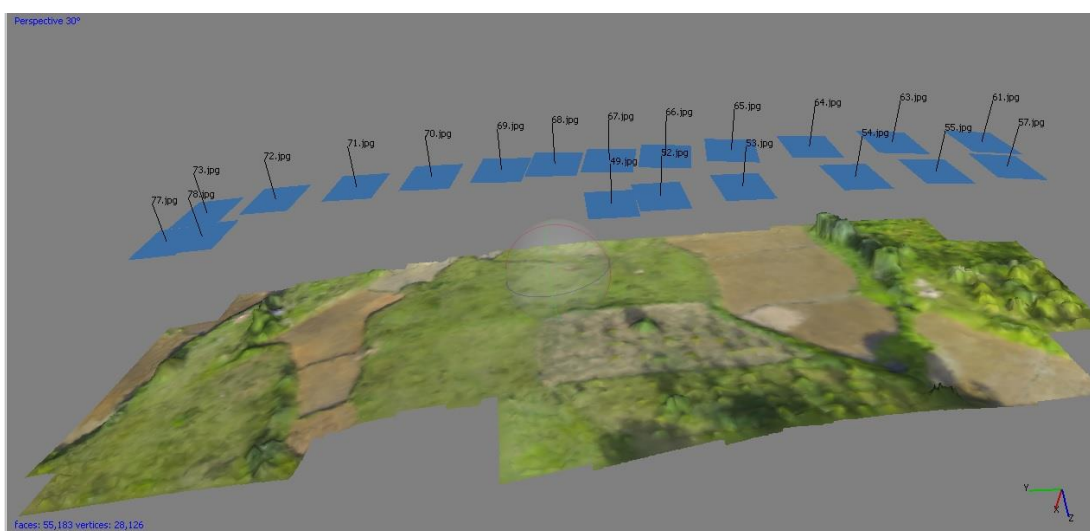
3.5.5. PhotoModeler Scanner

PhotoModeler Scanner poskytuje nástroje pro vytváření přesných a vysoce kvalitních 3D modelů a ortofot. Je možné vytvářet DMP a to téměř v automatickém režimu. Software vyžaduje jenom parametry fotokamery. Software je dokonce schopen tyto parametry vypočítat sám, nevýhodou je ale nižší přesnost. Dále uživatel nahraje snímky a spustí automatizovaný proces vyhledávání identických bodů. Následně je uživatel schopen vytvořit DMP nebo ortofoto a to v reálných barvách terénu. Licence na 10 dní je v dnešní době bezplatná. Cena balíku s neomezenou licencí je 2495 \$.

3.5.6. Agisoft PhotoScan

Tento software funguje na zcela identické bázi jako PhotoModeler. Dokáže vytvářet ortofoto nebo DMP z fotogrammetrických dat. Software hledá identické body snímků také zcela automaticky. Pozemní vlíčovací body není nutné vytvářet. Software vypočte polohu snímacího zařízení díky algoritmu samostatně. Poloha kamery jako také její parametry je ale také možné vkládat manuálně. Textura je také vytvářena v reálných barvách terénu. Na obr. č. 16 je názorná ukázka vytvořeného DMP v prostředí softwaru Agisoft PhotoScan. Snímky byly nahrány bez kalibrace fotokamery a souřadnic vlíčovacích bodů nebo polohy fotokamery. Výpočet probíhal automaticky. Uživatel určí parametry jako přesnost a hustota bodů.

Software Agisoft PhotoScan je jedním z nejdostupnějších. Cena základního balíku je 179 \$. Pro studijní účely je možné si stáhnout demo verzi bezplatně.



Obrázek č. 16 DMR vytvořen softwarem Agisoft PhotoScan (vlastní zpracování)

3.6. Grafické výstupy v GIS

V této části si představíme jednotlivé výstupy, které můžeme vytvořit z naměřených snímků prostřednictvím např. UAV. Postupně si představíme ortofoto snímky, DMR, DMT, DMP a 3D model terénu. Zaměříme se také na využití jednotlivých modelů.

3.6.1. Ortofoto snímky

Digitální ortofoto je pro práci jak se současnou tak i historickou krajinou velmi prospěšné. Digitální ortofoto je produktem digitální fotogrammetrie, který vzniká z leteckých snímků pořízených pomocí DPZ. Při tvorbě ortofot je základním principem odstraňování tzv. radiálních posunů, ty vznikají důsledkem středového promítání. Tyto posuny způsobují i při malých převýšeních obrazovou deformaci. Je nezbytné tyto deformace minimalizovat co nejvíc. Pro práci s ortofotem v prostředí GIS je nutno získat co nejkvalitnější podklady pro získání co nejlepších výsledků (Pavelka K. , 2009).

Neupravené snímky bez korekcí obsahují nepřesnosti. Je nezbytné zavádět geometrické korekce. Bez korekcí není možné pracovat se snímkem jako s mapovým dílem. Díky korekcím docílíme, aby se shodoval obraz se skutečností a zachovali se uhly a délky. K odstranění radiálních posunů využíváme tři způsoby a to přímá a nepřímá geometrická transformace a použití stereodvojice snímků (Dvořák, 2014).

Přímá geometrická transformace na základě vlíčovacích bodů nebo vektorů.

Pomocí rovnic metodou per-pixel se původní obraz přetransformuje a určí se nová poloha jednotlivých pixelů. Výsledkem je obraz, který může mít chybně vykreslené uhly a obsahovat prázdná místa.

Nepřímá geometrická transformace na základe vlíčovacích bodů nebo vektorů. Postup je opačný jako u přímé geometrické transformaci. Definuje se pravoúhlý výsledný obraz a na základe inverzních transformačních rovnic se hledá v originále vzor pixelu.

Stereoskopické dvojice pozůstávají z dvou snímků stejného prostoru a objektů. Ty se vyhotovují z tzv. fotogrammetrické základnice. Zpracováním stereodvojic můžeme získat polohopis, výškopis i také ortogonalizovanou snímku.

Přesnost vyhodnocení závisí od přesnosti vlčovacích bodů a na kvalitě zavedení geometrických korekcí obrazu (Pavelka K. , 2009).

3.6.2. Digitální model reliéfu

DMR (DEM - digital elevation model) představuje soubor polohově definovaných bodů charakterizující geometrické vlastnosti reliéfu jako např. nadmořskou výšku, sklon a orientaci terénu. Tvorba DMR je významná a většina softwarů GIS obsahují modul pro jeho tvorbu. DMR je pravidelná síť (grid, raster) nebo nepravidelná trojúhelníková síť (triangulated irregular network – TIN) (Šúri & kol., 2003).

Podklady pro tvorbu DMR tvoří mračno bodů, které lze získat vektorizací topografických map nebo například LiDAR data. Tyto body se pak pomocí interpolačních algoritmů v prostředí GIS zpracovávají do rastru, TIN nebo vrstevnic. Takto vytvořený model pak dále slouží k analýze konkrétního území.

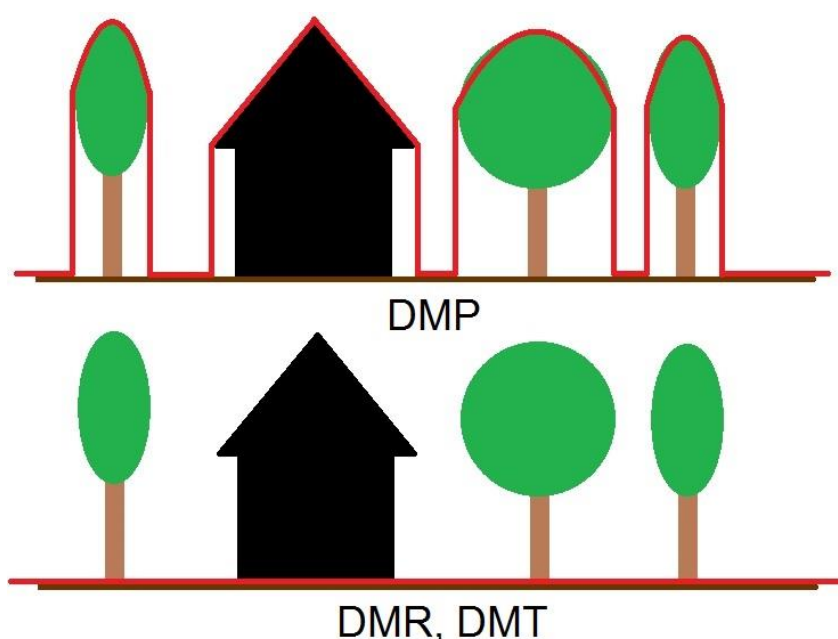
Kiedrzyńska (2008) se svým týmem analyzovali oblast lužních lesů v centrální nížinné oblasti Polska. Výzkum je zaměřen na sledování akumulace fosforu rostlinami. Velikost akumulace fosforu v tkáni rostlin v spolupráci se schopností retence lužních lesů dokáží zvýšit samočistící schopnost řek. Digitální model reliéfu, vrstevnicová topografická mapa, mapa záplavových ploch a mapa rostlinných druhů sloužili jako podklady pro vyhodnocení kapacity lužních lesů a jejich retenci fosforu. Pomocí DMR analýzy byly schopni vypočítat celkový obsah a potenciál retence fosforu v rostlinách, který dosahoval až 399 kg na 26,6 ha území.

3.6.3. Digitální model terénu

DMT (DTM – digital terrain model) je digitální vyjádření výškových poměrů rozličných bodů a objektů dané geografické lokality. Pořízená data pomocí terénních průzkumů, GPS dat, fotogrammetrie, DPZ, LiDARu a digitalizací topografických dat tvoří hlavní zdroj pro tvorbu digitálních modelů terénu. Častokrát je výška interpolována z vrstevnic z existujících topografických map. V dnešní době je tvorba DMT ze snímků a následné vyhodnocování vrstevnic běžnou praxí. Rozdíl mezi DMR a DMT spočívá v porovnání reliéfu (Kanoua & Merkel, 2016).

3.6.4. Digitální model povrchu

DMP (DSM - digital surface model) je obraz neboli raster, kde jednotlivé pixely reprezentují nadmořskou výšku jednotlivých bodů a jejich vlastností. Na rozdíl od předešlých modelů, DMP může zobrazovat budovy, stromy, mosty nebo cesty a vykreslí jejich výšky. Dostupnost stereoskopických snímků umožňuje vytvářet kvalitní DMP ve vysokém rozlišení. Ty slouží jako podklad pro mnoho aplikací v oblasti řízení přírodních zdrojů a environmentálních odvětvích. Bohužel data pořízená prostřednictvím satelitních snímků jako jsou IKONOS, Quick-Bird nebo Orb-View jsou finančně nákladná (Ugupta, 2015). Na obr. č. 17 je znázorněn rozdíl mezi MDP a DMR nebo DMT.



Obrázek č. 17 Grafické znázornění rozdílu mezi DMP, DMR a DMT (vlastní zpracování)

3.6.5. 3D model

UAV je v oblasti 3D modelování v dnešní době využívané úplně standardně. Modelují se třeba velké objekty jako budovy, mosty, stromy nebo monumenty. 3D modelování pomocí UAV se využívá také pro mapování lesního porostu nebo v archeologii. Práce potřebná na vytvoření modelu se dělí na dvě části. Nejdříve získáme snímky pomocí UAV pak následuje postprocessing a vyhodnocování snímků na specializovaných softwarech. Nedostatečné překrytí jednotlivých snímků má často fatální následky a 3D model není možné vytvořit (Liénard, 2016).

3.7. Příklady využití UAV v environmentálních odvětvích

3.7.1. Mapování vodních ploch a vlhkosti půdy

Základním principem studie životního prostředí a jeho ochrany je znalost co nejvíce aspektů krajiny kterou se snažíme zkoumat a řešit problémy, které v ní nastávají. K sledování různých vlastností nám napomáhá i mapování. Mapování můžeme rozdělit na mapování pozemní v podobě terénních průzkumů a rekognoskace. Nezbytnou částí je také mapování geodetické nebo také letecká fotogrammetrie. Je důležité mít k dispozici mapové podklady území, které je předmětem naší studie. Díky analýze topografií krajiny dokážeme problém řešit jednodušeji a rychleji.

Gamba (2015) se se svým týmem zaměřila na vývoj senzoru, který mapuje zemský povrch a určuje úroveň obsahu vody v půdě nebo vodní plochy. Senzor funguje na základe měření odražených LHCP a RHCP GNSS signálů. Tato metoda se nazývá GNSS reflektometrie. Porovnáváním dvou signálů a následným vyhodnocením je informace o vlhkosti snímané půdy. Půda s vysokým obsahem vláhy pohltí elektromagnetickou vlnu, která ji překonává s vyšší silou. Nicméně, záleží také na drsnosti a vlastnostech povrchu. Na obrázku č. 18 je názorná ukázka mapového výstupu v podobě barevných teček reprezentujících vlhkost půdy.



Obrázek č. 18 Body znázorňující půdní vlhkost (URL 18)

3.7.2. Lokalizace zdrojů znečištění

Jedním z velice zajímavým využitím UAV je lokalizace zdrojů znečištění ovzduší. GSL (Gas source localization) se využívá k monitorování geodynamicky aktivních území jako skládky odpadů, likvidace odpadů nebo zásobníky určené ke skladování plynu. Podobným způsobem jako hmyz se i UAV dron snaží najít zdroj, odkud je znečištění vypouštěno do atmosféry. Použití kvadrokoptéry má ale za následek to, že rotory snižují obsah plynu v ovzduší. Tím se měření stává obtížnější. Na spodní části kvadrokoptéry bylo instalováno plyno-citlivé zařízení na měření obsahu a typu plynu v ovzduší (viz obr. č. 19). Tohle zařízení se také nazývá elektro nos (e-nose). Díky algoritmu je dron schopen určit místo zdroje znečištění v polo automatizovaném režimu. Testy ukazují že, dron je schopen určit místo s přesností na $\pm 0,5$ m (Neumann, 2013).



Obrázek č. 19 Dron s plyno-citlivým nosem (URL 19)

3.7.3. Zkoumání lesních porostů

Mezi zkoumané vlastnosti lesních porostů prostřednictvím UAV patří mapování lesních porovových mezer, měření výšky porostu nebo také vyhledávání lesních požárů nebo chorob. Pro lesní hospodářství je nezbytné mít informace o lesích co nejaktuálnější. Podpora intenzivního hospodaření v lesích je díky UAV mapování efektivnější. Jedním z typických příkladů je použití hnojiva ve správnou chvíli na správném místě. Dalším přínosem UAV je pomoc při ovládnání hustoty stromů, která podporuje efektivní využívání lesa. Jednou z možností mapování lesního porostu je mapování pomocí Lidaru. Měření bodů o hustotě 145-220 bodů na 1 m² dokáže přesně určit místa, kde by se mělo přistoupit k prořezávce (Tang, 2015).

3.7.4. Monitoring pobřežních oblastí

V důsledku působení mořských, přírodních nebo člověkem způsobených sil trpí pobřežní oblasti degradací. Topografické změny pláží nebo písčinych dun je třeba posoudit a to jak po extrémních událostech tak i běžných stavech. Je třeba vytvářet modely na předpověď vývoje těchto oblastí. Prostřednictvím UAV fotogrammetrie dokážeme posuzovat objemové změny a morfologický vývoj pláží a písčinych dun o mnoho jednodušeji a efektivněji (Gonçalves & Henriques, 2015).

V průběhu minulého století a v posledním desetiletí utrpělo několik evropských pobřežních oblastí významnou degradaci. Ta byla způsobená hlavně stoupáním hladiny moři a silnými bouřkami a větrem. Některé písčiny pláže zaznamenali prudké morfologické změny. Některé Portugalské pláže zaznamenávají úbytek od 0,2 - 6 metrů za rok. Úbytek těchto rozměrů může vést k významné nerovnováze sedimentů a destabilizaci pláží a písčinych dun (Henriques, 2006).

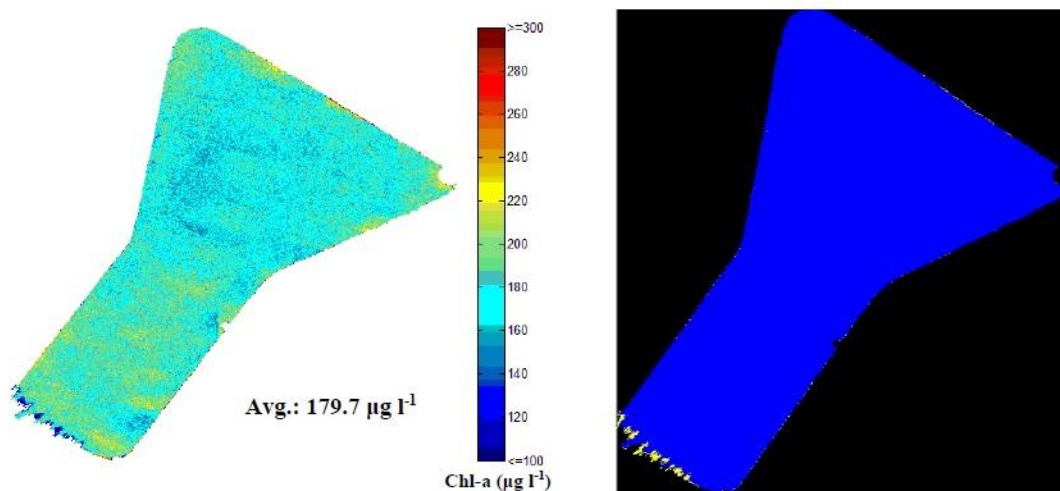
Pro efektivní řízení a zmírnění degradace pobřežních oblastí je nutné znát jejich aktuální stav. K tomu nám slouží častý průzkum a určení objemových a morfologických změn. Monitorování s využitím UAV letounů nám pomáhá určit rozsah degradace efektivněji. Měření je časově a finančně méně náročné. Výhodou jsou také nízké provozní náklady (Gonçalves & Henriques, 2015).

3.7.5. Časové sledování změn vodních ploch a jezer

Vodní plochy mají zásadní význam v krajinných ekosystémech, neboť přispívají k celkové rozmanitosti okolitých oblastí. Slouží také i k propojení horizontální a vertikální konektivity různých stanovišť. Časové sledování změn na vodních plochách je prosto důležité a zcela rozhodující při jejich vyhodnocování. Tyto změny je možné jednoduše stanovit za pomoci využití DPZ. Jeda z možností je konkrétně prostřednictvím UAV fotogrammetrie. Ekologické služby jako jsou zásobování pitnou vodou, zavlažování, rybochov nebo rekreace jsou zásobovány sladkou vnitrozemskou vodou. Ve skutečnosti globální změna klimatu značně ovlivňuje vodní ekosystémy. Zvyšuje se úroveň sucha a urychluje se proces odpařování. To vyžaduje neustálou kontrolu vodní hladiny v řekách, jezerech a vodních nádržích. Ke kvalitnímu monitorování nám může napomáhat UAV snímání vodních ploch (Canaz, 2015).

3.7.6. Mapování kvality vody

Su a Chou (2015) využil k mapování malé vodní nádrže UAV s pevným křídlem na kterém byla instalována RGB kamera Canon a NIR senzor senseFly eBee S110 . Senzor zachytává spektrum o vlnové délce od 550-850 nm. Snímky sloužili k vyhodnocování kvality vody a byli porovnáváni se satelitními daty a státní mapou. Na obrázku č. 20 jsou vykresleny multispektrální data zkoumané malé vodní nádrže. Multispektrální snímky spolu s fyzicky odebranými vzorky byly použité při odhadování kvality vody. Z jejich parametrů jako například obsah dusíku, fosforu nebo množství kalu byl stanoven Carlsnův trofický specifický index (TSI).



Obrázek č. 20 Multispektrální snímky malé vodní nádrže (URL 20)

3.7.7. 3D modelování povrchových lomů

Shahbazi (2015) a jeho tým se zaměřil na využití UAV a 3D modelování v oblasti životního prostředí. Vykonávali mapování, modelování a geodetické měření povrchových lomů. Prostředí bylo určeno na základě dvou faktorů. Prvním je náročnost a komplexnost modelování povrchových lomů. To znamená významná variace, co se týče měřítek a tvarů reliéfu. Druhým faktorem je fakt, že existuje několik důležitých a geodetických aplikací, které vyžadují co nejpřesnější 3D prostorové informace. Topografická data by měla poskytovat rozlišení bodů 1-3 cm. Cílem je předvídat nebezpečné pohyby jako např. pokles zeminy, svahové nestability nebo sesuvy půdy. Dále dokáží zefektivnit proces těžby.

3.7.8. Mapování pro geodetické účely

Ruzgiene (2015) se svým týmem prováděli fotogrammetrickou misi s letounem EPP-FPV s pevným křídlem. Byla vybrána oblast o rozloze přibližně 80 ha. Nachází se v oblasti Vilnius v Litvě. Na UAV byla umístěná kamera Canon S100 s rozlišením 4000 x 3000 pixelů. Vlícovací body byly zaměřeny s přesností ± 30 mm u z souřadnici a ± 15 mm u x a y souřadnic pomocí GPS stanice Trimble R6. Před samotným snímkováním byla provedena kalibrace kamery pro určení parametrů vnitřní orientace (ohnisková vzdálenost, velikost rámu, velikost pixelů a zkreslení). Letové dráhy tvořili šest polygonů a bylo nasnímáno spolu 184 snímků. Letová výška dosahovala kolem 150 - 300 m nad terénem. Snímky byly vyhodnocovány pomocí softwaru Pix4D. Bylo vytvořeno ortofoto a DMP. U ortofota vyhodnocení ukázalo významné skreslení a to až 3m. Software Pix4D vypočetl skreslení u vnitřní orientace až do 45 μ m.

3.7.9. Oceňování lesních pozemků

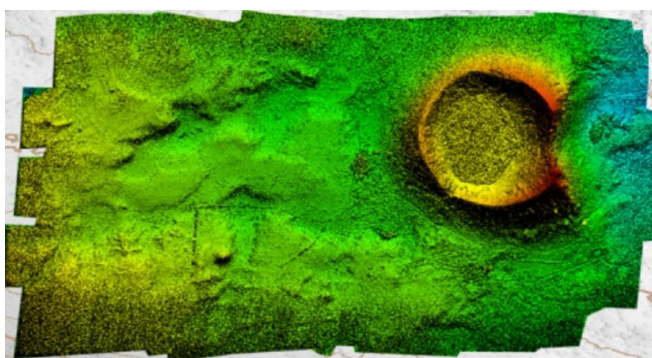
Oceňování eukalyptových lesů v Brazílii je jedním z mnoha projektů, kterými se zabývala společnost Icaros. Lesní průmysl funguje na základe znalosti informací jak kvalitativního charakteru tak i kvantitativního. Je nutno mít stále k dispozici aktuální informace o stromech, které firmy zpracovávají pro stavební účely, celulózu, těžbu palivového dřeva nebo také zpracovávání dřeva jako obnovitelný zdroj energie prostřednictvím získávání elektřiny ze stromů. Při koupi nového pozemku je nezbytné provést ocenění, ověření rozlohy, ověření vitality porostů nebo jejich nemoci. Jedině tak je možné stanovit adekvátní cenu. Lesnická firma si pro tyto účely najala právě značku Icaros. Bylo nasnímáno více než 2000 km², které tvoří kolem 200 pozemků. Snímkování bylo prováděno ve viditelném spektru (RGB) a infračerveném blízkém (NIR). Snímky byly snímány v letové výšce kolem 2700 m, s pozemním rozlišením přibližně 30 cm (Icaros, 2016).

3.7.10. Mapování půdní eroze

Mapování a výpočet půdní eroze v oblasti určené k výstavbě dálnice dlouhé 85 km v Ekvádoru bylo realizované pomocí UAV. Místní podmínky v této oblasti jsou pro výstavbu značně náročné. Klíma v kombinaci s půdními typy zvyšuje pravděpodobnost hrozby půdní eroze. Pomocí DMT byly analyzovány místa, kde bude eroze značně působit na místní svahy. Následně bylo vypočteno, v jakém rozsahu eroze nastává a zdali je pro projekt hrozbou nebo ne (Lohmeyer, 2015).

3.7.11. Archeologie

Společnost Dronemapper se podílela na projektu snímání a vyhodnocování pořízených dat z Velikonočních ostrovů v Čile. Na základě vytvořeného ortofota a DMP firma vymodelovala 3D model vulkanického kráteru Rano Raraku a archeologické oblasti. Snímky byly pořízeny prostřednictvím UAV autonomního letu v nadmořské výšce přibližně 330m nad morem. Bylo nasnímáno kolem 140 snímků a velikosti 10 mega pixelů o rozloze 3,7 km². Rano Raraku je sopečný kráter vytvořený z vulkanického popela a tufitu. Na obrázku č. 21 je ukázka DMP kráteru a přilehlé archeologické oblasti. Kráter se nachází v spodní části nejvyššího vrchu Velikonočního ostrova v národní rezervaci Rapa Nui (Mortimer, 2012).



Obrázek č. 21 DMP kráteru Rano Raraku (URL 21)

4. DISKUSE

Bakalářská práce definuje možnosti využití UAV zařízení. Slouží jako úvod k navazující diplomové práci, která se bude zabývat konkrétním vyhodnocováním a sběru dat pomocí UAV. I přesto, že práce se věnuje dané problematice teoreticky, výhody využití UAV vyplývají z práce zcela jasně. Bezpilotní letecké zařízení disponují celou radou výhod, které uživatel při své práci ocení. Stabilita letu, možnost horizontálního vzletu jsou hlavní výhodou multikoptéry. Jedinou nevýhodou je relativně krátká výdrž baterie.

Nishar (2015) se svým týmem použili k snímkování kvadrokoptéra s výdrží baterie pouhých 8 - 12 minut. To je na rozdíl od letounu s pevním křídlem použitým Su a Choungem (2015) relativně málo. Jeho maximální výdrž letu je přibližně 50 minut. To umožňuje provádět měření rozsáhlejších rozměrů na jedno nabití baterie.

Při špatně naplánované a provedené fotogrammetrické mise se může stát, že nestihneme nasnímat stanovené území. To se stalo i v našem případě, kdy se kvadrokoptéra vybila. Správnost manipulace, tvorby a vyhodnocování naměřených dat vyžaduje také jistou znalost praxe v dané oblasti.

Su a Chou (2015) ve své práci použili letadlo s pevním křídlem. Letadlo s pevním křídlem na rozdíl od multikoptéry potřebuje k letu rychlost od 40 - 90 km/h. Multikoptéra je na rozdíl od letounu s pevním křídlem schopna létat ve vzduchu prakticky při nulové rychlosti. Díky tomu je možné provést snímkování v nižší letové výšce bez toho, aby se snížila kvalita snímků. Při rychlosti 40 km/h by při nízké letové výšce docházelo k smazu snímku i při nejkratším čase expozice. Tohle hodnotím jako značnou výhodu. Čím nižší je letová výška tím lépe dosáhneme detailnější obrazový výstup.

Důležitou součástí provedení fotogrammetrické mise je kalibrace fotokamery. Harwin (2015) se se svým týmem zaměřili na rozdíly přesností mezi kalibrací pomocí testovacího pole v softwaru Lens, pozemních cílů v softwarech CalibCam a PhotoScan nebo také kalibrace prováděné softwarem PhotoScan samotným během vyhodnocování modelu. Chyba polohy bodů u kalibrace pomocí testovacího pole byla: 8,8 mm polohová a 41 mm výšková. U kalibrace pomocí pozemních cílů v prostředí PhotoScan 4,2 a 8,3 mm. V případě softwaru CalibCam 7,3 a 7,1 mm. Kalibrace vykonávána samotným programem PhotoScan během vyhodnocování dosáhla chyby 5,1 a 6,4 mm. Poloha kontrolních pozemních cílů byla určena s přesností 2 mm.

Využití UAV v geografických a environmentálních odvětvích je skutečně široké. Práce uvádí příkladů hned několik a to týmů, univerzit a firem z celého světa. To značně potvrzuje fakt, že využití bezpilotní leteckých prostředků se dostává do povědomí vědců, výzkumníků ale také vedoucích pracovníků z celého světa. Monitorování geotermálních polí na Novém Zélandu nebo predikce eroze při výstavbě dálnice v Ekvádoru jsou jen malá část uváděných příkladů globálního využití UAV. Díky dostupnosti a účinnosti se tyto prostředky stávají stále více a více využívané.

5. ZÁVĚR

Cílem práce bylo teoretické shrnutí funkce a následné aplikace bezpilotních leteckých prostředků. V úvodní části jsou uvedeny příklady využití rozličných typů UAV, především multikoptéry. Byly rozebrána jak fyzikální podstata, tak i jednotlivé typy dat, které se dají pomocí bezpilotních leteckých prostředků získat. Práce uvádí praktické příklady využití různých typů dat a letounů. Tyto informace byly čerpány z vědeckých článků, studijních materiálů univerzit a týmů z celého světa.

Pozornost byla věnována rozdílům snímkování prostřednictvím letecké, družicové a UAV fotogrammetrie. Příklady poskytují ukázkou výhod a nevýhod mezi nimi. Dále je rozebrána problematika vyhodnocovacích softwarů a výstupů v GIS, kde se také uvádí příklady jejich využití v environmentálních odvětvích. Práce poukazuje na stoupající trend v jejich vývoji a využití. Z práce vyplývá pozitivní přínos aplikace těchto zařízení. UAV je pro účely sběru prostorových dat velice vhodné.

6. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

- Awrangjeb, M. (1. 9 2010): Automatic detection of residential buildings using LIDAR data and multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 457-467. Online: https://www.researchgate.net/publication/229346881_Automatic_detection_of_residential_buildings_using_LIDAR_data_and_multispectral_imagery
- Canaz, S. (1. 12 2015): Automatic boundary extraction of inland water bodies using LiDAR data. *Ocean & Coastal Management*, 158-166. Online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569115002148>
- Candiago, S., & kol. (2015): *Remote Sensing*. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images, Online: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/4/4026>
- Coffey, V. C. (1. 4 2012): *The optical Society*. Multispectral Imaging Moves into the Mainstream, Online: http://www.osa-opn.org/home/articles/volume_23/issue_4/features/multispectral_imaging_moves_into_the_mainstream/
- Colomina, & Molina. (1. 6 2014): Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79-97. Online: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0924271614000501>
- Čerňanský, J., & Kožuch, M. (2002): DIGITÁLNA FOTOGRAMETRIA – EFEKTÍVNA METÓDA ZBERU PRIESTOROVÝCH ÚDAJOV PRE GIS, Online: <https://gis.fns.uniba.sk/projekty/hron/pl2002.pdf>
- Dobrovolný, P. (2016): Spektrální chování objektů, Online: https://is.muni.cz/www/680/7404989/prednasky_dpz/DPZ_03_spektralni_chovani.pdf
- Dvořák, M. (2014): Ovlivnění krajinné struktury Urbanické brázdy těžbou štěrkopísků, Online: http://geography.upol.cz/soubory/studium/dp/2014-rg/2014_Dvorak.pdf
- Eisenbeiss, H. (2004): A MINI UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV): SYSTEM OVERVIEW AND IMAGE ACQUISITION, Online: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-W1/papers/11.pdf>
- FitzGerald, C. (2016): ERA-MAPTEC REMOTE SENSING PRODUCTS & SERVICES, Online: http://www.era.ie/Price_List.pdf
- Gamba, M. T. (10. 11 2015): *Sensors*. Prototyping a GNSS-Based Passive Radar for UAVs: An Instrument to Classify the Water Content Feature of Lands, Online: <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/11/28287>

- Ginzler, C., & Hobi, M. (13. 4 2015): *Remote Sensing*. Countrywide Stereo-Image Matching for Updating Digital Surface Models in the Framework of the Swiss National Forest Inventory, Online: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/4/4343>
- Gonçalves, J., & Henriques. (1. 6 2015): UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101-111. Online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271615000532>
- González, V. I., & kol. (1. 1 2016): Spatial discretization of large watersheds and its influence on the estimation of hillslope sediment yield. *Hydrological Processes*, 30-39. Online: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.10559/abstract>
- Harwin, S., & kol. (17. 9 2015): The Impact of the Calibration Method on the Accuracy of Point Clouds Derived Using Unmanned Aerial Vehicle Multi-View Stereopsis. *Remote Sensing*. Online: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/9/11933>
- Henriques. (2006): *Monitorização da zona costeira tendo em vista a sua vulnerabilidade. Aplicação à zona noroeste de Portugal*. Online: http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20140430_fsancho_653566132537f0d7f82ecf.pdf
- Chang, C.-C., & kol. (1. 2 2016): Development of a multicopter-carried whole air sampling apparatus and its applications in environmental studies. *Chemosphere*, 484-492. Online: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0045653515300291>
- Chin, L. S. (2001): Interpretation of Optical Images, Online: http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/opt_int.htm
- Icaros. (17. 3 2016): Online: <https://www.icaros.us/>
- Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective, 2nd Edition*.
- Kanoua, W., & Merkel, B. (1. 2 2016): Modification of a digital elevation model (DEM) in a flat topographic area with respect to manmade features. *Geosciences Journal*, 101-115. Online: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12303-015-0020-7>
- Kiedrzyńska, E., & kol. (1. 5 2008): Quantification of phosphorus retention efficiency by floodplain vegetation and a management strategy for a eutrophic reservoir restoration. *Ecological Engineering*, 15-25. Online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857407002078>
- Kolář, J. (1997). *Dálkový průzkum země*. Praha: ČVUT ISBN 80-01-01567-X.
- Komeštková, P. (2006): VEGETAČNÍ INDEXY, Online: http://gis.fzp.ujep.cz/files/0612_VegetacniIndex.pdf
- Kontogiannis, S., & Ekaterinaris, J. (1. 8 2013): Design, performance evaluation and optimization of a UAV. *Aerospace Science and Technology*, 339-350. Online:

<http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S1270963813000771>

Kožuch, M. (2011): DIGITÁLNE LETECKÉ KAMERY – VÝZNAMNÝ POKROK V KVALITE FOTOGAMETRICKÝCH VÝSTUPOV, Online : <http://gis.fns.uniba.sk/kartografickelisty/archiv/KL19/8.pdf>

Kremmers, T. (2016): *AEROGIS*. AEROGIS Image Processing Services, Online : <http://www.aerogis.de/>

Liénard, J. (1. 3 2016): Embedded, real-time UAV control for improved, image-based 3D scene reconstruction. *Measurement*, 264-269. Online: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0263224115006739>

Lohmeyer, H. (1. 10 2015): *Delta county independent*. Drones give the economy a lift, Online: <http://www.deltacountyindependent.com/drones-give-the-economy-a-lift-cms-959>

Macháčová, A. (1. 1 2006): *HYPER SPEKTRÁLNÍ METODY*. Online: http://gis.fzp.ujep.cz/files/0604_Hyperspektralni.pdf

McGarey, & Saripalli. (2013): Experimental Use of a Low Cost Autonomous Kite Plane for Aerial Photography and Reconnaissance, Online: <http://link.springer.com.infozdroje.czu.cz/article/10.1007/s10846-013-9974-8>

Mortimer, G. (30. 12 2012): *sUAS News*. Online: Easter Island Mapped by UAS: <http://www.suasnews.com/2012/12/easter-island-mapped-by-uas/>

Murray, C., & kol. (25. 3 2013): Development and Deployment of an Intelligent Kite Aerial Photography Platform (iKAPP) for Site Surveying and Image Acquisition. *Journal of Field Robotics*, 288-307. Online: <http://onlinelibrary.wiley.com.infozdroje.czu.cz/doi/10.1002/rob.21448/abstract>

Neumann, P. P. (1. 6 2013): Gas Source Localization with a Micro-Drone using Bio-Inspired and Particle Filter-based Algorithms. *Advanced Robotics*, 725-738. Online: https://www.researchgate.net/publication/263008758_Gas_Source_Localization_with_a_Micro-Drone_using_Bio-Inspired_and_Particle_Filter-based_Algorithms

Nishar, A., & kol. (1. 2 2016): Thermal infrared imaging of geothermal environments and by an unmanned aerial vehicle (UAV): A case study of the Wairakei – Tauhara geothermal field, Taupo, New Zealand. *Renewable Energy*, 1256-1264. Online: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0960148115303219>

Niu, Z., & kol. (18. 3 2015): Design of a New Multispectral Waveform LiDAR Instrument to Monitor Vegetation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, 1506-1510. Online: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7062006>

- Osborn, & Haines. (1. 2 2010): Unmanned Aerial Vehocles (UAVS) and Other Airborne Objects, Online:
http://www.narcap.org/Projsphere/narcap_ProjSph_4.2_Osborn-Haines.pdf
- Pacina, J. (2015): Geodetic surveying as part of archaeological research in Sudan, Online:
https://www.researchgate.net/publication/281314707_Geodetic_surveying_a_s_part_of_archaeological_research_in_Sudan
- Pavelka , K. (2016): Dálkový průzkum Země - DPZ, Online:
<http://lfgm.fsv.cvut.cz/data/download/dpz.pdf>
- Pavelka, K. (2009). *Fotogrammetrie 1*. Praha: ČVUT ISBN 978-80-01-04249-6.
- Rouse, M. (1. 8 2015): *Tech Target*. Online:
<http://whatis.techtarget.com/definition/drone>
- Ruzgienė, B., & kol. (1. 9 2015): The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. *Measurement*, 619-627. Online:
<http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0263224115002316>
- Shahbazi, M., & kol. (30. 10 2015): Development and Evaluation of a UAV-Photogrammetry System for Precise 3D Environmental Modeling. *Sensors*. Online: <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/11/27493>
- Siebert, S., & Teizer. (1. 5 2014): Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 1-14. Online:
<http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0926580514000193>
- Singh, K. K. (1. 11 2012): LiDAR-Landsat data fusion for large-area assessment of urban land cover: Balancing spatial resolution, data volume and mapping accuracy. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 110-121. Online:
<http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0924271612001785>
- Souza, C. M., & kol. (2013): Ten-Year Landsat Classification of Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing*. Online:
<http://www.mdpi.com/2072-4292/5/11/5493>
- Šúri, M., & kol. (2003): *Digitálne modely reliéfu a ich aplikácie v životnom prostredí*. Online:
http://geomodelsolar.eu/_docs/papers/2003more/Suri_Cebecauer_Hofierka_2003_DMR.pdf
- Tang, L. (1. 12 2015): Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, 791-797. Online:
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11676-015-0088-y>
- Tetrault, C. (2016): A Short History of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Online:
<http://www.draganfly.com/news/2009/03/04/a-short-history-of-unmanned-aerial-vehicles-uavs/>

- Tung-Ching, S., & Hung-Ta, C. (2015): Application of Multispectral Sensors Carried on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to Trophic State Mapping of Small Reservoirs: A Case Study of Tain-Pu Reservoir in Kinmen, Taiwan. *Remote Sensing*. Online: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/8/10078>
- Turner, D. (5. 5 2014): Direct Georeferencing of Ultrahigh-Resolution UAV Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Online: https://www.researchgate.net/publication/255908930_Direct_Georeferencing_of_Ultrahigh-Resolution_UAV_Imagery
- Uppgupta, S. (1. 6 2015): Estimation of Aboveground Phytomass of Plantations Using Digital Photogrammetry and High Resolution Remote Sensing Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 311-323. Online: <http://link.springer.com.infozdroje.czu.cz/article/10.1007%2Fs12524-014-0401-9>
- Úřad pro civilní letectví (25. 3 2016), Online: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/informace-souvisejici-s-provozem-bezpilotnich-letadel-a-1>
- Uto, K., & kol. (1. 4 2013): Characterization of Rice Paddies by a UAV-Mounted Miniature Hyperspectral Sensor System. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 851-860. Online: https://www.researchgate.net/profile/Kuniaki_Uto/publication/253645713_Characterization_of_Rice_Paddies_by_a_UAV-Mounted_Miniature_Hyperspectral_Sensor_System/links/00b7d5296a93639c67000000.pdf
- Verhoeven, G. J. (23. 7 2009): Providing an Archaeological Bird's-eyeView ^ an Overall Picture of Ground-based Means to Execute Low-altitudeAerial Photography (LAAP) in Archaeology. *Archaeological Prospection*, 233-249. Online: <http://onlinelibrary.wiley.com.infozdroje.czu.cz/doi/10.1002/arp.354/epdf>
- Wallace, L., & kol. (25. 5 2012): Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. *Remote Sensing*. Dostupné na Internetu: Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory, Online: <http://www.mdpi.com/2072-4292/4/6/1519>
- Whitehead, K., & kol. (2014): Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems, Online: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/juvs-2014-0007>
- Zhang, W., & kol. (1. 10 2010): Digital camera calibration method based on PhotoModeler, Online: https://www.researchgate.net/publication/251968422_Digital_camera_calibration_method_based_on_PhotoModeler
- Zischinsky, & kol. (2000): APPLICATION OF A NEW MODEL HELICOPTER SYSTEM IN ARCHITECTURAL, Online: <http://geo.tuwien.ac.at/fileadmin/editors/IPFpublications/helicopter/helicopter.pdf>
- Železný, M. (2007): DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ, Online: <http://www.kky.zcu.cz/uploads/courses/dpz/DPZ-prednasky.pdf>

7. SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK A OBRÁZKŮ

Tabulka č. 1: Rozdělení UAV dle váhy a pohonu (upraveno dle Eisenbeiss, 2009), online: : http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue_Berichte_PDF/105.pdf

Obrázek č. 1: Balon bratrů Montgolfierů, online: <http://susanonthesoapbox.com/2015/01/25/alberta-government-by-trial-balloon/>

Obrázek č. 2: Meteorologický balón, online: <http://meteoplaneta.rs/meteoroloski-instrumenti-i-osmatranja/podela-meteoroloskih-osmatranja/>

Obrázek č. 3: Polyesterový kulový balón, online: http://www.narcap.org/Projsphere/narcap_ProjSph_4.2_Osborn-Haines.pdf

Obrázek č. 4: Sensefly Swinglet Cam UAV, online: <http://www.surmap.com.my/wp-content/uploads/2013/03/senses-fly-swinglet-cam.jpg>

Obrázek č. 5: Hlavní komponenty multikoptéry, online: <http://www.sciencedirect.com/infodroje.czu.cz/science/article/pii/S0926580514000193>

Obrázek č. 6: Rozdíl mezi manuálním a autonomním letem, online: http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue_Berichte_PDF/105.pdf

Obrázek č. 7: Multikoptéra DJI Phantom 3, online: <http://www.dji.com/product/phantom-3-adv>

Obrázek č. 8: Hyperspektrální krychle, online: <http://neondatakills.org/HDF5/Imaging-Spectroscopy-HDF5-In-R/>

Obrázek č. 9: Mini-spektrometr c10988ma, online: https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/c10988ma-01_etc_kacc1169e.pdf

Obrázek č. 10: Rozdíly mezi NDVI, GNDVI a SAVI, online: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/4/4026>

Obrázek č. 11: Termovizní snímek intravilánu města, online: <http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/termovize-amoznosti-jejeho-vyuziti>

Obrázek č. 12: Termovizní snímek geotermální oblasti, online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115303219>

Obrázek č. 13: DMT vytvořen z LiDAR dat, online: http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/lidar_&_ifsar_tools.htm

Obrázek č. 14: Kamera UltraCam D, online:

http://www.samgisvasternorrland.se/dokument/ovrigt/2014-10-21%20SCA_NH_Ornskoldsvik.pdf

Obrázek č. 15: Rozložení waypoint bodů, online: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/8/10078>

Obrázek č. 16: DMR vytvořen softwarem Agisoft PhotoScan, vlastní zpracování

Obrázek č. 17: Grafické znázornění rozdílu mezi DMP, DMR a DMT, vlastní zpracování

Obrázek č. 18: Body znázorňující půdní vlhkost, online:

<http://www.mdpi.com/1424-8220/15/11/28287>

Obrázek č. 19: Dron s plyno-citlivým nosem, online:

https://www.researchgate.net/publication/263008758_Gas_Source_Localization_with_a_Micro-Drone_using_Bio-Inspired_and_Particle_Filter-based_Algorithms

Obrázek č. 20: Multispektrální snímky malé vodní nádrže, online:

<http://www.mdpi.com/2072-4292/7/8/10078>

Obrázek č. 21: DMP kráteru Rano Raraku, online:

<http://www.suasnews.com/2012/12/easter-island-mapped-by-uas/>