

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životního prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Kateřina Fialová

**Využití bezpilotních prostředků v získávání dat
o životním prostředí**

**Application of unmanned aerial vehicles
in environmental data collection**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Luboš Matějček, Ph.D.

Praha 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 22. 5. 2017

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala svému školiteli panu Ing. Luboši Matějčíkovi, Ph.D. za konzultace a odborné rady, poskytnutí laboratoře GIS a pomoc při zpracovávání získaných dat. Dále bych ráda poděkovala firmě Up Vision s.r.o. za bezplatné poskytnutí dat použitých v mé práci. V neposlední řadě bych tímto ráda poděkovala mé rodině za obrovskou podporu a trpělivost, kterou měla během celého mého studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je rozdělena na tři části. První část se věnuje popisu vývoje bezpilotních leteckých prostředků (dále jen UAV) a jejich použití v oblasti přírodních věd. Nejprve jsou zde uvedeny obecné údaje o těchto technologiích, dále pak jejich využití v environmentálních vědách. Od komerčního mapování terénu až po vědecká výzkumná měření. Hlavním využitím je snímkování pomocí multispektrálních kamer, nebo měření pomocí nejrůznějších speciálních senzorů. Druhá část pojednává o konkrétních projektech využití UAV. Součástí je odborná rešerše s uvedením odkazů na odbornou literaturu, konkrétní projekty a aktuální informace, získané s využitím Internetu. Dále je zde provedeno zhodnocení využitelnosti získaných dat pro zpracování v GIS. V třetí, závěrečné části je zpracováno několik vybraných případových studií pro demonstraci využití těchto prostředků pro sběr dat o životním prostředí. Data pro případové studie byla bezplatně poskytnuta firmou zabývající se nasazením UAV ve spolupráci s vědeckými institucemi a vysokými školami.

Klíčová slova: bezpilotní letecký prostředek, dron, dálkový průzkum Země (DPZ), mapování, monitorování, GIS, životní prostředí

Abstract

This Bachelor thesis is divided into three parts. The first part deals with the description of development of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the context of the natural sciences. Firstly there are given general existing knowledge about these technologies further, it focuses directly on their use in environmental sciences. From commercial mapping field to the scientific research of various measurement. The major use is mapping by using multi-spectral cameras or measuring by various special sensors. The second part focuses on specific projects related to the use of UAVs. This part is a professional research indicating the scientific references, specific projects and current information obtained by using the Internet. There is also an assessment of the usability of the data obtained for data processing in GIS. The third final part contains some selected case studies to demonstrate the use of these resources to collect environmental data. Data for the case studies was provided free of charge by company engaged in the deployment of UAVs in cooperation with scientific institutions and universities.

Key words: Unmanned aerial vehicles (UAVs), drone, remote sensing (RS), mapping, monitoring, GIS, environment

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	5
Abstrakt.....	6
Abstract.....	7
Seznam použitých zkratk 10	10
Seznam obrázků.....	11
1 Úvod.....	13
2 Dálkový průzkum Země.....	14
2.1 Princip DPZ.....	14
3 Bezpilotní letecké prostředky a systémy.....	16
3.1 Původ slova dron.....	17
3.2 Historie a vývoj dronů.....	17
3.2.1 První myšlenka létání.....	17
3.2.2 První bezpilotní let.....	17
3.2.3 Další uskutečněné bezpilotní lety.....	18
3.3 Bepilotní prostředky současnosti.....	19
3.3.1 Vývoj.....	21
4 Základní rozdělení.....	22
4.1 Typy dronů podle konstrukce.....	23
4.1.1 Letoun.....	23
4.1.2 Vrtulník.....	23
4.1.3 Multikoptéry.....	24
5 Použití dronů v reálném prostředí.....	26
5.1 Teplota.....	26
5.2 Srážky.....	26
5.3 Vlhkost.....	26
5.4 Vítr.....	27
5.5 Míra znečištění.....	27
6 Výhody a nevýhody využití dronů.....	28
7 Široké využití.....	29

7.1	Zábava	29
7.2	Fotografické využití.....	29
7.3	Filmové využití.....	29
7.4	Transport.....	30
7.5	Monitoring	30
7.6	Speciální monitoring a měření přidanými senzory	31
7.6.1	Měření koncentrace látek v ovzduší	31
7.7	Mapování	31
7.7.1	Ortofotomapy	31
7.7.2	3D modely	32
7.7.3	Multispektrální a hyperspektrální snímkování	32
8	Využití v ochraně přírody	34
8.1	Monitoring půdy a precizní zemědělství	34
8.2	Monitoring vodních ekosystémů	35
8.3	Monitoring a průzkum polárních oblastí	35
8.4	Monitoring divoké flóry a fauny	36
9	Vybrané zahraniční případové studie využití dronů v praxi	37
9.1	Studie tropického lesa.....	37
9.2	Zjišťování kontaminace půdy polutanty	37
9.3	Hledání archeologických nalezišť	37
9.4	Modelace terénu a jeho využití.....	38
9.5	Sledování povrchového vodního toku	38
9.6	Studium geotermální oblasti	39
9.7	Ekologie vodních ekosystémů	39
10	Ukázka zpracování získaných dat	40
10.1	Louky na Vysočině	40
10.2	Zemědělská krajina na Šumavě	41
10.3	Lom Mokrá u Brna	42
11	Diskuse a závěr.....	44
12	Bibliografie.....	46

Seznam použitých zkratk

ČÚZK	český úřad zeměměřičský a katastrální
DPZ	dálkový průzkum Země (angl. remote sensing - RS)
DMP	digitální model povrchu (angl. digital surface model - DSM)
FPV	first person view - způsob ovládání dronu pilotem pomocí kamery na dronu
GIS	geographic information system - geografický informační systém (počítačový program, který umožňuje ukládat, spravovat a analyzovat prostorová data)
GNSS	global navigation satellite system - globálního navigačního satelitního systému
GPS	global position system - globální polohovací systém
IMU	inertial measurement unit - inerciální měřící jednotka
NDVI	normalized difference vegetation index - normalizovaný diferenční vegetační index
RC	remote control - dálkové ovládání
RGB	red, green, blue - červená, zelená, modrá
RPAS	remotely piloted aircraft system - dálkově ovládané letecké systémy
SfM	structure from motion - typ fotogrammetrie pro vytv. 3D modelů z 2D
UAS	unmanned aerial systems - bezpilotní letecké systémy
UAV	unmanned aerial vehicles - bezpilotní letecké prostředky

Seznam obrázků

Obrázek 1 Spektrální křivky různých typů povrchu (upraveno podle JPL) (Copernicus, 2016)..	15
Obrázek 2 Pilot ovládá dron, který je na dohled pomocí dálkového ovládání (International Civic Aviation Organization, 2011).....	16
Obrázek 3 Kettering Bug (Wikipedia, 2016)	18
Obrázek 4 Ryanova ohnivá střela (Wikipedia, 2017)	19
Obrázek 5 Letoun MQ - 1 Predator Fotograf: LT. COL. LESLIE PRATT / HANDOUT/EPA (Arnett, 2015)	20
Obrázek 6 Zatím nejmenší nanodron na světě vyrobený firmou Morrison Innovations (2014)...	21
Obrázek 7 Model letounu s kamerou s možností FPV (Liszewski, 2015).....	23
Obrázek 8 Model vrtulníku s kamerou (Swell RC, 2017).....	24
Obrázek 9 Model kvadrokoptéry s full HD kamerou (Syma, 2016).....	25
Obrázek 10 Holandský záchranářský dron vybavený defibrilátorem (George, 2016).....	30
Obrázek 11 Ukázka multispektrálního snímkování (zleva: RGB, monochromatické, infračervené spektrum) (Homeland Surveillance & Electronics LLC, 2015).....	32
Obrázek 12 Ukázka hyperspektrálního snímkování (Wikipedia, 2017)	33
Obrázek 13 Procentuální zastoupení využití dronů v jednotlivých oblastech přírodních věd (Shahbazi, a další, 2014)	34
Obrázek 14 Ukázka obyčejné fotografie sadu (vlevo) a snímek téhož sadu s vypočteným NDVI (vpravo) (IoT Cluster, 2016), žluté zbarvení zde značí určitý nedostatek	35
Obrázek 15 Ukázka zpracování dat - ortofoto luk na Vysočině	40
Obrázek 16 Ukázka zpracování dat - termofoto zemědělské krajiny na Šumavě	41
Obrázek 17 Ukázka zpracování dat - ortofoto lomu Mokrý u Brna.....	42
Obrázek 18 Ukázka zpracování dat - digitální model povrchu lomu Mokrý u Brna	43
Obrázek 19 Ukázka zpracování dat - 3D model terénu lomu Mokrý u Brna.....	43

1 Úvod

Environmentální věda, je věda, která vědeckými metodami zkoumá zákonitosti přírody. Abychom mohli porozumět přírodě, musíme ji zkoumat a abychom ji mohli zkoumat, musíme mít data, ze kterých budeme čerpat a tyto data musíme umět získat. Dnešní doba je plná moderních technologií, které se den ode dne zdokonalují a proto je zde otázka, ne jak získat určitá data - to už umíme, ale jak je získat co nejjednodušeji a nejekonomičtěji.

Jednou z osvědčených možností sběru dat je tzv. dálkový průzkum Země (DPZ). Ten je zastoupen množstvím družic obíhajících kolem naší planety. Ale družice nejsou jedinými poskytovateli takovýchto dat. Mohou to být také pilotovaná letadla, vzducholodě, nebo bezpilotní letecké systémy (angl. unmanned aerial systems - UAS).

Bezpilotní letecké prostředky (angl. unmanned aerial vehicle - UAV), zkráceně je budeme nazývat drony, jsou prostředky, jež nám umožňují efektivní sběr různorodých dat od pouhého mapování terénu po měření toxických látek v ovzduší, získávání dat v nedostupných oblastech nebo sledování krizových událostí v reálném čase.

Bezpilotní letecké systémy představují v dnešní době nedílnou součást sběru dat. Nyní jsou drony dostupné i pro širokou veřejnost a jejich cena stále klesá a kvalita stoupá. Drony se speciálními senzory či profesionálním vybavením jsou sice dražší, přesto se ale jedná o dostupné částky.

Hlavním cílem této bakalářské práce je přiblížit veřejnosti množství pozitiv, kterými drony jako „sběrači“ dat oplývají a možnosti využití získaných dat k ochraně přírody a krajiny. Práce je zaměřena na praktické použití těchto systémů v reálných podmínkách. Technická část je zde zmíněna záměrně jen okrajově a legislativní podmínky zde nejsou uvedeny vůbec, protože zákony zatím nestačí reagovat na rychlý technologický pokrok v této oblasti.

2 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země, (DPZ) znamená získávání informací na dálku, bez přímého kontaktu s pozorovanými objekty. Definice DPZ je mnoho (Campbell, a další, 2011), (Lillesand, a další, 2004), (Tang, a další, 2014), nicméně všechny popisují jinými slovy stejnou věc. DPZ je způsob získávání informací o objektech prostřednictvím senzorů a snímků. Zpravidla se používají nosiče různých senzorů, jako jsou letadla a družice.

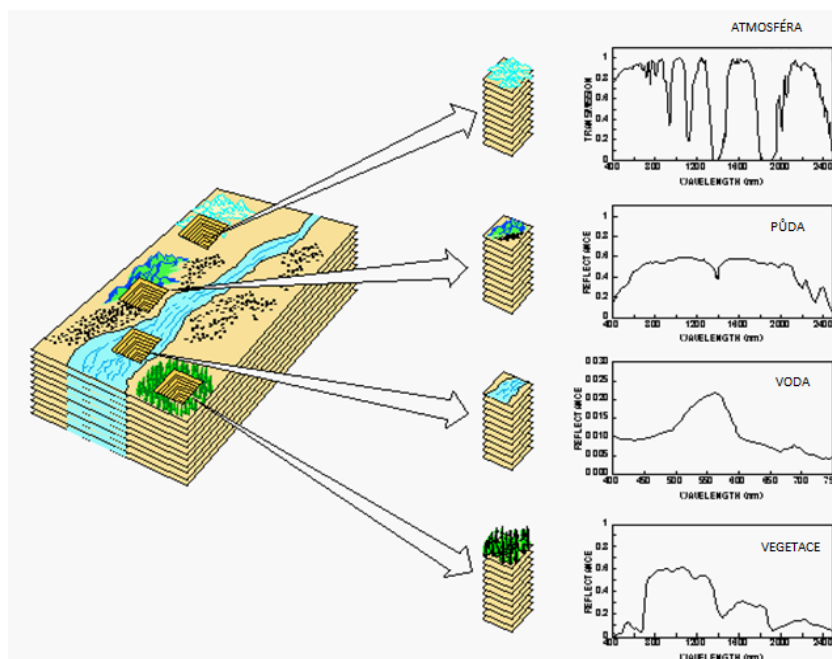
DPZ se dělí na dvě části, a to na sběr samotných dat a jejich přenos a na jejich analýzu a následnou interpretaci (Zemek, a další, 2014).

DPZ dále můžeme rozdělit ještě podle způsobu sběru dat. Jedná se o tzv. konvenční metodu, kdy výstupem jsou fotografie, nebo nekonvenční metodou, kdy výstup je tvořen obrazovým záznamem (Svatoňová, a další, 2010).

2.1 Princip DPZ

Každý objekt na Zemi je ovlivňován svým okolím a zároveň sám okolí ovlivňuje. Toto je charakteristické pro všechny objekty. Záleží na jejich typu, velikosti, barvě, teplotě a atd. Každý objekt se chová jinak, a tím o sobě poskytuje určité informace. Tyto informace jsou do okolí předávány ve formě silového pole, respektive odraženého nebo vyzářeného elektromagnetického záření, které lze změřit. A právě měření elektromagnetického pole, je podstatou DPZ (Zemek, a další, 2014), (Copernicus, 2016).

Metody dálkového průzkumu dále dělíme na pasivní, kdy zdrojem energie je Slunce a aktivní, kdy zdrojem energie je senzor (Oršulák, a další, 2012).



Obrázek 1 Spektrální křivky různých typů povrchu (upraveno podle JPL) (Copernicus, 2016)

Částí elektromagnetického spektra je záření, které je viditelné pro lidské oko. Nicméně viditelná část tvoří jen zlomek celého elektromagnetického záření a pro dálkový průzkum Země jsou podstatné i jeho ostatní složky. Jednou z velmi často využívaných je např. blízké infračervené nebo mikrovlnné spektrum. Na druhou stranu, ultrafialové záření je používáno jen ve výjimečných případech, protože u něj dochází k velkému rozptylu v atmosféře (Zemek, a další, 2014).

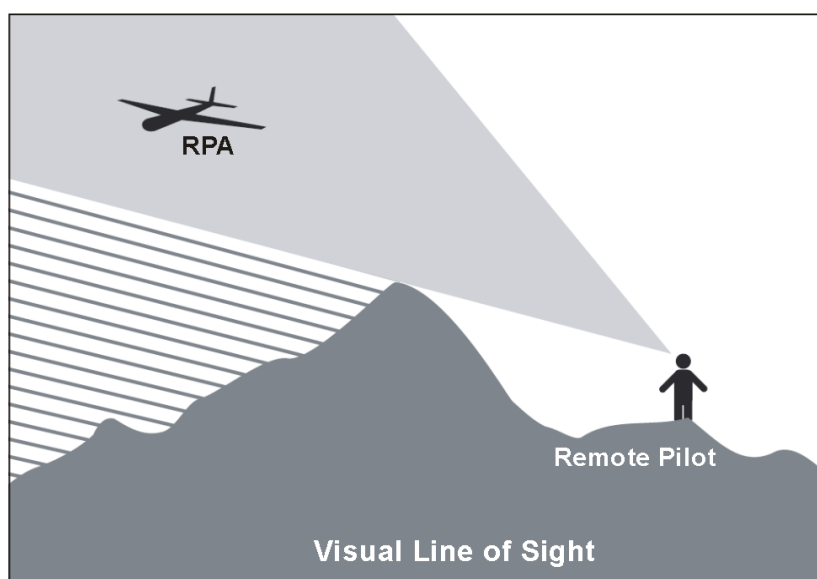
Při sběru samotných dat je nutné pořizovat i tzv. doprovodná, popřípadě i doplňková měření. Doprovodná měření se zaznamenávají v průběhu samotného letu a jedná se např. o polohu letadla, jeho výšku, rychlost a úhel náklonu. To vše je měřeno pomocí inerciální měřicí jednotky (inertial measurement unit - IMU) a globálního navigačního satelitního systému (global navigation satellite system - GNSS). Tyto informace jsou nakonec použity pro korekci získaných dat do souřadnicového systému pro snadnější a přesnější zpracování. Doplňkovými údaji jsou pak např. data zaznamenávající meteorologické podmínky, které by mohly ovlivnit měření. Pro ještě větší přesnost DPZ často probíhají tzv. podpůrná terénní měření, která probíhají na zemi. Do této kategorie patří např. měření skutečné odrazivosti daného povrchu, přesná poloha vybraných kontrolních bodů, zaznamenávání místních meteorologických podmínek aj. To vše probíhá ideálně současně se sběrem dat, pořizovaných letecky, aby se zvýšila přesnost měření (Zemek, a další, 2014).

3 Bezpilotní letecké prostředky a systémy

Označení bezpilotní letecké prostředky (unmanned aerial vehicle - UAV), či bezpilotní letecké systémy (unmanned aircraft system - UAS) je používáné především v anglofonních zemích. V Evropě se upřednostňuje pojem dálkově řízené letecké prostředky (Karas, a další, 2016).

Dálkově řízené letecké prostředky jsou často obecně pro zkrácení a zjednodušení nazývány drony (Mensuro s.r.o., 2017). Toto označení se používá zejména ve sdělovacích prostředcích a při styku s veřejností.

Jedná se o létající zařízení, na jejichž palubě není pilot. Pilot je ovládá pomocí vizuálního kontaktu ze země, nebo pomocí kamery připevněné na dronu, snímající okolí s přenosem na monitor, nebo do brýlí pilota v reálném čase, (tzv. first person view) (Karas, a další, 2016).



Obrázek 2 Pilot ovládá dron, který je na dohled pomocí dálkového ovládání (International Civic Aviation Organization, 2011)

Celý systém je pak soubor všech potřebných prvků určených k provozu a k návratu letadla, tzn. bezpilotní letadlo, řídicí stanice a spojení pro kontrolu řízení stroje (DroneWeb, 2016).

V dnešní době je možné i předem naprogramovat let tak, aby do něj pilot nemusel zasahovat a stroj se sám bezpečně vrátil (Karas, a další, 2016). Nicméně tento postup pak naráží na legislativní podmínky a podmínky letového provozu, kterými se ale v této práci nebudu podrobněji zabývat.

3.1 Původ slova dron

Slovo dron vzniklo z anglického slova *drone*, jež má mnoho významů (Karas, a další, 2016). Tento název vznikl nejspíše díky podobnosti, pravidelného zvuku motoru se zvukem včelího roje, respektive jeho samců, kteří se v angličtině nazývají právě *drones* (Harper, 2017).

3.2 Historie a vývoj dronů

3.2.1 První myšlenka létání

Samotnou myšlenkou létání se již v 16. století začal zabývat Leonardo da Vinci ve svých nákresech konstrukcí létajících zařízení. Bezpilotní létání v té době bylo nemyslitelné. Až roku 1898 si americký vynálezce srbského původu Nikola Tesla nechal patentovat tzv. teleautomatizaci, což mělo představovat dálkové ovládání motorové loďky na vodě. Až později se ukázalo, že v jeho poznámkách, byli zachyceny i myšlenky, jež se týkaly bezpilotních leteckých systémů (Karas, a další, 2016).

3.2.2 První bezpilotní let

Jako první se objevily horkovzdušné balóny bez pilotů, které byly schopné shazovat výbušniny. (V roce 1849 byly tyto horkovzdušné balóny použity při útoku Rakouska-Uherska na nepřítele v Benátkách (Karas, a další, 2016).)

První skutečné bezpilotní letadlo bylo navrženo až v roce 1916 anglickým profesorem Archibaldem Montgomerym Lowem (DroneWeb, 2016). Tento bezpilotní prostředek se jmenoval *Aerial Target*, česky Vzdušný cíl (DroneWeb, 2016). Poté následovala řada dalších úspěšných i neúspěšných pokusů o vytvoření bezpilotních systémů. Všechny byly sestrojeny za jediným účelem, a to dopravit výbušniny a zneškodnit tak nepřítele. Stejný účel mělo i americké experimentální bezpilotní letadlo s názvem Kettering Bug, které bylo schopno zasáhnout svůj cíl až 64 kilometrů od místa vzletu. Poprvé bylo úspěšně testováno na konci roku 1918 (Karas, a další, 2016).



Obrázek 3 Kettering Bug (Wikipedia, 2016)

3.2.3 Další uskutečněné bezpilotní lety

Jak už bylo uvedeno, všechny do té doby vyrobené bezpilotní systémy byly vytvořeny za jediným účelem, a tím bylo přinést výhodu v boji. Jejich vývoj byl hrazen z armádních prostředků a to je důvod, proč bezpilotní letecké systémy zažívaly největší rozvoj právě v době válečných konfliktů.

Dalším příkladem může být využití bezpilotních leteckých systémů jako cvičné terče. Průkopníkem tohoto směru bylo britské královské námořnictvo, které ve 30. letech 20. století vyrobilo bezpilotní letadlo s přezdívkou Včelí Královna, navržené Geoffreyem de Havillandem (Vintage wings of Canada, 2013).

V nácviu střelby nebyla pozadu ani americká armáda. V 50. letech 20. století používala drony nazývané Ryanovy ohnivé včely.



Obrázek 4 Ryanova ohnivá střela (Wikipedia, 2017)

Později v 60. letech 20. století tyto drony začaly sloužit jako průzkumná letecká zařízení a lze je tedy nazvat předchůdci dnešních dronů (Karas, a další, 2016). Byly nasazeny jako průzkumná zařízení, ale získaná data sloužila opět čistě k vojenským účelům.

Koncem 20. století se věnuje pozornost především dobývání vesmíru, čímž se drony dostávají lehce do pozadí (Karas, a další, 2016).

3.3 Bezpilotní prostředky současnosti

Podle Jakuba Karase se hlavní vývoj dnešních bezpilotních systémů přesouvá do USA a Izraele, kde jejich hlavní uplatnění je opět armádní monitoring území.

V dnešní době se klade důraz na vysoké rozlišení, osazení moderními senzory a obrazový přenos v reálném čase (Karas, a další, 2016).

Jedním z nejznámějších vojenských dronů je MQ - 1 Predator, dříve známý pod označením RQ - 1 Predator (DroneWeb, 2016). Tento bezpilotní letoun poprvé vzlétl v roce 1994 a dodnes je využíván americkým letectvem pro průzkumné akce v oblastech válečných konfliktů (airforce-technology.com, 2017). Avšak tragédie 11. září roku 2001 ve Spojených Státech znamenala pro tento dron změnu a z dříve čistě průzkumného bezpilotního prostředku se stal prostředek víceúčelový (M jako *multi-role*) a vznikly jeho další verze, které jsou vybaveny řízenými střelami určenými k cílené likvidaci protivníků (Karas, a další, 2016).



**Obrázek 5 Letoun MQ - 1 Predator Fotograf: LT. COL. LESLIE PRATT /
HANDOUT/EPA (Arnett, 2015)**

Dnes jsou bezpilotní letecké systémy běžnou součástí všech armád. Nejinak je tomu i v České republice. U nás je nejznámějším bezpilotním průzkumným letounem Sojka III, která operovala na našem území pro Pozemní síly Armády České republiky v letech 2000 - 2010.

Další novinkou v oblasti bezpilotního létání jsou mimo průzkumných dronů, které jsou schopné 24 hodinového provozu, tzv. nanodrony. Jedná se o malé bezpilotní systémy přizpůsobené především k průzkumu těžko přístupných míst či nestabilních částí budov a k přenosu obrazu v reálném čase vojákům či záchranářům (Karas, a další, 2016).



**Obrázek 6 Zatím nejmenší nanodron na světě vyrobený firmou Morrison Innovations
(Morrison Innovations, 2014)**

3.3.1 Vývoj

Vývoj dronů měl, má a stále bude mít uplatnění zejména ve vojenské sféře (Schwarz, 2010). Pozitivním důsledkem je, že to s sebou nese technologický pokrok, díky kterému se za posledních 20 let podařilo vyvinout technologie, o kterých si naši předci mohli nechat jenom zdát. Vývoj dronů vedl mimo jiné i ke zdokonalení dílčích součástí (např. k rozvoji pohonných baterií, jejich větší kapacitě a menší hmotnosti, výkonnějších motorů, závěsných systémů, systémů pro eliminaci vibrací, další miniaturizaci elektroniky, pokročilému programování atd.). Navíc se tyto technologie stávají dostupnými i pro širokou veřejnost.

4 Základní rozdělení

Drony lze dělit mnoha způsoby, např. podle účelu, doletu, rychlosti, letové hladiny, nosnosti, velikosti, stavby konstrukce aj. Nejjednodušší rozdělení je podle typu konstrukce, která je charakteristická a ve které dále můžeme rozlišovat již zmíněné atributy (Brown, 2017), (Dragan Fly, 2008), (ProPhotoUAV, 2017).

	Kategorie	Dolet [km]	Dostup [m]	Výdrž [h]	Hmotnost [kg]
μ	Mikro	< 10	250	1	< 5
Mini	Mini	< 10	150 – 300	< 2	< 30
CR	Close Range	10 – 30	3000	2 – 4	25 – 150
SR	Short Range	30 – 70	3000	3 – 6	50 – 250
MR	Medium Range	70 – 200	5000	6 – 10	150 – 500
MRE	MR Endurance	> 500	8000	10 – 18	500 – 1500
LADP	Low Alt. Deep Penetration	> 250	50 - 9000	0,5 – 1	250 – 2500
LALE	Low Alt. Long Endurance	> 500	3000	> 24	15 – 25
MALE	Medium Alt. Long Endurance	500 – 750	5000 – 8000	24 – 48	1500
HALE	High Alt. Long Endurance	> 250	20 000	24 – 48	2500 – 5000
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle	400	< 20 000	2	10 000

Tabulka 1 Ukázka rozdělení UAV podle vybraných technických parametrů (Schwarz, 2010)

4.1 Typy dronů podle konstrukce

4.1.1 Letoun

Definice slova letoun říká, že se jedná o letadlo těžší než vzduch, které ke svému pohybu využívá aerodynamických sil díky pevně připojeným, speciálně tvarovaným plochám křídel, okolo kterých proudí vzduch. Letoun se tedy z fyzikálních důvodů musí neustále pohybovat určitou rychlostí dopředu, aby vztlaková síla byla dostačující na udržení stroje ve vodorovné poloze. Tento pohyb dopředu zajišťuje zpravidla elektrický nebo spalovací motor s tažnou nebo tlačnou vrtulí v některých případech s proudovou turbínou. Pokud z jakéhokoli důvodu motor selže, letoun ztrácí rychlost, a kvůli nedostatečné rychlosti přestávají fungovat vztlakové síly a letoun padá k zemi. Když je správně vyvážen, padá tzv. klouzavým letem, při kterém se pohybuje více méně rovnoměrně pod určitým úhlem k zemi. Pokud však motor funguje jak má, k plynulému letu není potřeba velké energie. Díky vztlakové síle stačí překonat jen odpor vzduchu, a to tak aby vztlaková síla byla větší nebo rovna síle tíhové (Karas, a další, 2016).



Obrázek 7 Model letounu s kamerou s možností FPV (Liszewski, 2015)

Výhodou letounů je, jak bylo zmíněno výše, úspora energie, dokáží tedy letět i několik hodin. Hodí se na dlouhotrvající či vzdálené lety.

Nevýhodou je potřeba nízké hmotnosti. S rostoucí hmotností se zvyšují nároky na rychlost, potažmo energii a celkově i na mohutnost konstrukce. Pro jednodušší vzlet se často používají vystřelovací rampy, zejména u těžších letounů.

4.1.2 Vrtulník

Vrtulník patří stejně jako letoun do definice létajících prostředků těžších než vzduch a je také nadnášen aerodynamickými vztlakovými silami. Na rozdíl od letounu má však vrtuli rotující horizontálně a nemusí se proto neustále pohybovat vpřed jelikož vrtule vytváří vztlak na místě.

Nežádoucí rotaci je pak zabráněno malou ocasní vrtulí, která se pohybuje vertikálně, a zároveň se její pomocí ovládá vrtulník do stran, nebo se používají dva rotory umístěné nad sebou s opačnou rotací. Řízení vrtulníku je o něco náročnější. Zpravidla je opatřen celou řadou stabilizačních systémů. Když vysadí motor, vrtulník padá přímo k zemi, protože není aerodynamicky stabilní jako letoun. Když pilot včas nastaví záporný náběh listů rotoru, rotor během klesání může nabrat dostatečné otáčky, aby setrvačností pilotovi umožnila relativně bezpečné přistání (Karas, a další, 2016).



Obrázek 8 Model vrtulníku s kamerou (Swell RC, 2017)

Výhodou vrtulníků je jednoznačně možnost vertikálního letu, popřípadě možnost stát na místě.

Nevýhodou je pak náročnější ovládání a vyšší náchylnost na povětrnostní podmínky.

4.1.3 Multikoptéry

Multikoptéry jsou zcela unikátním typem létajících prostředků. Jako pohon vytvářející potřebný vztlak používají sudý počet rotorů. Na rozdíl od vrtulníků, které se ovládají nastavením úhlu náběhu listů rotoru, multikoptéry využívají pro ovládání nastavitelnou rychlost otáček jednotlivých rotorů. Sudý počet rotorů je z toho důvodu, aby se vyloučil kroutivý moment, který vzniká společně se vztlakovou silou na každém rotoru. Proto je polovina rotorů pravotočivých a polovina levotočivých. Pro směr letu pak záleží na výslednici působících sil. Například pro přímý let je potřeba snížit otáčky rotorů v přední části a zvýšit v části zadní. To samé platí o ovládání do stran. Vztlaková síla při těchto manévrech zůstává stejná, převládá však kroutivý

moment, který ovládá otáčení multikoptéry. Podle počtu rotorů pak rozlišujeme multikoptéry na kvadroptéry (čtyři rotory), hexakoptéry (6 rotorů), oktokoptéry (8 rotorů), dodekakoptéry (12 rotorů) a hexadekakoptéry (16 rotorů) (Karas, a další, 2016).



Obrázek 9 Model kvadroptéry s full HD kamerou (Syma, 2016)

Výhodou je, že během letu je možné zapnout přidané stabilizátory a jednotka je tak stabilizována ve všech třech osách. Navíc je možné připevnit tzv. gimbal, což je zařízení, které se používá na připevnění buď senzorů nebo fotoaparátu, které jsou propojené s počítačem nacházejícím se na zemi a zabezpečujícím přenos dat v reálném čase. Čím vyšší počet vrtulí, tím se multikoptéra stává stabilnější a rychlejší, bohužel ale zároveň ztrácí na své mobilitě. Tato závislost platí i naopak (Mišák, 2015), (Minařík, 2016).

Nevýhodou multikoptér je však závislost na všech motorech. V případě multikoptér s vyšším počtem rotorů, výpadek jednoho rotoru zkušený pilot nemusí zaznamenat, záleží na vyváženosti a přebytku výkonu. Na druhou stranu v případě výpadku motoru u kvadroptéry bývají následky fatální. Ve srovnání s letouny jsou náročnější na výdej energie, používají se výhradně jenom na elektropohon. Doba letu je tedy velmi závislá na hmotnosti zařízení, nicméně možnosti letu s multikoptérou převyšují možnosti jak letounů, tak i vrtulníků (Karas, a další, 2016).

5 Použití dronů v reálném prostředí

Největší vliv na výkon dronů mají meteorologické podmínky: teplota vzduchu, atmosférické srážky, relativní vlhkost vzduchu, síla větru a prach (Karas, a další, 2016).

5.1 Teplota

Teplota nejvíce působí na motory a regulátory, které se při chodu zahřívají. Při nižších teplotách pracují efektivněji a nehrozí přehřátí a tím jejich poškození. Na druhou stranu, baterie jsou velmi citlivé na teploty pod bodem mrazu, kdy jejich kapacita velmi prudce klesá. Ochrana proti mrazu je možná pomocí kapotáže, které je ale náročná na výrobu a zvyšuje hmotnost dronu a zároveň tak snižuje jeho výkon. Je nutné si tedy určit priority. Naopak ochrana proti přehřátí je zabudovaná přímo uvnitř dronu a to tak, že proudění okolního vzduchu jej ochlazuje a regulátor při teplotě kolem 100°C začne omezovat svůj výkon, aby se nepoškodil (Flitelab, 2016), (Radev, 2016).

5.2 Srážky

Déšť provoz dronu omezuje hned z několika důvodů. Prvním je, že vodní kapky mohou zkratovat přítomnou elektroniku nebo způsobit korozi různých částí. Dále za deště bývá snižena viditelnost, což zhoršuje ovladatelnost, ale i znehodnocuje fotografie či zkresluje měřená data. Proti dešti se lze bránit opět kapotáží, ale snížené viditelnosti se nevyhneme (Dallas, 2017), (Habis, 2015).

5.3 Vlhkost

Relativní vlhkost vzduchu funguje velmi podobně jako srážky. Hrozí, že bude kondenzovat na částech multikoptéry, a tím může opět poškodit elektroniku nebo způsobit korozi. Navíc při vysoké relativní vlhkosti se často tvoří mlhy, ve kterých je podle leteckých předpisů létání zakázáno z důvodu bezpečnosti. Při tvorbě mlhy okolo bodu mrazu hrozí namrzání vrtulí, tím se výrazně zhoršují aerodynamické parametry zařízení, klesá vztlak a hrozí pád (Flitelab, 2016), (Dallas, 2017).

5.4 Vítr

U větru platí, čím více motorů a rezervy výkonu, tím je stroj stabilnější a dokáže lépe odolávat poryvům větru. Zde je však zapotřebí umět předvídat a posoudit sílu větru, kterou dron ještě dokáže vyrovnat (Habis, 2015).

5.5 Míra znečištění

Prachové částice ohrožují drony podobně jako voda. Vířený prach se snadno dostává do elektroniky. Ta se pak hůře ochlazuje a může ovlivňovat i měřicí systémy. Proto je důležité stroj pečlivě kontrolovat a čistit (Karas, a další, 2016).

6 Výhody a nevýhody využití dronů

Jako hlavní výhody, které je potřeba u dronů zmínit, jsou ekonomické náklady. Pořízení profesionálního dronu je sice zpočátku nákladné, ale ani zdaleka se nerovná cenám pilotovaných letadel. Dalším aspektem je snadná manipulace a mobilita stroje. Možnost připojení různých speciálních senzorů činí z dronu neobyčejně flexibilní zdroj dat. Díky možnosti přenosu obrazu v reálném čase, lze dron využít i v nebezpečných situacích, což jej dělá ještě flexibilnějším (Karas, a další, 2016).

Mezi hlavní nevýhody zatím stále patří nízký dolet, který je snižován s přibývajícím hmotností dronu. Byť je dron možné použít za snížené viditelnosti, závislost na klimatických podmínkách je bohužel fakt, který nedokážeme ovlivnit.

7 Široké využití

Jak uvádí i Jakub Karas ve své publikaci Drony, způsobů využití dronů je nespočet a každým dnem po celém světě dochází k vývoji dalších ať už samotných nových dronů či k modifikaci senzorů, které lze na drony připevnit a tím rozšířit jejich pole působnosti.

Drony můžeme používat jak pro zábavu, tak i pro komerční či vědecké účely. Komerční provozování dronů s sebou nese i povinnost dodržovat příslušná legislativní opatření, kterými se tato práce ale nezabývá.

7.1 Zábava

Bezpilotní letecké prostředky a systémy určené pro zábavu bývají zpravidla cenově dostupné vzhledem k nižší kvalitě, než jaká je potřebná pro komerční účely. Na trhu jsou systémy dostupné jak pro úplné začátečníky tak i pro pokročilé piloty. Cena je pak úměrná velikosti, vybavení a kvalitě dronu.

7.2 Fotografické využití

Využití dronů pro fotografování krajiny, historických staveb nebo pozemků je jedním z nejrozšířenějších způsobů použití. Jelikož je potřeba na dron připevnit pouze fotoaparát nebo kameru, kterou záznam pořídíme. O kvalitě záznamu pak rozhodují parametry záznamového zařízení (Karas, a další, 2016).

Letecké fotografie však nemusí sloužit jen pro zachycení míst, která má někdo rád. Slouží taktéž ke sledování členitosti krajiny. Mohou zachytit místa, kam je obtížné, nebo nebezpečné se dostat. Často jsou fotografie pořízené z dronu používány jako architektonické studie, protože dokáží stavby zachytit v kontextu celé krajiny (Karas, a další, 2016).

7.3 Filmové využití

Když na dron připevníme videokameru, můžeme místo fotografií pořizovat videozáznam. Toto využití je v poslední době velmi rozšířené především ve filmovém průmyslu. Díky záběrům

z dronu například dokumenty či akční scény dostávají jiný úhel pohledu. Navíc záběry z dronu bývají velmi dynamické a vtahují člověka více do děje. Videozáznam lze přenášet i v přímém přenosu, a proto nachází uplatnění v televizním zpravodajství nebo při záchranných akcích.

7.4 Transport

Transport menších věcí pomocí dronů je prakticky možný a v budoucnu bude jistě hojně využíván, v dnešní době, až na malé výjimky či pokusy není provozován kvůli bezpečnosti a je omezen přísnými legislativními podmínkami. Výjimku tvoří například dodávky léků do těžko přístupných oblastí, to využívají například německé firmy, které tímto způsobem přepravují léky na ostrovy v Severním moři (Karas, a další, 2016). Stejnou výjimkou jsou například záchranné drony, na kterých je připevněn záchranný kruh či defibrilátor.



Obrázek 10 Holandský záchranný dron vybavený defibrilátorem (George, 2016)

7.5 Monitoring

V posledních letech se rozrůstá uplatnění dronů v leteckém monitoringu. Doposud byl letecký monitoring provozován pilotovanými letadly, to je však nejen finančně ale i technicky poměrně náročné, a proto se přechází k ekonomičtějším řešením tohoto problému (Eisenbeiss, 2011).

Toto odvětví zahrnuje především monitoring a kontroly výškových objektů jako jsou chladicí věže elektráren, přehradní hráze, stožáry vysokého napětí aj. Pro všechny tyto výškové práce je potřeba záznam ve vysokém rozlišení. Dron samozřejmě nemůže nahradit člověka, který by při zjištění menší závady mohl problém hned odstranit, ale v mnoha případech může pouhá kontrola

či pořízení obrazového záznamu postačit pro pozdější výběr, kde je potřeba lidský faktor nejdříve (Karas, a další, 2016).

Bezpilotní letecké prostředky se dále hojně používají pro monitoring krizových situací, při přírodních katastrofách, nebo jako preventivní monitorování potenciálně nebezpečných akcí.

7.6 Speciální monitoring a měření přidanými senzory

Ve fantazii a v technice se meze nekladou. De facto každý speciální senzor, je-li možné ho připevnit na dron, může sloužit jako měřicí zařízení, které dron odnese tam, kam bude pilot chtít. Omezení je zatím takové, že se vzrůstající hmotností dronu, klesá jeho dolet. Dnes je již spousta senzorů upravena přímo pro použití právě drony (Karas, a další, 2016).

7.6.1 Měření koncentrace látek v ovzduší

Tyto senzory mohou měřit např. koncentraci oxidů dusíku, uhlíku či jiných prvků, popřípadě složení okolního vzduchu, počet prachových částic, radiaci aj (Karas, a další, 2016).

7.7 Mapování

Mapování okolního prostředí a letecký monitoring to jsou dva hlavní důvody, ke kterému byly drony vyvinuty.

7.7.1 Ortofotomapy

Ortofotomapy, jinými slovy letecké mapy, jsou mapy s kolmým zobrazením přírody, měst aj. přesně tak, jak je vidíme. Odrážejí skutečný stav v daném čase. Větší ortofotomapy vznikají sestavením velkoformátových leteckých snímků, které se překrývají a jsou ve velmi vysoké kvalitě. Ortofotomapy, které máme k dispozici z družic, mají standardně menší rozlišení a jejich přesnost se pohybuje v řádech desítek až stovek metrů, družice s vysokým rozlišením mohou poskytovat data s přesností zhruba půl metru (Gisat, 2017), nicméně drony jsou schopné poskytovat snímky s přesností na několik málo centimetrů až milimetrů, ale vzhledem k jejich

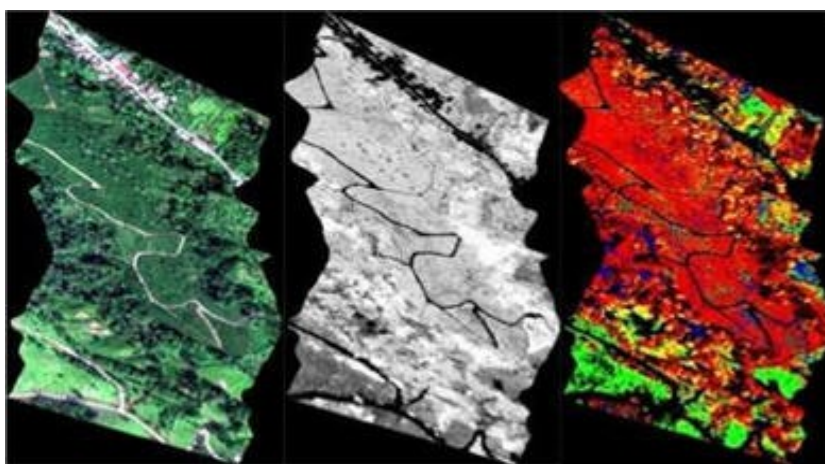
doletu se primárně používají pro mapování konkrétních oblastí v konkrétním čase (New America, 2015), (Karas, a další, 2016).

7.7.2 3D modely

Podkladem pro 3D modely jsou právě ortofotomapy. Ortofotomapa propůjčí 3D modelu reálný základ, ve kterém pak lze přidávat nebo odebírat v počítačových programech nejrůznější budovy, stromy, rybníky, měnit sklon terénu atd. a tím vytvářet nové prostředí, ve kterém lze předpovídat a vizualizovat další vývoj. Vytvořit např. na základě předešlých událostí řešení krizových situací, jako jsou povodně aj (New America, 2015), (Karas, a další, 2016).

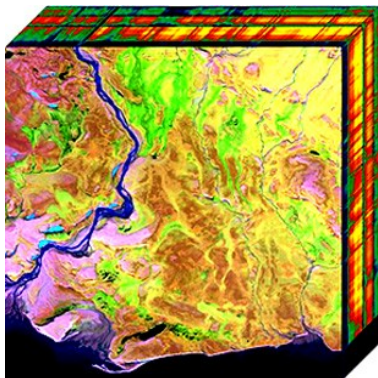
7.7.3 Multispektrální a hyperspektrální snímkování

Multispektrálním snímkováním je myšleno snímkování v mnoha barevných spektrech. Když snímáme ve viditelném spektru a tato spektra spojíme pomocí RGB syntézy dohromady, vznikne nám barevný obraz blízky tomu, jak ho reálně vnímáme okem. Když jsou data z každého pásma promítnuta pouze jednotlivě, vznikne nám černobílý obraz, respektive obraz v různých stupních šedi. Pokud pak snímáme v jiném spektru než ve viditelném, vznikne nám obraz v tzv. nepravých barvách. Nejčastěji se používá infračervené spektrum, které je nejvhodnější pro mapování vegetačního pokryvu. Na obr. 6 můžeme vidět ukázkou jednotlivého multispektrálního snímání (Gisat, 2015).



Obrázek 11 Ukázkou multispektrálního snímání (zleva: RGB, monochromatické, infračervené spektrum) (Homeland Surveillance & Electronics LLC, 2015)

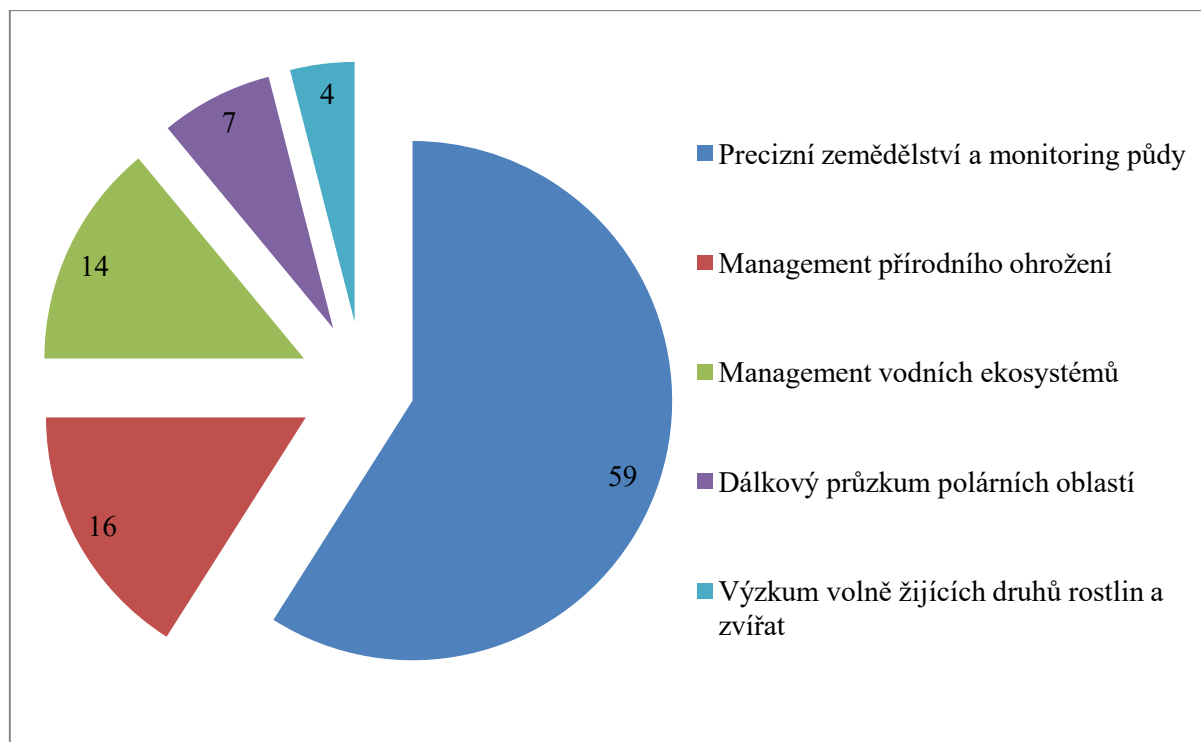
Hyperspektrální snímkování pořizuje snímky v několika desítkách až stovkách úzce vymezených spektrálních intervalů a zaměřuje se především na drobné charakteristiky zemského povrchu. Pro představu na obr. 7 je znázorněna část území snímaného hyperspektrálně. Jak je vidět, jsou zde patrné mnohem větší detaily než v multispektrálním snímání (Gisat, 2015).



Obrázek 12 Ukázka hyperspektrálního snímkování (Wikipedia, 2017)

8 Využití v ochraně přírody

Data získaná pomocí dronů mají široké využití v různých oblastech ochrany přírody. V grafu je znázorněno procentuální zastoupení dílčího využití dronů v rámci přírodních věd.



Obrázek 13 Procentuální zastoupení využití dronů v jednotlivých oblastech přírodních věd (Shahbazi, a další, 2014)

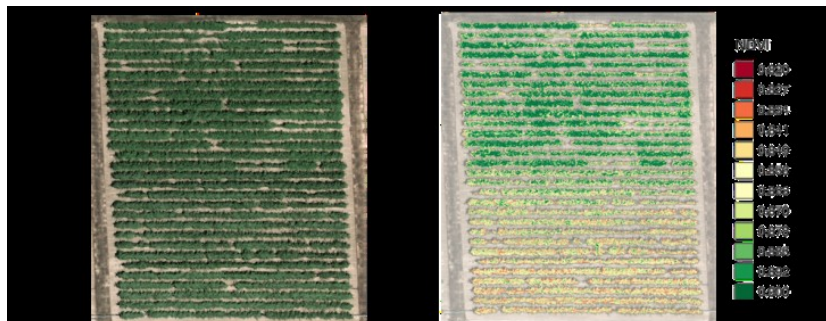
8.1 Monitoring půdy a precizní zemědělství

Precizní zemědělství je mezioborová disciplína, která používá nové technologie pro zlepšení výnosu zemědělské půdy v závislosti na její prostorové variabilitě. Jinými slovy řečeno, na základě lokálních odlišností půdy, jsou sestaveny přesné plány pro podporu produkce daného území (Kumhála, 2017).

Pro stanovení těchto odlišností se nejčastěji používá systém GNSS či GPS a senzory pro zjištění spektrálních vlastností porostu. Data jsou následně zpracována např. v programu ArcGIS.

Na základě odrazivosti světla od listů rostlin ve viditelném spektru a v blízkém infračerveném, jsme schopni vyhodnotit tzv. normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI). Lze jej

vypočítat jako podíl odraženého světla ve viditelném pásmu a v pásmu blízkém infračerveném. NDVI index pak slouží ke kontrole jednotlivých rostlin v rámci celé kultury během vegetační sezony. Díky němu lze zaznamenat zhoršení zdravotního stavu i přesto, že pouhým okem ještě není nic patrné (IoT Cluster, 2016).



Obrázek 14 Ukázka obyčejné fotografie sadu (vlevo) a snímek téhož sadu s vypočteným NDVI (vpravo) (IoT Cluster, 2016), žluté zbarvení zde značí určitý nedostatek

Výsledkem všech zpracovaných dat je tzv. aplikační mapa, která udává přesné informace o tom, kde je potřeba zvýšit a kde snížit přísun živin, aplikaci postřiku, popřípadě změnit techniku obhospodářování půdy, a tím snížit náklady a zároveň maximalizovat výnos (Křepelka, 2010), (Stoszek, 2009).

8.2 Monitoring vodních ekosystémů

Drony mohou zkoumat velmi snadno i vodní plochy, potažmo tedy stav jezer či rybníků na základě odrazivosti jejich povrchu, jež se mění v závislosti na jejich zbarvení, které je způsobeno znečištěním organickými látkami. Toto znečištění často koreluje s místní vegetací a příslušnou faunou. Lze tak pomocí monitoringu zjistit nejen současný stav kvality vodní plochy, zda je eutrofizovaná nebo naopak oligotrofní, ale při dlouhodobém pozorování lze určit i její trend, jestli dochází k jejímu zlepšení či nikoli (Birk, a další, 2014), (Dörnhöfer, a další, 2016).

8.3 Monitoring a průzkum polárních oblastí

Průzkum polárních oblastí se v posledních letech dostává do popředí zájmu. Zatím probíhalo mapování takto rozsáhlých ploch s nehostinnými podmínkami pomocí satelitů, nicméně to je spojeno s nižším rozlišením, závislostí na oblačnosti a vysokými náklady na získání dat. Drony

mají výhodu v rychlém a mobilním nasazení, v možnosti střídání různých senzorů v krátkém časovém intervalu a poskytují data ve velmi vysokém rozlišení. Dále náklady na jejich provoz jsou minimální, a to je důvod, proč drony zapojit do glaciologických studií ještě více, než je tomu dnes (Bhardwaj, a další, 2016).

8.4 Monitoring divoké flóry a fauny

Dalším možným praktickým využitím dronů v rámci ochrany přírody a krajiny je monitorování invazních druhů rostlin.

Invazní druhy jsou druhy, které na konkrétním území nejsou původní, ale rychle se aklimatizovaly na místní podmínky a velmi dobře se množí a šíří. Tím vytlačují domácí druhy, které jim nestačí dostatečně konkurovat a postupně tak způsobují snížení biodiverzity v daném území a degradaci původních přirozených společenstev. Invazní druhy ohrožující krajinu České republiky jsou např. křídlatka japonská (*Reynoutria japonica*), křídlatka sachalinská (*Reynoutria sachalinensis*), křídlatka česká (*Reynoutria × bohemica*), bolševník velkolepý (*Heracleum mantegazzianum*), netýkavka žlaznatá (*Impatiens glandulifera*), topinambur hlíznatý (*Helianthus tuberosus aggr.*), třapatka dřipatá (*Rudbeckia laciniata*) (Morávková, 2017) atd.

V České republice za posledních pár let proběhlo hned několik výzkumů na detekci invazních druhů rostlin. Cílem těchto vědeckých prací bylo za pomoci dronů, získat data, která by pomohla rychle, efektivně a hlavně včas odhalit invazní druhy rostlin, a tím tak pomoci bojovat proti nim cíleně a zároveň i ekonomičtěji (Dvořák, a další, 2015), (Müllerová, a další, 2013), (Müllerová, a další, 2005).

Monitoring volně žijících druhů zvířat je mnohem složitější. Nicméně v poslední době je snaha překonat překážky způsobené migrací jednotlivých druhů a mapovat nejen migrační tahy např. ptáků, slonů, tuňáků aj., ale pozorovat a snažit se porozumět jejich chování. Nyní se drony používají pro ochranu volně žijících ohrožených druhů zvířat (Verschoor, 2016). V Africe například drony hlídají stáda slonů před pytláky, právě pomocí nainstalovaných kamer (Powell, 2016).

9 Vybrané zahraniční případové studie využití dronů v praxi

9.1 Studie tropického lesa

Studie s názvem „Seeing the forest from drones: Testing the potencial of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring“ tedy v překladu „Vidět les z pohledu dronů: Testování potenciálu lehkých dronů jako nástroje pro dlouhodobé monitorování lesů“. Hlavním cílem bylo dlouhodobě sbírat data o tropickém lese a jeho fauně v národním parku na jihu Číny s co nejnižšími náklady. Mimo vyhodnocených výsledků z nasbíraných dat o počtu druhů a jejich interakcích, studie prokázala, že drony skrývají velký potenciál při mapování a monitorování špatně přístupných míst, a to ve vhodnějším měřítku než je monitorování téhož území družicemi. Konkrétně v této studii se jednalo o přesnost zhruba 5 cm (Zhanga, a další, 2016).

9.2 Zjišťování kontaminace půdy polutanty

Další studie, jejíž součástí je aplikace dronů v praxi se nazývá „Photogrammetry for environmental monitoring: The use of drones and hydrological models for detection of soil contaminated by copper“ česky „Fotogrametrie pro monitorování životního prostředí: Využití dronů a hydrologických modelů pro detekování půdní kontaminace mědi“. Tato studie používá drony společně s hydrologickými modely pro zjištění obsahu polutantů v půdě, zejména pak mědi. Tento výzkum probíhal v Itálii na rozloze 4500 m² okolo města Trentola Ducenta. Dále studie obsahovala modely, ve kterých predikovala místa, kde se v půdě může nejvíce kumulovat měď (Capolupoa, a další, 2015).

9.3 Hledání archeologických nalezišť

I tato studie je z Itálie. Nese název „Drones over Mediterranean landscapes: The potential of small UAV's (drones) for site detection and heritage management in archaeological survey projects“ v překladu „Drony nad Mediteránskou krajinou: Potenciál malých dronů pro detekci místa a následný plán péče pro archeologické projekty“. Jednalo se o případovou studii v údolí Tappino v oblasti Molise. Vědci zde chtěli dokázat praktické využití malých dronů k hledání archeologických nalezišť, jelikož v takto obtížně přístupné oblasti jiné metody hledání selhávaly.

Práce měla za úkol prokázat, že drony jsou efektivní pomocí při hledání pohřbeného kulturního dědictví a že by se mohly stát součástí běžně používaných metod, nikoli pouhou raritou (Tesse, 2016).

9.4 Modelace terénu a jeho využití

Studie s názvem „Ultra-fine grain landscape-scale quantification of dryland vegetation structure with drone-acquired structure-from-motion photogrammetry“ česky „Ultra jemné měřítko určování množství suchozemské vegetační struktury pomocí fotogrammetrie získané pomocí dronů“. Tato studie probíhala v sedmi různých oblastech v chráněném území Sevilleta National Wildlife Refuge v Novém Mexiku. Cílem bylo pomocí dronů nasbírat velmi podrobná data o daném území a s pomocí 3D modelů sestavených tzv. SfM (structure from motion), fotogrammetrií sestavit modely, které by ukazovaly strukturu daných oblastí, a potažmo tedy i jejich funkce. Jelikož se jedná o velmi dynamický systém, poměrně rychle se měnící v čase, jiné metody zkoumání nejsou tak přesné. Zde drony poskytly během krátké doby velmi podrobné informace, ze kterých bylo možno rychle a levně sestavit přesné modely (s přesností na 1cm²) (Cunliffea, a další, 2016).

9.5 Sledování povrchového vodního toku

Další studie, ve které byly použity drony nese název „Surface flow measurements from drones“ v překladu „Měření povrchového toku drony“. V této práci byly nasazeny nízkonákladové tzv. rekreačních drony, za účelem sběru dat v rámci měření a odhadování průtoku povrchových toků. Tradiční měření průtoku se provádí průtokoměrem, který je potřeba umístit přímo do proudu vodního toku a v těžko přístupných místech to bývá problém. Proto se vědci pokusili měřit průtok ze vzduchu, metodu založenou na neinvazivním optickém snímání pomocí kamery upevněné kolmo k hladině, snímající dané místo s velmi vysokým rozlišením. Ze získaného záznamu pak vytvořili snímky, které zpracovali pomocí optických algoritmů, a tak získali povrchovou rychlost toku. Toto měření je zatím ojediněle použitou metodou, kterou pak srovnali se standardním měřením pomocí průtokoměrů, aby si ověřili správnost získaných dat. Výsledky, byly shodné, a tak jak je v práci několikrát zmíněno, tato, zatím netradiční metoda, otevírá cestu novým způsobům získávání dat o životního prostředí a je vizí dalšího využití dronů (Tauroa, a další, 2016).

9.6 Studium geotermální oblasti

Název této případové studie je „Drone with thermal infrared camera provides high resolution georeferenced imagery of the Waikite geothermal area, New Zealand“ přeloženo „Drony s tepelnou infračervenou kamerou poskytující vysoké rozlišení georeferencování (tj. vyjadřování prostorové reference) geotermální oblasti Waikite na novém Zélandu“. Studie se zabývala sběrem leteckých snímků, společně s hodnotami o teplotních výkyvech za účelem vytvoření tepelných ortofotomap dané oblasti. Drony ke sběru dat použili pro jejich ekonomičnost a zejména z důvodu rychlého a bezpečného získání dat z těžko přístupného a nebezpečného terénu. Ze získaných hodnot vytvořili georeferenční, teplotně kalibrovanou ortofotomapsu, zachycující 2,2 km² geotermální oblasti Waikite na Novém Zélandu. Svým výzkumem prokázali, že sběr teplotních údajů pomocí dronů má velký potenciál stát se klíčovým nástrojem zkoumání nejen geotermálních oblastí, ale obecně i životního prostředí, jako sledovací studie či studie pro stavební a jiné práce (Harveya, a další, 2016).

9.7 Ekologie vodních ekosystémů

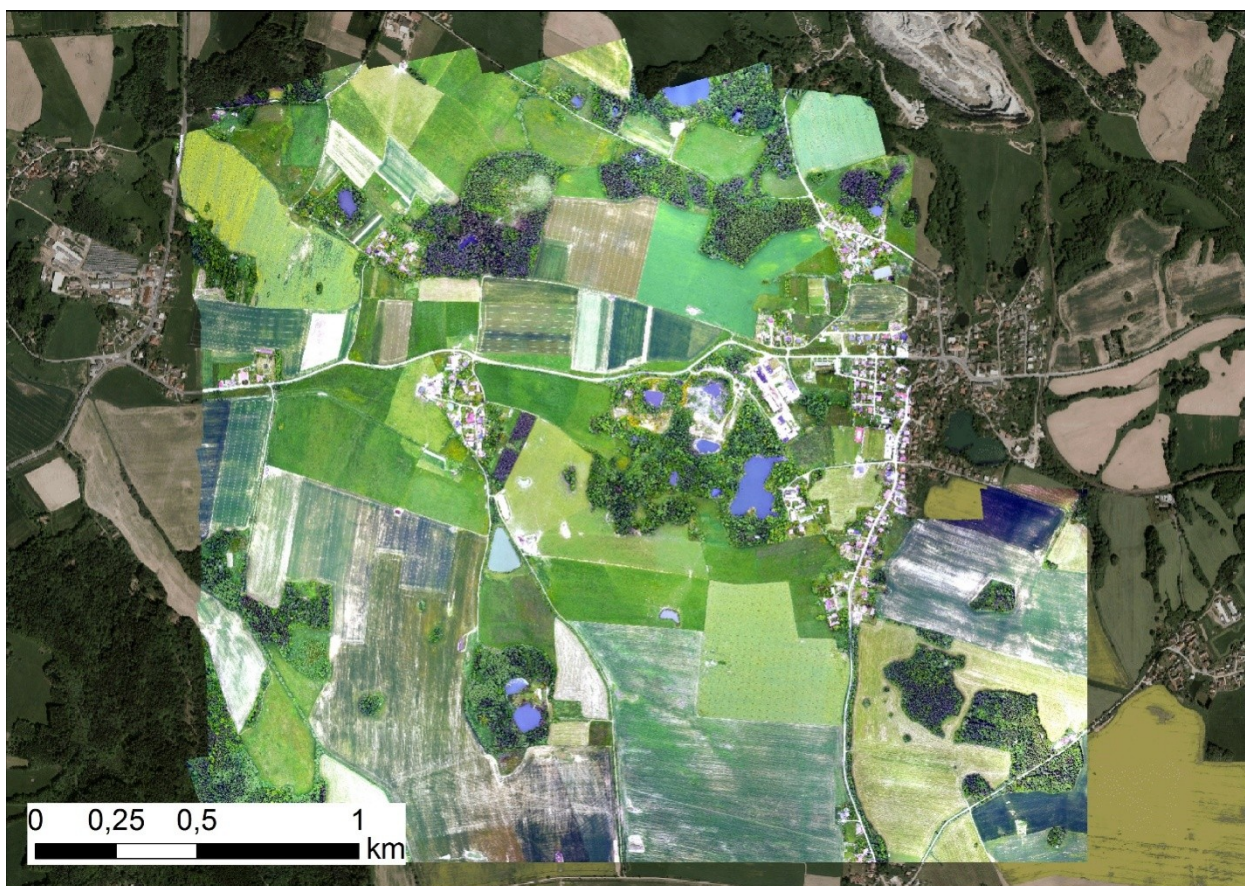
Další studie, která ve svém zkoumání využívá bezpilotní letecké systémy se nazývá „A low-cost drone based application for identifying and mapping of coastal fish nursery grounds“ česky tedy „Aplikace nízkonákladových dronů pro identifikaci a mapování líhnutí pobřežních druhů ryb“. Tato studie se zabývá ekologií mořských druhů a jejich stanovišť. Klíčovou úlohou při jejich určování a mapování jsou velmi podrobná topografická data dotčených oblastí. Získávání těchto údajů bývá zpravidla velmi časově a finančně náročné, jelikož se jedná o komplikovaně přístupná místa. Proto se v této studii rozhodli pro sběr dat použít nízkonákladové drony, za pomoci kterých získali data nejen ve velmi vysokém rozlišení, ale i rychle a bezpečně. Výsledkem studie byly 3D modely daných oblastí a porovnání tematických map vybraných druhů ryb. Hlavním cílem bylo ukázat možnosti využití dronů v rámci mořské ekologie druhů a stanovišť (Venturaa, a další, 2016).

10 Ukázka zpracování získaných dat

10.1 Louky na Vysočině

Příroda na Vysočině je velmi různorodá. Jedná se o pahorkatinu ve středu České republiky tvořenou Českomoravskou vrchovinou. Rozprostírají se zde nejen lány polí pro kultivaci brambor, mnoho hektarů hospodářského lesa louky a pastviny pro chov skotu ale i mokřadní louky a rašeliniště se zachovanými pestrými biotopy. Uvnitř kraje Vysočina se nachází i dvě chráněné krajinné oblasti, jmenovitě Žďárské Vrchy a Železné hory (Příroda Vysočiny, 2015).

Ortofotomapa dané lokality byla pořízená pomocí dronu firmou Up Vision. Následně byla zpracována v programu ArcGIS - ArcMap 10.5. Pozadí tvoří data získaná bezplatně online z geoportálu ČÚZK (Geoportál ČÚZK, 2017).

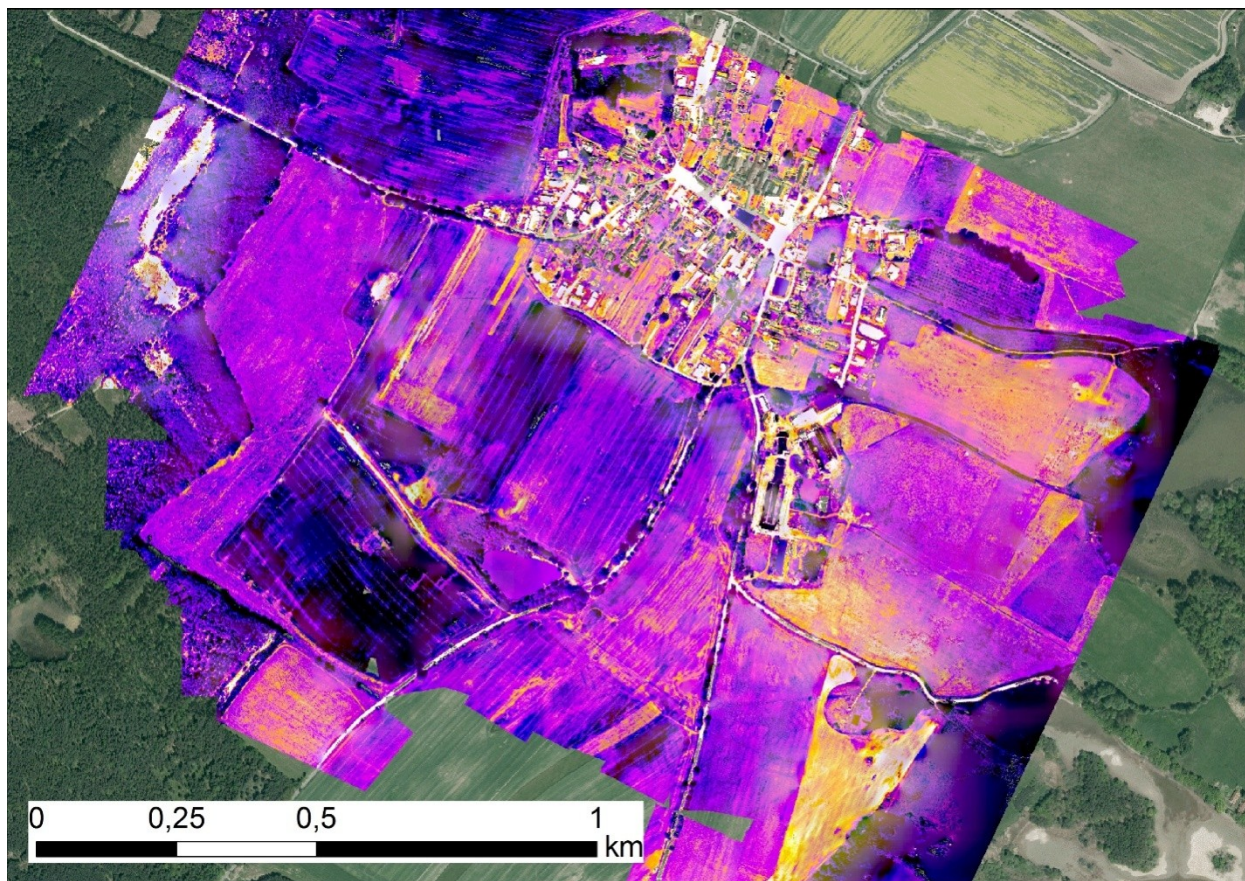


Obrázek 15 Ukázka zpracování dat - ortofoto luk na Vysočině

10.2 Zemědělská krajina na Šumavě

Šumavská krajina je velmi různorodá. V nížinách se nacházejí spíše pole, louky a bezlesí, popřípadě menší lesní ostrůvky, zatímco ve výše položených polohách převládá les. Tato lokalita se nachází východně od Českých Budějovic nedaleko Třeboně. Jedná se o malou vesničku jménem Spolí. V okolí se nachází mnoho rybníků a jeden km od vesnice je vyhlášena přírodní rezervace V Rájích, ve které lze najít rosnatky okrouhlohlísté (*Drosera rotundifolia*) či pozorovat hnízdění vzácné břehule říční (*Riparia riparia*) (Košinová, 2016).

Termofotomapa dané lokality byla pořízená pomocí dronu firmou Up Vision. Následně byla zpracována v programu ArcGIS - ArcMap 10.5. Pozadí tvoří data získaná bezplatně online z geoportálu ČÚZK (Geoportál ČÚZK, 2017).



Obrázek 16 Ukázka zpracování dat - termofoto zemědělské krajiny na Šumavě

10.3 Lom Mokrý u Brna

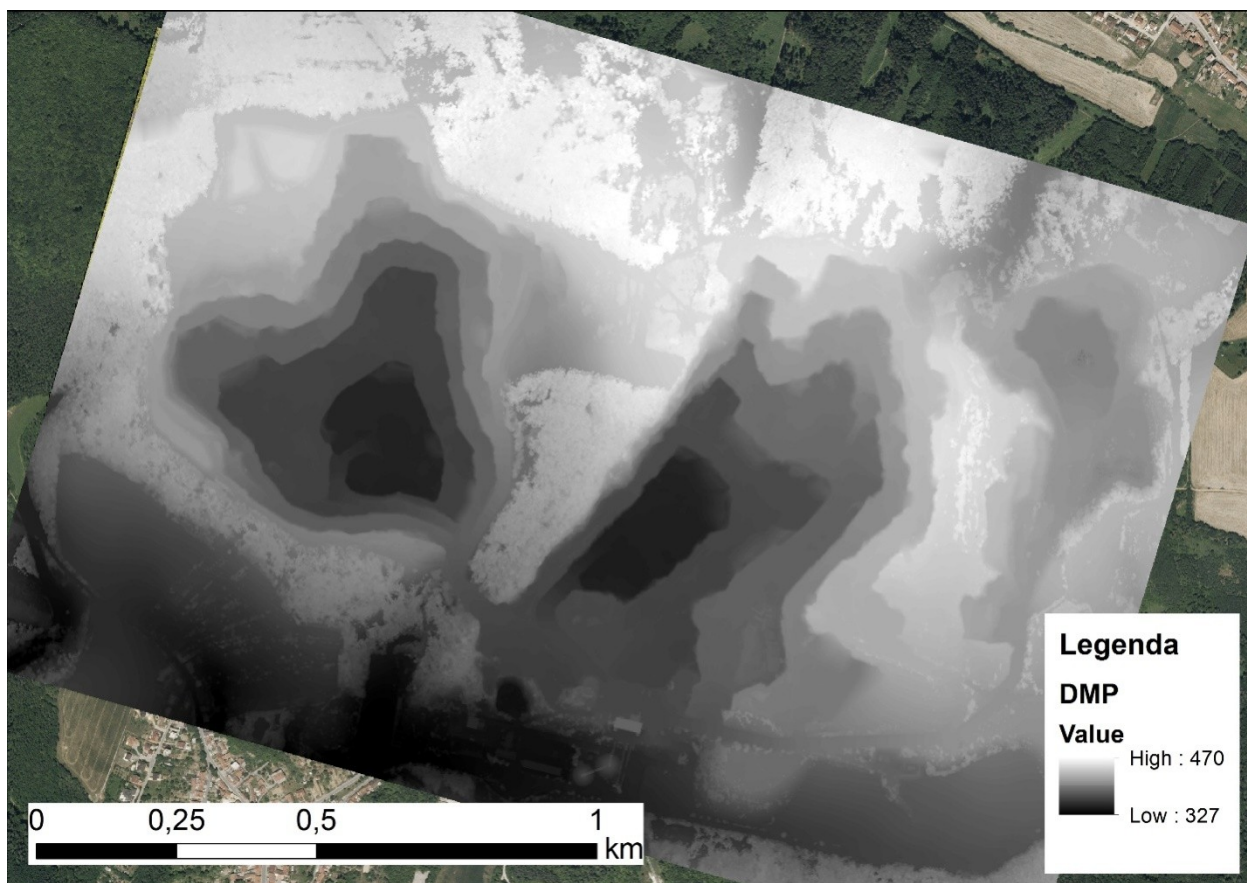
Lom Mokrý se nachází severovýchodně od města Brna. Jedná se o povrchový etážový lom, rozdělený na západní, střední a východní část. Probíhá zde intenzivní těžba surovin pro výrobu cementu (Jindřich, a další, 2011). Zajímavostí je, že oblast lomu a blízkého okolí je navržena k ochraně z důvodu ochrany geologického fenoménu (Gilíková, 2011).

Ortofotomapa dané lokality byla pořízená pomocí dronu firmou Up Vision. Následně byla zpracována v programu ArcGIS - ArcMap 10.5. Pozadí tvoří data získaná bezplatně online z geoportálu ČÚZK (Geoportál ČÚZK, 2017).



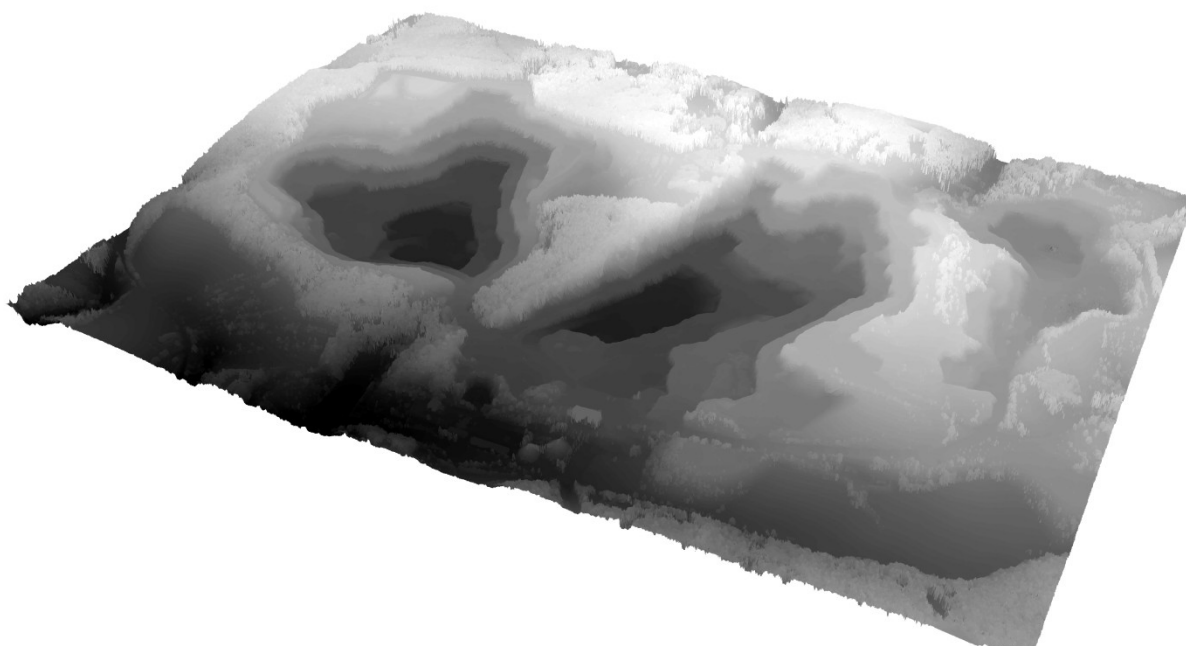
Obrázek 17 Ukázka zpracování dat - ortofoto lomu Mokrý u Brna

Dále je tato lokalita zobrazena jako digitální model povrchu (DMP), kde nejvyšší body jsou zobrazeny nejsvětlejším odstínem šedi a nejnižší naopak nejtmavším. Pozadí tvoří data získaná bezplatně online z geoportálu ČÚZK (Geoportál ČÚZK, 2017).



Obrázek 18 Ukázka zpracování dat - digitální model povrchu lomu Mokrá u Brna

Nakonec jsem získaná data zpracovala v programu ArcGIS - ArcScene 10.5 a vytvořila tak 3D model povrchu této lokality.



Obrázek 19 Ukázka zpracování dat - 3D model terénu lomu Mokrá u Brna

11 Diskuse a závěr

Monitoring a analýza životního prostředí je důležitá pro jeho ochranu.

Sběr dat může probíhat různými způsoby, například ručně, což je časově, i fyzicky náročné a pro analýzu dat z většího území i nevhodné. Další možností sběru dat je dálkový průzkum Země. Což je metoda získávání dat pomocí družic a letadel, která jsou ale od povrchu Země velmi vzdálená a proto je zde i větší odchylka měření. S rozvojem techniky se objevily bezpilotní letecké prostředky, které se pohybují řádově jen metry nad zemským povrchem, tudíž přesnost jejich měření je takřka absolutní. Navíc dostupnost a ekonomické nároky jsou ve srovnání s pilotovanými prostředky nebo družicemi bezkonkurenční.

Bezpilotní letecké prostředky různých konstrukcí, velikostí a výkonů se dnes používají ve všech možných odvětvích, přičemž mapování a analýza životního prostředí má největší zastoupení (mapování a monitoring flóry a fauny, meteorologie, hydrologie, pedologie, geologie, zemědělství, lesnictví), dále monitoring krizových situací, pomoc při územním plánování a tvorbě infrastruktury, využití krajiny a eventuelně specifický druh transportu.

Největší výhodou bezpilotních leteckých systémů jsou ekonomické důvody a jejich využití v praxi se bude stále rozšiřovat.

Mimo zpracované rešeršní práce jsem pro ukázkou zpracovala data, která mi byla poskytnuta bezplatně firmou Up Vision, v programu ArcGIS, konkrétně pak ArcMap a ArcScene pro tvorbu 3D modelů. Tyto programy jsou pro úpravu dat získaných z dronů velmi vhodné a často byly použity i pro zpracování získaných dat z výše popisovaných případových studií. Další možností úpravy takovýchto dat jsou pak např. produkty Atlas, Autodesk, Bentley, PCI Geomatics a další.

Výstupy, které jsem získala, by mohly sloužit pro dlouhodobější monitoring daného území, tzv. pozorování změn využívání krajiny a dopady povrchové těžby na okolí, změny reliéfu (výstup z lomu Mokrý v okolí Brna), popř. zjišťování účinnosti využívání krajiny její kultivací (výstup z luk v okolí Vysočiny) atd.

Zatímco literatury týkající se bezpilotních leteckých prostředků po technické stránce je mnoho, literatury zabývající se využitím dronů v oblasti životního prostředí je velmi málo. Cílem práce bylo shromáždit co nejvíce příkladů využití právě v této oblasti. Několik článků poukazuje na použití dronů zejména z ekonomických důvodů, další pak na snadnější použití dronů z důvodu (ne)přístupnosti dané lokality. Drony jsou dnes používány i pro další účely, nicméně literatury,

která by tyto účely studovala nebo alespoň popisovala je zatím nedostatek, což se do budoucna jistě změní a možnosti využití se ještě násobně rozšíří spolu s rozvojem příslušných technologií.

Drony můžeme používat pro výzkum a monitoring v každodenním životě, a proto jsem se rozhodla věnovat se právě tomuto tématu, a položit tak pomyslný základní kámen o možnostech využití dronů v oblasti životního prostředí a předpřipravit si půdu k dalšímu studiu tohoto směru.

12 Bibliografie

airforce-technology.com. 2017. Predator RQ-1 / MQ-1 / MQ-9 Reaper UAV, United States of America. *airforce-technology.com*. [Online] 2017. [Citace: 30. 4 2017.] <http://www.airforce-technology.com/projects/predator-uav/>.

Arnett, George. 2015. The numbers behind the worldwide trade in drones . *The Guardian*. [Online] 16. 3 2015. [Citace: 3. 12 2016.] <https://www.theguardian.com/news/datablog/2015/mar/16/numbers-behind-worldwide-trade-in-drones-uk-israel>.

Bhardwaj, Anshuman, a další. 2016. UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects. *Remote Sensing of Environment.*, stránky 196-204.

Birk, Sebastian a Ecke, Frauke. 2014. The potential of remote sensing in ecological status assessment of coloured lakes using aquatic plants. *Ecological Indicators.*, stránky 398-406.

Brown, Liza. 2017. Types of Drones: Explore Different Types of Drones. *Filmora*. [Online] 20. 4 2017. [Citace: 30. 4 2017.] <https://filmora.wondershare.com/drones/types-of-drones.html>.

Campbell, James B. a Wynne, Randolph H. 2011. *Introduction to remote sensing*. 5. vydání. New York: Guilford Press. str. 662. 978-1-60918-176-5.

Capolupoa, Alessandra, a další. 2015. Photogrammetry for environmental monitoring: The use of drones and hydrological models for detection of soil contaminated by copper. *Science of The Total Environment.*, stránky 298-306.

Copernicus. 2016. Základní principy DPZ. *Geo Copernikus v ČR*. [Online] 2016. [Citace: 12. 4 2017.] <http://copernicus.gov.cz/copernicus>.

Cunliffea, Andrew M., Braziera, Richard E. a Andersonb, Karen. 2016. Ultra-fine grain landscape-scale quantification of dryland vegetation structure with drone-acquired structure-from-motion photogrammetry. *Remote Sensing of Environment.*, stránky 129-143.

Dallas, Dirk. 2017. The Best Tips for Flying Your Drone in Cold Weather. *From where I drone*. [Online] 5 2017. [Citace: 30. 4 2017.] <http://fromwhereidrone.com/drone-tips-flying-cold-winter-weather/>.

- Dörnhöfer, Katja a Oppelt, Natascha. 2016.** Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances. *Ecological Indicators.*, stránky 105-122.
- Dragan Fly. 2008.** An Introduction to Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Dragan Fly*. [Online] 24. 8 2008. [Citace: 9. 3 2017.] <http://www.draganfly.com/blog/introduction-to-unmanned-aerial-vehicles-uavs/>.
- DroneWeb. 2016.** Informační portál o světě bezpilotních prostředků. *Drone Web*. [Online] 2016. [Citace: 2. 12 2016.] <http://www.droneweb.cz/co-je-dron>.
- Dvořák, P., a další. 2015.** Unmanned aerial vehicles for alien plant species detection and monitoring. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.*, stránky 83-90.
- Eisenbeiss, Henri. 2011.** The potential of unmanned aerial vehicles for mapping. *Photogrammetric Week.*, stránky 135-145.
- Flitelab. 2016.** Cold Weather Drone Flying Tips. *in the flitelab*. [Online] 23. 12 2016. [Citace: 28. 4 2017.] <https://blog.flitelab.com/2016/12/23/cold-weather-drone-flying-tips/>.
- Geoportál ČÚZK. 2017.** Prohlížečící služba Esri ArcGIS Server - Základní mapy ČR. *Geoportál ČÚZK*. [Online] 27. 3 2017. [Citace: 26. 4 2017.] [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(apnvqyrkst5tikfmcvshmdt5\)\)/Default.aspx?menu=3140&mode=TextMeta&side=wms.AGS&metadataID=CZ-CUZK-AGS-ZM-P&metadataXSL=metadata.sluzba](http://geoportal.cuzk.cz/(S(apnvqyrkst5tikfmcvshmdt5))/Default.aspx?menu=3140&mode=TextMeta&side=wms.AGS&metadataID=CZ-CUZK-AGS-ZM-P&metadataXSL=metadata.sluzba).
- George. 2016.** Drones For Industrial Use. *The best drones world*. [Online] 2016. [Citace: 20. 3 2017.] <http://thebestdronesworld.com/drones-for-industrial-use>.
- Gilíková, Helena. 2011.** Lomy cementárny Mokrá. *Geologické lokality*. [Online] 4. 11 2011. [Citace: 27. 4 2017.] <http://locality.geology.cz/3280>.
- Gisat. 2015.** Gisat. *gisat*. [Online] 13. 10 2015. [Citace: 6. 3 2017.] <http://www.gisat.cz/content/cz/druzicova-data/objednani-dat/zakladni-pojmy>.
- , 2017. Polohová přesnost dat. *Gisat*. [Online] 2017. [Citace: 19. 4 2017.] <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/zpracovani-dat/polohova-presnost-dat>.
- Habis, Cyrille. 2015.** Weather Considerations for Drones. *Linked in*. [Online] 12 2015. [Citace: 30. 4 2017.] <https://www.linkedin.com/pulse/weather-considerations-drones-cyrille-habis>.

- Harper, Douglas. 2017.** Drone. *Online etymology dictionary*. [Online] 2017. [Citace: 30. 4 2017.] <http://www.etymonline.com/index.php?term=drone>.
- Harveya, M.C., J.V., Rowlanda a Luketina, K.M. Luketina. 2016.** Drone with thermal infrared camera provides high resolution georeferenced imagery of the Waikite geothermal area, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research.*, stránky 61-69.
- Homeland Surveillance & Electronics LLC. 2015.** AGRICULTURE UAV DRONES. *Photos – Multi-Spectral Camera*. [Online] 2015. [Citace: 6. 3 2017.] http://www.agricultureuavs.com/photos_multispectral_camera.htm.
- International Civic Aviation Organization. 2011.** *Unmanned Aircraft Systems*. Montréal: International Civic Aviation Organization. str. 54. 978-92-9231-751-5.
- IoT Cluster. 2016.** Využití metody NDVI snímování zemědělských kultur v přesném zemědělství. *IoT Cluster*. [Online] 31. 3 2016. [Citace: 21. 4 2017.] <http://www.iotcluster.cz/vyuziti-metody-ndvi-snimkovani-zemedelskych-kultur-v-presnem-zemedelstvi/>.
- Jindřich, Štelcl, Vávra, Václav a Zimák, Jiří. 2011.** Mokrý. *Mineralogicko-petrografický exkurzní průvodce po území Moravy a Slezska*. [Online] 4. 7 2011. [Citace: 27. 4 2017.] http://pruvodce.geol.morava.sci.muni.cz/Mokra/Mokra_text.htm.
- Jonathan, Arundela, Oldroyd, Benjamin P. a Wintera, Stephan. 2013.** Modelling estimates of honey bee (*Apis* spp.) colony density from drones. *Ecological Modelling.*, stránky 1-10.
- Karas, Jakub a Tichý, Tomáš. 2016.** *Drony*. 1. vydání. Brno: Computer Press. str. 264. 978-80-251-4680-4.
- Košinová, Marie. 2016.** Přírodní rezervace V Rájích. *Třeboňsko*. [Online] 1. 1 2016. [Citace: 28. 4 2017.] <http://www.trebonsko.cz/prirodni-rezervace-v-rajich>.
- Křepelka, Jiří. 2010.** Precizní zemědělství a jeho přínosy. *Zemědělec*. [Online] 6. 8 2010. [Citace: 12. 4 2017.] <http://zemedelec.cz/precizni-zemedelstvi-a-jeho-prinosy/>.
- Kumhála, František. 2017.** Česká zemědělská univerzita v Praze. *O CPZ*. [Online] 2017. [Citace: 12. 4 2017.] <https://cpz.czu.cz/cs/>.
- Leea, Eun Ju, a další. 2016.** Early sinkhole detection using a drone-based thermal camera and image processing. *Infrared Physics & Technology.*, stránky 223-232.

Lillesand, Thomas M., Kiefer, Ralph W. a Chipman, Jonathan W. 2004. *Remote sensing and image interpretation*. 5. vydání. Las Vegas: The Lehigh Press. 0-471-15227-7.

Liszewski, Andrew. 2015. A Streaming Camera on this RC Paper Airplane Lets You Ride Along. *gizmodo*. [Online] 15. 10 2015. [Citace: 9. 3 2017.] <http://gizmodo.com/a-streaming-camera-on-this-rc-paper-airplane-lets-you-r-1736312679>.

Mensuro s.r.o. 2017. UAV a drony. *Mensuro*. [Online] 2017. [Citace: 30. 4 2017.] <http://mensuro.cz/uav-a-drony/>.

Minařík, Petr. 2016. *Dron centrum*. [Online] 23. 2 2016. [Citace: 28. 4 2017.] <http://www.droncentrum.cz/kvadrokoptery-vs-hexakoptery-vs-oktokoptery-pro-a-proti/>.

Mišák, Petr. 2015. Kvadrokoptéra nebo octocoptéra? Proč je počet vrtulí důležitý a kdy je na škodu? *Droni*. [Online] 20. 7 2015. [Citace: 28. 4 2017.] <https://www.droni.cz/kvadrokoptera-octocoptera-dron/>.

Morávková, Květa. 2017. Nepůvodní druhy fauny a flóry. *Český svaz ochránců přírody*. [Online] 27. 1 2017. [Citace: 13. 4 2017.] http://www.csop.cz/index.php?cis_menu=1&m1_id=1002&m2_id=1028&m3_id=1120&m_id_ol=1120.

Müllerová, Jana, a další. 2005. Aerial photographs as a tool for assessing the regional. *Journal of Applied Ecology*., stránky 1042-1053.

Müllerová, Jana, Pergl, Jan a Pyšek, Petr. 2013. Remote sensing as a tool for monitoring plant invasions: Testing the effects of data resolution and image classification approach on the detection of a model plant species *Heracleum mantegazzianum* (giant hogweed). *International journal of applied Earth observation and geoinformation*., stránky 55-65.

Morrison Innovations. 2014. Nano Drone – World’s Smallest Quadcopter. *Morrison Innovations*. [Online] 2014. [Citace: 3. 12 2016.] <http://www.morrisoninnovations.com/product/nano-drone-worlds-smallest-quadcopter/>.

New America. 2015. Drones and aerial observation. *World of drones*. [Online] 7 2015. [Citace: 20. 3 2017.] <http://drones.newamerica.org/primer/>.

Oršulák, Tomáš a Pacina, Jan. 2012. *Geoinformatika*. 1. vydání. Ústí nad abem: Centrum digitálních služeb MINO, 2012. 978-80-904927-5-2.

- Powell, Lucia. 2016.** 12 animals drones could save from extinction. *Dronetech*. [Online] 5. 16 2016. [Citace: 13. 4 2017.] <http://www.dronetechnews.net/12-animals-drones-save-extinction/1090/>.
- ProPhotoUAV. 2017.** Types of Drones – What are the different variations and how do they work. *ProPhotoUAV*. [Online] 11. 10 2017. [Citace: 30. 4 2017.] <https://www.prophotouav.com/types-of-drones-different-variations/>.
- Příroda Vysočiny. 2015.** Louky. *Příroda Vysočiny*. [Online] 2015. [Citace: 30. 4 2017.] <http://www.prirodavysočiny.cz/cs/41/louky>.
- Radev, Vlady. 2016.** Tips and Tricks on Flying a Drone in Cold Weather. *4K Shooters*. [Online] 26. 12 2016. [Citace: 28. 4 2017.] <http://www.4kshooters.net/2016/12/29/tips-and-tricks-on-flying-a-drone-in-cold-weather/>.
- Shahbazi, Mozhdeh, Jérôme, Théau a Ménard, Patrick. 2014.** Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing*, stránky 339-365.
- Schwarz, David. 2010.** Využití bezpilotních létajících prostředků pro telemetrické účely. *Perner's contacts*. [Online] 11 2010. [Citace: 12. 4 2017.] http://pernerscontacts.upce.cz/19_2010/Schwarz.pdf. 1801-674X.
- Stoszek, Jakub. 2009.** Precizní hospodářství. [Online] 2009. [Citace: 12. 4 2017.] http://wiki.cs.vsb.cz/images/e/eb/Sto171-gis-precision_farming.pdf.
- Svatoňová, Hana a Lauermann, Lubomír. 2010.** *Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací*. 1. vydání. Šlapanice: Masarykova Univerzita. 978-80-210-5162-1.
- Swell RC. 2017.** Remote Control Helicopter With Video Camera. *Swell RC*. [Online] 2017. [Citace: 9. 3 2017.] <http://www.swellrc.com/remote-control-helicopter-with-video-camera/>.
- Syma. 2016.** Syma toys. *Syma toys*. [Online] 2016. [Citace: 9. 3 2017.] <http://www.symatoys.com/goodshow/x5hw-syma-x5hw-fpv-real-time-the-new-drone.html>.
- Tang, Huajun a Li, Zhao-Liang. 2014.** *Quantitative remote sensing in thermal infrared*. Berlin: Springer. 978-3-642-42026-9.
- Tauroa, Flavia, Maurizio, Porfirib a Salvatore, Grimaldia. 2016.** Surface flow measurements from drones. *Journal of Hydrology*, stránky 240-245.

Tesse, D. Stek. 2016. Drones over Mediterranean landscapes. The potential of small UAV's (drones) for site detection and heritage management in archaeological survey projects: A case study from Le Piane in the Tappino Valley, Molise (Italy). *Journal of Cultural Heritage.*, stránky 1066-1071.

Venturaa, Daniele, a další. 2016. A low-cost drone based application for identifying and mapping of coastal fish nursery grounds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*, stránky 85-98.

Verschoor, Camiel R. 2016. *Conservation drones for animal monitoring.* Amsterdam: Informatics Institute, Faculty of Science, University of Amsterdam, str. 35.

Vintage wings of Canada. 2013 . The Mother of all drones. *Vintage wings of Canada.* [Online] 2013 . [Citace: 30. 4 2017.]
<http://www.vintagewings.ca/VintageNews/Stories/tabid/116/articleType/ArticleView/articleId/484/The-Mother-of-All-Drones.aspx>.

Wikipedia. 2017. Hyperspectral imaging. *Wikipedia.* [Online] 16. 2 2017. [Citace: 6. 3 2017.]
https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperspectral_imaging.

— . **2016.** Kettering Bug. *Wikipedia.* [Online] 16. 10 2016. [Citace: 3. 12 2016.]
https://en.wikipedia.org/wiki/Kettering_Bug.

— . **2017.** Ryan Firebee. *Wikipedia.* [Online] 20. 1 2017. [Citace: 9. 3 2017.]
https://en.wikipedia.org/wiki/Ryan_Firebee.

Zemek, František a kol., a. 2014. *Letecký dálkový průzkum Země.* 1. vydání. Brno: Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. str. 155. 978-80-87902-07-3.

Zhanga, Jian Zhanga, a další. 2016. Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring. *Biological Conservation.*, stránky 60-69.