

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí
Katedra biotechnických úprav krajiny



**Možnosti využití bezpilotních leteckých
prostředků se specializovanými senzory pro
monitoring životního prostředí**

Bakalářská práce

Vypracoval: Max Maixner

Vedoucí práce: Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Max Maixner

Územní technická a správní služba

Název práce

Možnosti využití bezpilotních leteckých prostředků se specializovanými senzory pro monitoring životního prostředí

Název anglicky

Possibilities of using unmanned aircraft with specialized sensors for environmental monitoring

Cíle práce

Cílem práce je rešerše využití bezpilotních leteckých prostředků se specializovanými senzory pro monitoring životního prostředí.

Metodika

Student provede komplexní rešerši možností bezpilotních leteckých prostředků v oblasti monitoringu životního prostředí se zaměřením zejména na využití spektrálních projevů půdy, vody, vegetace a sněhu. Součástí rešerše budou tedy jednak metody či principy metod a dostupné senzory pro UAV – multispektrální, termální, lidarový, případně hyperspektrální a mikrovlnný. Vhodné je také doplnění návaznosti na družicové nosiče.

Doporučený rozsah práce

50 stran

Klíčová slova

UAV, spektrální indexy, vegetační indexy, LiDAR, multispektrální senzor, DPZ

Doporučené zdroje informací

- Beck R. et al., (2016): Comparison of satellite reflectance algorithms for estimating chlorophyll-a in a temperate reservoir using coincident hyperspectral aircraft imagery and dense coincident surface observations. *Remote Sensing of Environment* 178: 15-30
- další zdroje z WOS
- Dronemapper: UAV Flight Tracking and Imagery Processing [online]. 2012 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://dronemapper.com/>
- Eisenbaisse H. (2011): The Potential od Unmanned Aerial Vehicles for Mapping. Dostupné z: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/140Eisenbeiss.pdf>
- Garg V., Kumar A., Aggarwal S.P., a kol., (2016): Spectral similarity approach for mapping inland waterbody. *Journal of Hydrology* 550: 527-537
- Oki K., Yasuoka Y., (2005): Mapping the annual potential total nitrogen load in the river basins of Japan with remotely sensed imagery. *Remote Sensing of Environment* 112: 3091-3098
- Pix4D UAV [online]. 2012, 11.5.2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.pix4d.com/>
- Remondino F. (2011): UAV Photogrammetry for mapping and 3D modeling: Current status and future perspectives. Dostupné z: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/1-C22/papers/remondino.pdf>
- Su T., Chou H. (2015): Application of Multispectral Sensors Carried on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to Trophic Mapping of Small Reservoirs: A Case Study of Tain-Pu Reservoir in Kinmen, Taiwan. *Remote sensing* 7: 10078-10097
-

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2019

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci „Možnosti využití bezpilotních leteckých prostředků se specializovanými senzory pro monitoring životního prostředí“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a veškeré použité prameny a informace řádně cituji v seznamu použité literatury.

V Praze 23. 4. 2019

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce a za poskytnutí užitečných rad. Dále bych tímto chtěl nejvíce poděkovat své rodině, přátelům a přítelkyni, kteří mě při studiu podporovali a pomáhali mi.

Abstrakt

Práce se zaměřuje na využití moderních bezpilotních prostředků (dále jen „UAV“) a jejich nosičů pro monitoring životního prostředí. V úvodu je popisována historie a vývoj UAV, následně jsou popsány typy UAV a jejich vlastnosti. Poté je popsána platná legislativa pro nakládání a užívání UAV a také prostory, ve kterých lze let s nimi provádět. Následně jsou popsány nosiče UAV, neboli specializované sensory, konkrétně multispektrální, termální, lidarové, mikrovlnné a hyperspektrální. Velká pozornost je následně zaměřena na spektrální projevy půdy, vody, vegetace a sněhu, měřené pomocí výše zmíněných senzorů. Hlavní zaměření je poté na popsání využití UAV v životním prostředí na příkladech konkrétních výzkumů.

Klíčová slova: UAV, multispektrální senzor, vegetační indexy, LiDAR, spektrální indexy, DPZ

Abstract

This bachelor thesis focuses on the use of modern „UAV“ and their sensors for environmental monitoring. In the introduction is described the history and development of UAV. Next are described types of UAV and their properties, including used legislation for dealing with UAV and the spaces in which flight can be conducted. Subsequently are described the specialized sensors, specifically thermal, multispectral, lidar, microwave and hyperspectral. Great attention is focused on the spectral expressions of soil, water, vegetation and snow, measured by above – mentioned sensors. The main focus is on describing the use of UAV in the environment on examples of specific research.

Keywords: UAV, multispectral sensor, vegetation index, LiDAR, spectral index, DPZ (remote land survey)

Seznam použitých zkratk:

UA – Unmanned Aircraft (bezpilotní letadlo)

UAV – Unmanned Aerial Vehicle (bezpilotní letecký prostředek)

UAS – Unmanned Aircraft System (bezpilotní letecký systém)

LiDAR – Light Detection And Ranging (metoda dálkového měření vzdálenosti)

DPZ - dálkový průzkum Země

GPS - Global Positioning System (globální polohový systém)

GIS - geografický informační systém

ČSAV – Československá akademie věd

SFAP – Small-Format Aerial Photography (vzdušná fotografie malého formátu)

KAP – Kite Aerial Photography (vzdušné snímkování s využitím draka)

NIR – Near InfraRed (blízká infračervená část spektra)

SWIR – Short-Wave InfraRed (krátko-vlnné infračervené záření)

TIR – Thermal InfraRed (infračervené teplotní záření)

IMU – Inertial Measurement Unit (inerciální měřicí jednotka)

SAR – Synthetic Aperture Radar (radar se syntetickou aperturou)

RED – červená viditelná část spektra

RVI – Ratio Vegetation Index (poměrový vegetační index)

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (normalizovaný diferenční vegetační index)

VIS – VISIBLE Spectrum (viditelná část spektra)

WGS – 84 – World Geodetic System 1984 (světový geodetický systém)

S – JTSK – systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

IMU – Inertial Measurement Unit (inerciální měřicí jednotka)

INS – Inertial Navigation Systems (inerciální navigační systémy)

MEMS – MicroElectroMechanical Systems (mikroelektromechanické systémy)

DEM – Digital Elevation Model (digitální elevační model)

DMT – digitální model terénu

DMP – digitální model povrchu

EASA – European union Aviation Safety Agency (evropská agentura pro bezpečnost letectví)

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Cíle práce | 1 |
| 3 | Metodika | 1 |
| 4 | Bezpilotní prostředky | 2 |
| 4.1 | Co je to UA, UAV a UAS | 2 |
| 4.2 | Historie bezpilotních prostředků | 2 |
| 4.2.1 | Historie UAV na území ČR | 3 |
| 4.3 | Rozdělení UAV | 4 |
| 4.4 | Typy UAV | 6 |
| 5 | Výbava bezpilotních leteckých prostředků | 10 |
| 5.1 | GPS | 10 |
| 5.2 | IMU jednotka | 10 |
| 5.3 | Autopilot | 11 |
| 6 | Právní úprava | 12 |
| 6.1 | Legislativa | 12 |
| 6.1.1 | Dělení a požadavky | 12 |
| 6.2 | Prostory pro provádění letu | 14 |
| 7 | Senzory | 16 |
| 7.1 | Multispektrální snímač | 17 |
| 7.2 | Termální snímač | 19 |
| 7.3 | LiDAR | 20 |
| 7.4 | Mikrovlnný snímač | 21 |
| 7.5 | Hyperspektrální snímač | 22 |
| 8 | Spektrální projevy | 23 |

| | | |
|-----|-----------------------------------|----|
| 8.1 | Vegetační indexy | 24 |
| 8.2 | Půda | 24 |
| 8.3 | Voda..... | 25 |
| 8.4 | Vegetace..... | 25 |
| 8.5 | Sníh..... | 26 |
| 9 | Využití v ŽP..... | 27 |
| 9.1 | Mapování vodních ploch | 27 |
| 9.2 | Mapování krajinného pokryvu | 29 |
| 9.3 | Archeologie..... | 32 |
| 10 | Diskuze | 34 |
| 11 | Závěr..... | 35 |
| 12 | Použitá literatura | 36 |
| 13 | Seznam tabulek a obrázků | 38 |

1 Úvod

Vývoj bezpilotních leteckých prostředků je společně s vývojem robotiky a programového inženýrství nejrychleji vyvíjejícím se odvětvím. Neustálý vývoj a zdokonalování současné technologie poskytuje dnešním UAV, neboli hovorově řečeno „dronům“, společně s nástupem internetu a všech možností, jež nabízí, uplatnění téměř všude. Technologie bezpilotních prostředků je známá již více jak 50 let, avšak jako většina nejmodernějších technologií, skoro vždy spadá pod vývoj vlády a vládních organizací. Největší rozmach má však v posledních 30 letech, kdy na začátku byly vyvíjeny bezpilotní systémy vojenskou činností. Postupem času ale našly drony mnoho jiných a širších uplatnění. V minulosti mapové podklady podléhaly vlastnictví státu a byly utajovány. Před nástupem družic byla totiž ke snímkování a mapování využívána letadla s posádkou a pozemní terénní šetření nebylo nijak neobvyklé. Tehdy byly jedny z nejpřesnějších map totiž výsledkem vojenského mapování. Dnes je možné získat mapové podklady a materiály jednoduše, jelikož jsou často k dispozici široké veřejnosti. Díky těmto a jiným podkladům je nyní možné drony naprogramovat na mnoho nastavení. Od manuálního ovládání až po zcela autonomní let. Stále se snižující náklady, pořizovací cena dronu a snímacích zařízení, jsou důvodem, proč jsou dnes drony tolik využívány pro vědecké účely, především pro mapování a archeologii. Minulé století patřilo družicovým systémům, avšak toto století bude nejspíše patřit dronům jakožto autonomním robotickým systémům.

2 Cíle práce

Cílem práce je teoretické popsání problematiky využití bezpilotních leteckých prostředků a jejich specializovaných sensorů ve využití v monitoringu životního prostředí společně s uvedením praktických příkladů.

3 Metodika

Metodika bakalářské práce je literární rešerše dostupných českých a zahraničních literárních zdrojů na téma využití bezpilotních leteckých prostředků a jejich specializovaných sensorů ve využití v monitoringu životního prostředí.

4 Bezpilotní prostředky

4.1 Co je to UA, UAV a UAS

Zkratka UAV v doslovném překladu znamená bezpilotní létající prostředek. Jde o létající prostředek bez fyzické přítomnosti pilota na palubě. Tento výraz je obecný a více rozšířený, avšak nepřesně určuje náležitou bezpilotní technologii. Proto se postupně rozšířil o označení UAS, neboli bezpilotní letecký systém, aby bylo jasné, že se jedná o komplexní systém skládající se z pozemní stanice a samotného létajícího prostředku. (TheUAV.com, 2019). Úřad pro civilní letectví definuje UAS (letecký předpis L2 – doplněk X) jako systém který je tvořen bezpilotním letadlem, řídicí stanicí a jakýmkoliv dalším prvkem, jež je nezbytný k umožnění letu. Takovým prvkem může být například komunikační spojení nebo zařízení pro vypouštění bezpilotního letadla. Bepilotních letadel, řídicích stanic a zařízení pro vypuštění může být v rámci bezpilotního systému více. V definicích Úřadu pro civilní letectví existuje ještě termín UA, tj. bezpilotní letadlo. Bepilotní letadlo jsou všechna bezpilotní letadla, výjimka modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřevyšující 20 kg (ÚCL ČR, 2019 a)). Mezi bezpilotní letadla lze zařadit i autonomní letadlo, které je charakterizováno neumožněním zásahu pilota do řízení letu, jelikož tento prostředek má jasně naprogramovanou trasu letu (ÚCL ČR, 2019 b)).

4.2 Historie bezpilotních prostředků

Vývoj bezpilotních leteckých prostředků započal již v daleké historii. Jedny z prvních zmínek se objevují v 19. století. Dne 22. srpna 1849 Rakousko napadlo italské město Benátky za použití bezpilotních balónů naložených výbušninami. Dalšího pokroku se v bezpilotních prostředcích dosáhlo během první světové války. V roce 1917 americká armáda zahájila práce na projektu KetteringBug, který poprvé vzlétl v roce 1918 (obr. č. 1). Tento bezpilotní letoun byl zamýšlen jako vzdušné torpédo proti vzducholodím. Ve 30. letech 20. století Spojené království a Spojené státy vyvinuly Radioplane OQ-2, malý dálkově ovládaný letoun.

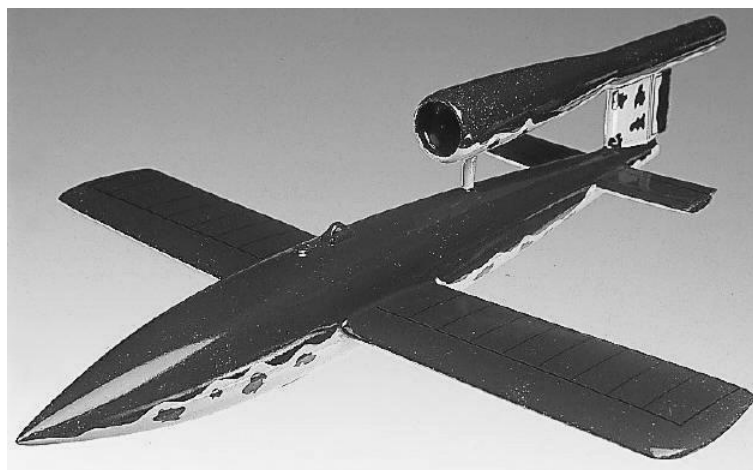
Obr. č. 1



Replika Ketterin Bug v Národním muzeu USAF (URL 1)

Německá armáda v roce 1938 začala s vývojem rádiově řízené bomby, určené k ničení lodí, s názvem V1 (obr. č. 2). Avšak V1 byla spíše střela s plochou dráhou letu nežli UAV. Nicméně křídla střely V1 byla použita jako základní model pro dálkově řízené terče (Guerrero & Lozano, 2012).

Obr. č. 2



Bezpilotní střela Fieseler Fi-103 neboli V1 (URL 2)

4.2.1 Historie UAV na území ČR

Na území bývalé Československé republiky jsou nejvýznamnějším obdobím 70. léta minulého století. Jedny z prvních výzkumů začaly již v roce 1965, kdy O. Stehlík sestrojil dálkově ovládaný model, který využíval padákové křídlo. Dále následovaly

pokusy s letadlem s pevným křídlem, které sestrojili pracovníci ČSAV společně s organizací SWAZARM Brno. Nakonec však vznikl model Rogalo 1976 s padákovým křídlem, který se zanedlouho dočkal robustnější konstrukce, aby mohl nést první multispektrální kameru Flexaret M-6. Tento upravený model dostal označení 1981. Díky této komoře a speciálním filmům byl možný přesah do infračervené části spektra, která je velmi dobře využitelná při studiu vegetace. Bohužel v té době nebyla k dostání dostatečná výpočetní technika, jež by zajistila sofistikovanější využití např. při vyhodnocování modelů povrchu či terénu (Mířijovský, 2013).

Obr. č. 3



Model Rogala 1981 (URL 3)

4.3 Rozdělení UAV

Bezpilotní prostředky je možné třídit dle mnoha kritérií, jako nosnost, velikost atd. To jsou ale již konkrétní parametry jednotlivých systémů. Jelikož je dnes již nezměrné množství takových prostředků, práce rozčlení prostředky podle typu využití, typu pohonu, konstrukce a váhy. Konkrétní parametry uvede u popsání náležitých typů.

Obecně lze řadit bezpilotní prostředky do základních kategorií podle využití:

- 1) Cvičné – terče a návnady využívané k simulacím
- 2) Průzkumné – zpravodajské a výzvědné, slouží ke sběru dat
- 3) Bojové – prostředky vybavené zbraněmi, nasazovány při vysokém riziku zranění člověka
- 4) Výzkumné – slouží k samotnému vývoji UAV technologií nebo pro jiná vědecká využití
- 5) Civilní a veřejné – běžně prodejné prostředky ke komerčnímu užití

(TheUAV.com, 2019)

Dále zde je již zmíněné rozdělení bezpilotních prostředků dle typu pohonu, konstrukce křídla a váhy.

Tab.č. 1 (převzato od Eisenbeiß, 2009)

| Typ pohonu | Lehčí než vzduch | Těžší než vzduch | | |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|
| Nemotorový pohon | Balon | Flexibilní křídlo | Pevné křídlo | Rotační křídlo |
| | | Rogalo | Větroň | |
| | | Paraglida | | |
| | | Drak | | |
| Motorový pohon | Vzducholod' | Paraglida | Letadlo | Vrtulník |
| | | | | Multikoptéry |
| | | | | Vírník |

Tabulka č. 2 níže hodnotí klady a zápory systémů z tabulky č. 1 v závislosti na kritériích jako je dolet, odolnost, manévrovatelnost a závislost systému na počasí. V tabulce jsou za nejlepší hodnoty brána označení ++, střední hodnoty nesou označení + a nejnižší hodnoty jsou značeny -.

Tab.č. 2 (převzato od Eisenbeiß, 2009)

| Bezpil. prostředek | Dolet | Odolnost | Závislost na počasí | Manévrovatelnost |
|---------------------------|--------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| Balón | ++ | + | - | - |
| Vzducholoď | ++ | + | - | + |
| Paraglida, rogalo, drak | + | - | - | - |
| Větroň | ++ | + | - | + |
| Letadlo | ++ | ++ | + | + |
| Vrtulník, vírník | ++ | + | + | ++ |
| Multikoptéra | + | + | - | ++ |

Z tabulky č. 2 vyplývají dvě zásadní věci. Prostředky s pevným křídlem mají společně se systémy, které využívají k letu plyn lehčí než vzduch, nejlepší dolet. V praxi v tomto ohledu nejvíce vynikají balón a letadlo. Naproti tomu prostředky s rotačním křídlem mají nejlepší manévrovatelnost. Zde nejvíce vynikají vrtulníky s jedním rotorem a multikoptéry, které se řadí mezi nejlépe ovladatelné létající prostředky. Konkrétní cíle a úkoly si žádají specifické vlastnosti. Výše zmíněné hodnocení nastiňuje vlastnosti prostředků.

4.4 Typy UAV

Drak

Tato platforma se v odborné literatuře označuje jako KAP (Kite Aerial Photography) a jako jedna z prvních se začala používat pro SFAP, neboli vzdušnou fotografii malého formátu (Aber a kol., 2010). Dnes se vrací zpět při snímkování území. Od 90. let minulého století se drak ve využití jako nosič kamery nebo fotoaparátu používá v celé řadě vědeckých aplikací a studií. Od mapování přírodních útvarů po mapování archeologických prací, jako např. při archeologickém výzkumu v Abúsíru na podzim roku 2012. V České republice se však drak v archeologii využívá výjimečně (Brůna, 2013). Tato platforma je nejvíce limitována dvěma faktory, a to doslova délkou lana, na které je drak upevněn a rychlostí větru. Bezvětří se považuje u platform typu

vrtulník a letadlo za výhodu, u draka je to však nepřekonatelná překážka (Mířijovský, 2013). Aber a kol. (2010) uvádí, že pro draka je minimální rychlost větru 4 m/s. Shrnutě, drak je platforma, která vyniká svojí jednoduchostí a nenáročností, je vhodná pro menší rozlohu snímkaného území a disponuje malou nosností snímkovacího zařízení.

Obr. č. 4



Drak se zavěšeným fotoaparátem (URL 4)

Balón

Balón je jeden z nejstarších bezpilotních prostředků. Jeho největší výhodou je schopnost nést velkou zátěž. Jak uvádí Osborne & Haines (2010), americká vláda ve spolupráci se společností Raven v 70. letech minulého století sestrojila polyesterový kulový přetlakový balón (obr. č. 5, URL 5), který unesl 1000librový náklad (453,6 kg). Tento náklad byl schopný vynést do stratosféry na velmi dlouhou dobu.

Obr. č. 5



Schopnost balónů „stát“ ve vzduchu na místě společně s tím, že nejde o motorový prostředek, který nevytváří žádné vibrace, lze považovat za nesporné výhody při aplikacích, jež vyžadují dlouhý čas snímkování. Naproti tomu mezi nedostatky balónů lze zařadit nutnost použití pro snímkování rozlohy malé oblasti. Po napuštění balónu např. héliem již není možné platformu převážet na jinou zájmovou plochu. Z těchto důvodů nejsou vhodné aplikace, kde se počítá s častou frekvencí snímkování (Miřijovský, 2013). Shrnutě, balón je platforma, která vyniká svou vysokou nosností, délkou letu a je vhodná pro snímkování menší rozlohy.

Letadlo

Letadla jsou nejrozšířenější skupinou bezpilotních prostředků, která našla své uplatnění při snímkování. Z hlediska historie vývoje leteckých prostředků je zřejmé, že člověk vývoji letadel věnoval nejvíce pozornosti. Jako každá platforma má však své klady a zápory. Neopominutelná výhoda dlouhého doletu je na druhou stranu však vyvážena omezením, konkrétně vysokou rychlostí letu. Vysoká rychlost letu zneumožňuje exponování snímkování delším časem (Miřijovský, 2013). Krásným příkladem vlastností letadla je Altair (obr. č. 6, URL 6), postavený ve spolupráci s NASA. Altair, jakožto verze amerického predátora B, je navržen na úkoly, které vyžadují vytrvalost a spolehlivost. Tento letoun je schopen vystoupat téměř do výšky 16 km a setrvat ve vzduchu více než 30 hodin. Řízení letu je buď vzdáleně pilotované, nebo plně autonomní. Shrnutě, letoun je platforma, která vyniká doletem a svou odolností a je vhodná pro snímkování větší rozlohy (TheUAV.com, 2019).

Obr. č. 6



Multikoptéra

Systémy, které využívají k letu více rotorů, jsou mladou platformou. Jejich princip funguje stejně jako u helikoptéry, avšak narozdíl od ní nevyžaduje zadní vrtuli ke kompenzaci rotace kolem svislé osy. Díky více rotorům (4 kvadroptéra, 6 hexakoptéra, 8 oktoptéra) s vertikálním tahem zajistí výbornou stabilitu letu, a to rozdílným tahem jednotlivých vrtulí. Příkladný zástupce této platformy je Hexakopter XL, šestivrtulový multirotorový systém, (obr. č. 7) vyrobený německou firmou HiSystemsGmbH. Řadí se do rodiny mikrokoptérů, jehož kostra je tvořena hliníkovým rámem (Miřijovský, 2013).

Obr. č. 7



Hexakopter XL se stabilizovanou kamerou Nikon600D (URL 7)

Mezi hlavní výhody této platformy jednoznačně patří jednoduchost pohonného systému. Rotor je připevněn přímo k vrtuli a není zapotřebí žádného převodního systému. Dále tu je z bezpečnostního hlediska redundance. Při poruše jednoho rotoru či vrtule zbytek rotorů převezme výkon pro let a bezpečně přistane. Shrnutě, multikoptéra je platforma, která jednoznačně vyniká svou manévrovatelností a je vhodná pro snímkování území malé rozlohy.

5 Výbava bezpilotních leteckých prostředků

5.1 GPS

Tato technologie globálního družicového navigačního systému, vytvořená a spravovaná americkou armádou má neuvěřitelně všestranné využití. Jejím hlavním úkolem je navigace ve trojrozměrném prostoru. K tomuto úkonu systém vypočítává polohu, rychlost a čas. Pro výpočet těchto veličin je však zapotřebí přijímat signály ze 4 družic. Od počtu družic a množství přijatých dat je poté charakterizována přesnost. Na bezpilotní prostředek lze umístit jen přijímač, který přijímá a zpracovává GPS signály a na výstupu poskytuje požadované informace, jako poloha, čas a případně i rychlost pohybu. Přijímače mohou být jednokanálové nebo vícekanálové a tvoří je 3 základní prvky:

- anténa
- navigační přijímač
- navigační počítač

Tyto přijímače poskytují určenou polohu v geografických souřadnicích systému WGS – 84 a v případě potřeby je možnost převedení do některého běžného kartografického zobrazení. Jediná nevýhoda na území ČR je dodatečná transformace souřadnic do systému S – JTSK (Rapant, 2002). Systém GPS poté úzce spolupracuje s IMU jednotkou.

5.2 IMU jednotka

Tento senzor je využíván v mnoha různých aplikacích. Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí popisuje jednotku jako „zařízení pro inerciální navigaci obsahující gyroskopy a akcelerometry, které určují nezávisle na prostorové poloze senzoru jeho úhlové prvky vnější orientace vůči přijatému souřadnicovému referenčnímu systému“ (VÚGTK, 2019). Jinak řečeno, hlavní využití jednotky spočívá v měření rychlosti, orientace a gravitační síly. Na tento úkol využívá výše zmíněné akcelerometry, gyroskopy a v novějších verzích i magnetometry. Akcelerometry jsou používány k měření setrvačného zrychlování, gyroskopy na druhou stranu měří úhlovou rotaci, a v neposlední řadě magnetometry poté měří magnetické pole (Ahmad a kol., 2013).

Diagram č. 1 (upraveno dle Falco a kol., 2016)

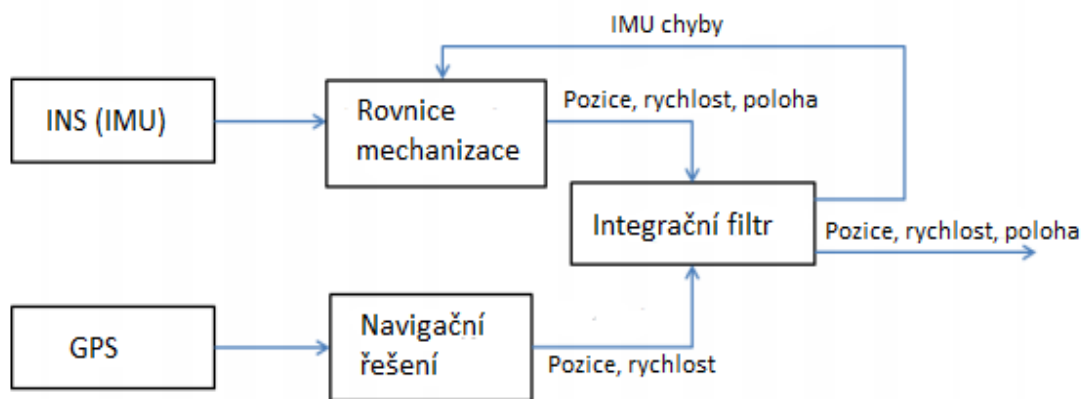


Schéma spolupráce GPS a INS, jako zde např. IMU jednotky

5.3 Autopilot

Systém autopilota se dnes široce používá v moderních letadlech a lodích. Chao a kol., (2010) ho popisuje jako MEMS systém používaný k navádění bezpilotního prostředku bez asistence lidského operátora, skládající se z hardwarové a softwarové části. Je využíván především k navádění UAV po nadeřinované trase nebo skrze cestovní body, které je třeba proletět. Výkonnější verze autopilota dokáže navádět bezpilotní prostředek téměř ve všech stupních, od vzletnutí, přes stoupání a klesání, sledování nadeřinované trajektorie až po přistání. Poté už lze mluvit o zcela autonomním letu.

6 Právní úprava

6.1 Legislativa

Hlavní legislativní rámec je uvedený v kritériích přílohy II nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 216/2008 v platném znění, které mimo jiné upravují letecký provoz a související osvědčení. V České republice je rámec tvořen leteckým předpisem L2 – doplněk X. Tento doplněk stanovuje národní požadavky na výrobu, údržbu a provoz bezpilotních systémů, které splňují výše zmíněná kritéria. Dále také provoz bezpilotních systémů musí být v souladu s následujícími zákony:

- o nakládání s bezpečnostním materiálem č. 310/2006 Sb.
- o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb.
- o chemických látkách a chemických přípravcích č. 356/2003 Sb.
- o odpadech č. 185/2001 Sb.
- o požární ochraně č. 133/1985 Sb.
- o vodách č. 245/2001 Sb.
- o životním prostředí č. 17/1992 Sb.

V neposlední řadě také v souladu se stanoviskem Úřadu pro ochranu osobních údajů č. 1/2013 (ÚCL ČR, 2019 b)).

6.1.1 Dělení a požadavky

Bezpilotní prostředky lze rozdělit podle doplňku X leteckého předpisu L2 do 4 základních skupin podle maximální vzletové hmotnosti:

- 1) Modely letadel s max. vzletovou hmotností do 0,91 kg
- 2) Modely letadel s max. vzletovou hmotností do 7 kg
- 3) Modely letadel s max. vzletovou hmotností do 25 kg
- 4) Bezpilotní letadla (počítaje v to modely letadel s max. vzletovou hmotností nad 25 kg)

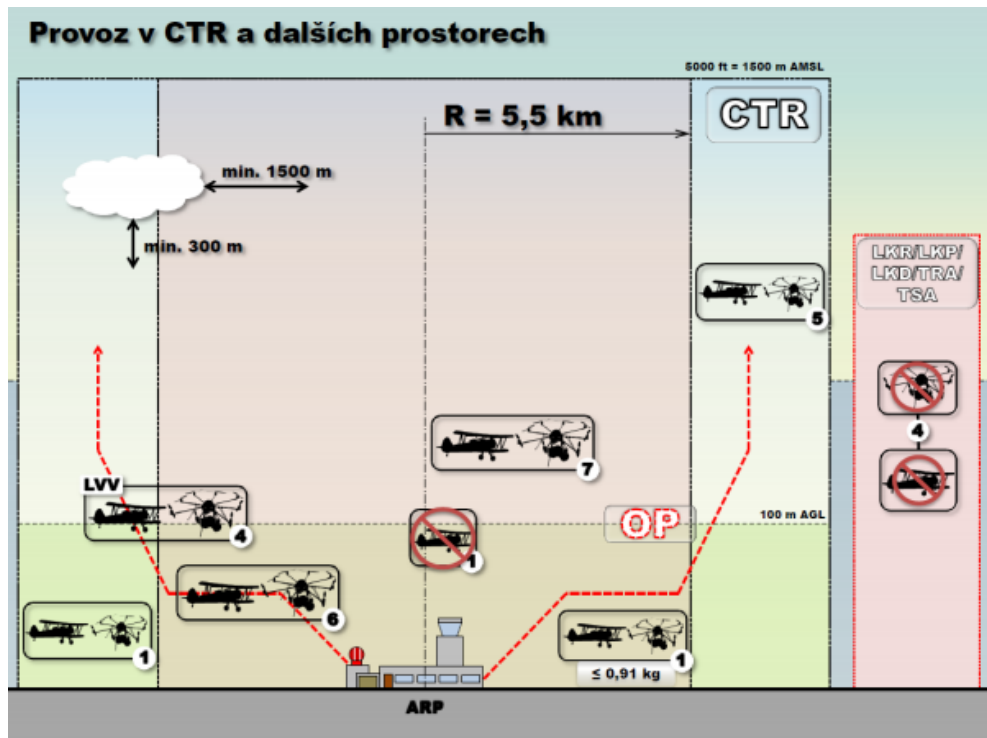
V tabulce č. 3 níže jsou popsány konkrétní požadavky pro rekreační, sportovní, výdělečné a výzkumné účely použití bezpilotních prostředků rozdělených do skupin dle maximální vzletové hmotnosti (ÚCL ČR, 2019 b)). Písmeno A reprezentuje ANO, a písmeno N reprezentuje NE.

Tabulka č. 3 (převzato z leteckého předpisu L2 – doplněk X)

| maximální vzletová hmotnost | do 0,91 kg | | do 7 kg | | do 25 kg | | nad 25 kg | |
|--|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | rekreačně-sportovní | výdělečné a výzkumné | rekreačně-sportovní | výdělečné a výzkumné | rekreačně-sportovní | výdělečné a výzkumné | rekreačně-sportovní | výdělečné a výzkumné |
| Účel užití | | | | | | | | |
| Požadavek | | | | | | | | |
| evidence prostředku | N | A | N | A | N | A | A | A |
| evidence pilota | N | A | N | A | N | A | A | A |
| praktické a teoretické otestování pilota | N | A | N | A | N | A | A | A |
| povolání k létání | N | A | N | A | N | A | A | A |
| označení UA: ID štítek/ID štítek +pozn. značka | N / N | A / A | A / N | A / A | A / N | A / A | A / N | A / A |
| dozor | N | N | N | N | N | N | A | A |
| provozní příručka | N | A | N | A | N | A | N | A |
| hlášení událostí | N | A | N | A | N | A | A | A |

vzdálenosti větší než 5 500 m od vztažného bodu řízeného letiště, s výjimkou, pokud tak povolí Úřad pro civilní letectví. Bezpilotní letadlo a model letadla s max. vzletovou hmotností do 0,91 kg může v tomto řízeném okrsku provádět let bez koordinace i v menší vzdálenosti od letiště pouze do výšky 100 metrů nad zemí a mimo ochranná pásma daného letiště (viz obr. č. 9).

Obr. č. 9 (převzato z Leteckého předpisu L2 – doplněk X), (URL 9)



Obr. č. 10 (Legenda k obrázkům č. 8 a 9, převzato z Leteckého předpisu L2 – doplněk X), (URL 10)

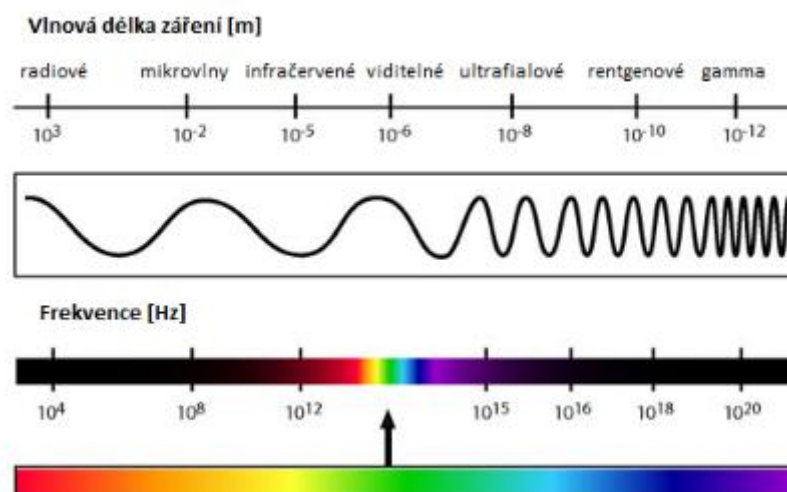
| | | | |
|--------------|--|------------|---------------------------|
| | Modely letadel s maximální vzletovou hmotností do 25 kg | | |
| | Bezpilotní letadla (tj. včetně modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nad 25 kg) | | |
| CTR | Řízený okresek letiště | LKR | Omezený prostor |
| ATZ | Letištní provozní zóna neřízeného letiště | LKP | Zakázaný prostor |
| OP | Ochranná pásma letišť | LKD | Nebezpečný prostor |
| G / E | Označení třídy vzdušného prostoru | TSA | Dočasně vyhrazený prostor |
| ARP | Vztažný bod letiště | TRA | Dočasně vymezený prostor |
| AMSL | Nadmořská výška | AGL | Nad úrovní země |
| 1 | Lety bez koordinace | | |
| 2 | Splnění podmínek provozovatele letiště (PL) + koordinace s letištní informační službou (AFIS) | | |
| 3 | Splnění podmínek PL + koordinace s AFIS | | |
| 4 | Souhlas/povolení ÚČL | | |
| 5 | Letové povolení příslušného stanoviště řízení letového provozu (ŘLP). ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru | | |
| 6 | Povolení ÚČL (nebo v případě leteckých prací (LP) koordinace s ŘLP + koordinace s PL). ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru | | |

Minimální výšky letu bezpilotních letadel a modelů letadel se dle Hlavy 4, ust. 4.6 a doplňku O, ust. 2. 3. 3. tohoto předpisu neuplatňují (ÚCL ČR, 2019 b)).

7 Senzory

Téměř všechny objekty na zemském povrchu vyzařují či odráží energii. Konkrétně elektromagnetické záření. Zdrojem tohoto záření je Slunce a dále všechny objekty, jejichž teplota není menší než absolutní nula, tj. $-273,15\text{ °C}$. Fyzikální vlastnosti zemského povrchu a objektů na něm určují vzájemnou interakci při dopadu elektromagnetického záření, protože záření se buď odrazí, projde nebo je pohlceno. Senzory zachycují určité vlnové délky záření a zaznamenávají informace, které jsou normálně pro lidské oko neviditelné. (CENIA, 2016).

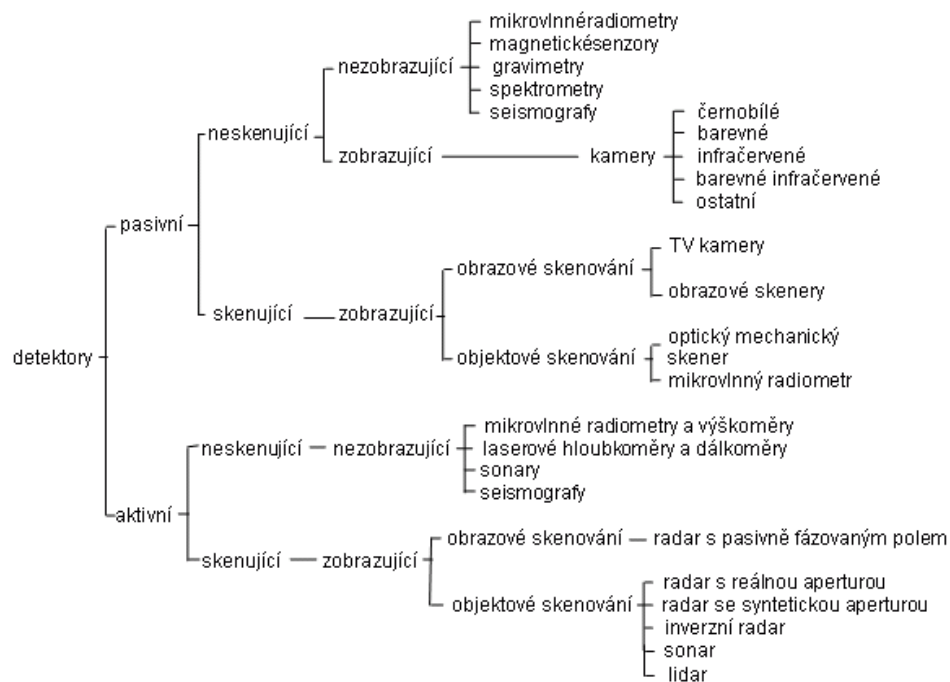
Obr. č. 11



Elektromagnetické spectrum (URL 11)

Bezpilotní prostředky využívají ke svému působení speciální senzory uzpůsobené ke konkrétnímu požadavku. Dnes se využívá nezměrné množství systémů. Na diagramu č. 2 jsou senzory, nebo také jinak detektory, rozčleněny zda jsou pasivní (sledují charakteristiku přirozených fyzikálních polí) či aktivní (sledují charakteristiku uměle vybuzených polí) a zda jsou zobrazující (zachycují obraz objektu) či nezobrazující (měří charakteristiku zkoumaného objektu), (Schejbal a kol., 2006).

Diagram č. 2 (převzato od Schejbal a kol., 2006)



7.1 Multispektrální snímač

O multispektrálním snímání se dá hovořit, jsou-li data pořizována z **několika** vlnových délek (Coufalová a kol., 2006). V tomto snímání kamery pořizují obraz s větším spektrálním rozlišením než tradiční barevné kamery. Každý pixel na obrázku má vektor intenzity hodnoty (namísto klasických R, G, B hodnot), kde každá hodnota odpovídá přicházejícímu světlu nad rozsahem malé vlnové délky. Toho lze dosáhnout zachycením každé skupiny separovaně se zúženým barevným filtrem nebo skenováním obrazu spektrometrem (Jordan & Angelopoulou, 2010). Jinými slovy výsledkem jsou multispektrální snímky zachycené v určité vlnové délce elektromagnetického spektra. Určité vlnové délky pak mohou být odděleny výše zmíněnými filtry nebo přístroji. V tabulce č. 4 jsou uvedeny spektrální třídy využívané družicí Landsat 8, která pořizuje snímky v různém rozsahu elektromagnetického spektra.

Tabulka č. 4 (upraveno podle landsat.gsfc.nasa.gov, 2019)

| Spektrální třída | Vlnová délka (μm) |
|-------------------------------------|--------------------------|
| 1 – hluboké odstíny modré a fialové | 0, 433 – 0, 453 |
| 2 – viditelná modrá | 0, 450 – 0, 515 |
| 3 – viditelná zelená | 0, 525 – 0, 600 |
| 4 – viditelná červená | 0, 630 – 0, 680 |
| 5 – NIR | 0, 845 – 0, 885 |
| 6 – SWIR 1 | 1, 560 – 1, 660 |
| 7 – SWIR 2 | 2,100 – 2, 300 |
| 8 – panchromatické zachycení | 0, 500 – 0, 680 |
| 9 – TIR 1 | 10, 6 – 11, 2 |
| 10 – TIR 2 | 11, 5 – 12, 5 |

Na obrázku č. 12 (URL 12) je příklad snímku z výše zmíněné družice Landsat 8, která zaznamenala snímek v pásmu NIR elektromagnetického spektra. Tato část spektra je významná v ekologii, kde velmi dobře reflektuje zdravou vegetaci (Loyd, 2013).

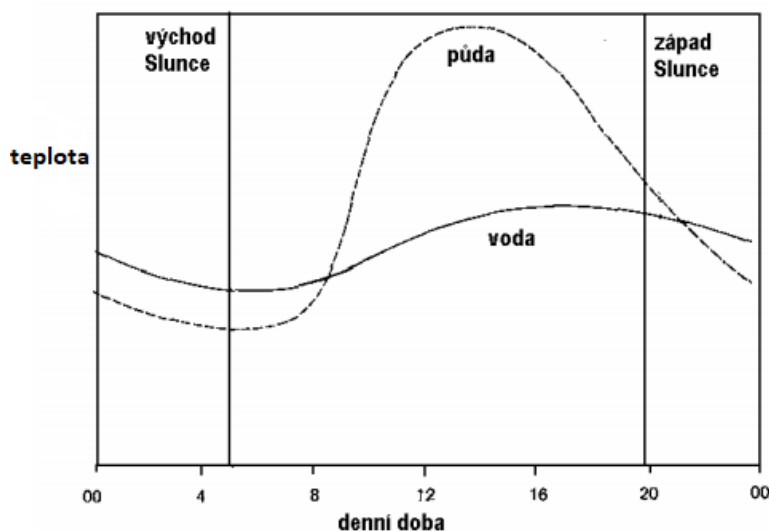
Obrázek č. 12



7.2 Termální snímač

Termální snímání probíhá od vlnové délky 3 μm elektromagnetického spektra. Je snímáno emitované záření, vyzařované Zemí a objekty na ní, které udává informace o teplotních vlastnostech (Oršulák & Pacina, 2010). Mezi největší výhodu tohoto snímání patří možnost snímání i v průběhu noci. Na obrázku č. 13 je znázorněna denní radiační křivka vody a půdy. Jak zde vyplývá, voda si udržuje poměrně stálou teplotu v průběhu celého dne, kdežto půda značně zvyšuje svou teplotu s přibývajícím intenzitou slunečního záření.

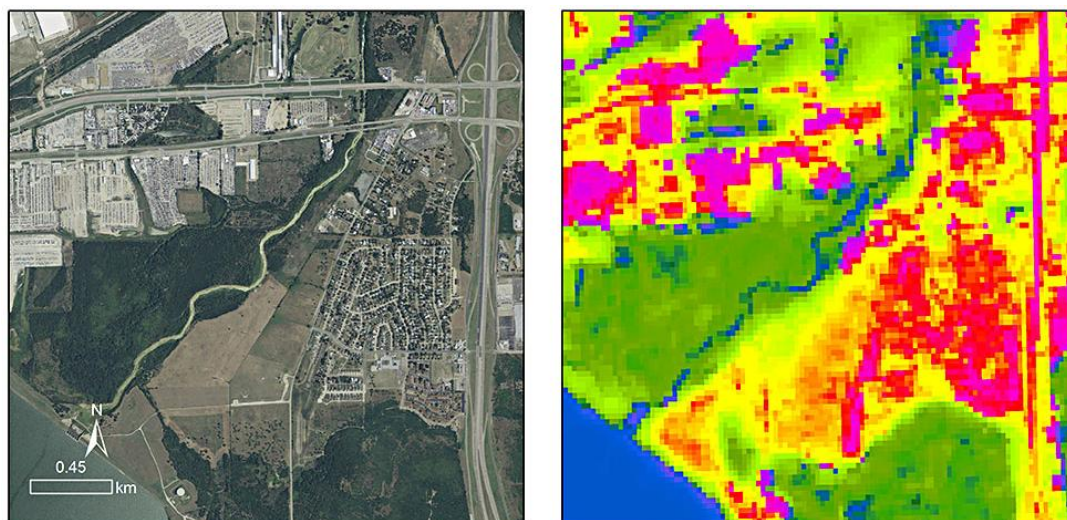
Obr. č. 13



Denní chod radiační teploty (URL 13)

V této metodě snímání však nelze opominout nevýhodu nižšího rozlišení pořizovaných snímků oproti jiným metodám. Na obrázku č. 14 (URL 14) na další straně je vlevo pro srovnání klasický barevný snímek území a vpravo je termální snímek téhož území. Voda je na většině termálních snímků v tmavých barvách, kdežto vegetace a zástavba mají barvy světlé dle intenzity emitovaného záření.

Obr. č. 14



7.3 LiDAR

Tento typ snímače pracuje na jednoduchém principu, který za pomoci pulzního laseru měří vzdálenost. Senzor vystřelí paprsek světla a měří dobu, než se odražený paprsek vrátí zpět. Výpočet vzdálenosti je pak počítán dle vzorce (LiDAR UK, 2019):

$$VZ = (RS/2) \cdot DL$$

VZ = vzdálenost

RS = rychlost světla

DL = doba letu

Vypočítaná vzdálenost je pak kombinována s polohovou a poziční informací senzoru, a vznikají tak data s polohovým a výškovým určením. Polohová informace je získávána pomocí technologie GPS, kdežto informace o pozici v prostoru udává IMU jednotka. Tato metoda laserového skenování je rychlá a detailní při získávání dat o povrchu Země. Aby dosáhla takových hodnot, využívá laserových skenerů, které dokáží vypálit až 250 000 pulzů za vteřinu. Tím vzniká takzvané mračno bodů (Shekhar a kol., 2017).

Obr. č. 15



Příklad laserového zaměření obce Vlčnov - mračno bodů o 47 mil. bodech (URL 15)

7.4 Mikrovlnný snímač

Mikrovlnné snímání je specifické v detekování mnohem delších vlnových délek, konkrétně od 1 mm až do 1 m. Pro takové snímání jsou využívány pasivní a aktivní senzory. Pasivní senzory měří záření, které dosáhne detektoru bez předešlého vyslání pulzu. Aktivní senzory emitují záření a později měří detektory energii, která se vrátí či odrazí (Turner a kol., 2003). Mezi nevýhody tohoto systému lze zařadit větší rozměry snímacího zařízení. Na druhou stranu velká výhoda tohoto snímání spočívá v tom, že delší vlnové délky nejsou tolik absorbovány mraky a deštěm (Katsaros a kol., 2002). Dále také lze pomocí aktivních sensorů získat i neobrazová data, jako například informace o výškových poměrech a meteorologických prvcích (Oršulák & Pacina, 2010). Toho je možné docílit např. pomocí aktivního senzoru zvaného SAR, který sjednocením měřených signálů simuluje efektivní anténu o délce i více jak 100 m. Tím získá poměrně vysokou rozlišovací schopnost (Schejbal a kol., 2006).

Obr. č. 16

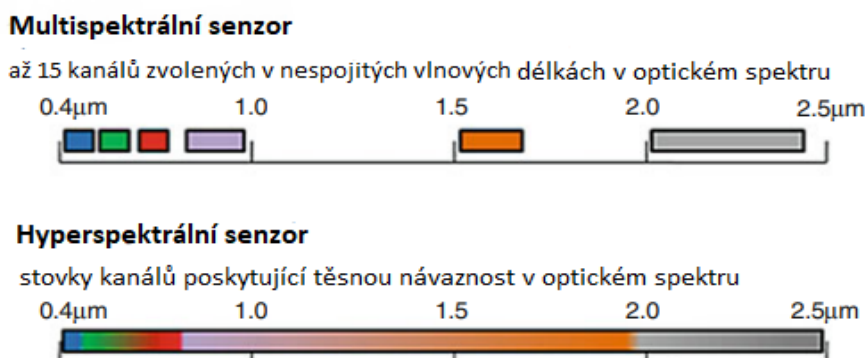


Vizualizace mikrovlnného snímání (URL 16)

7.5 Hyperspektrální snímač

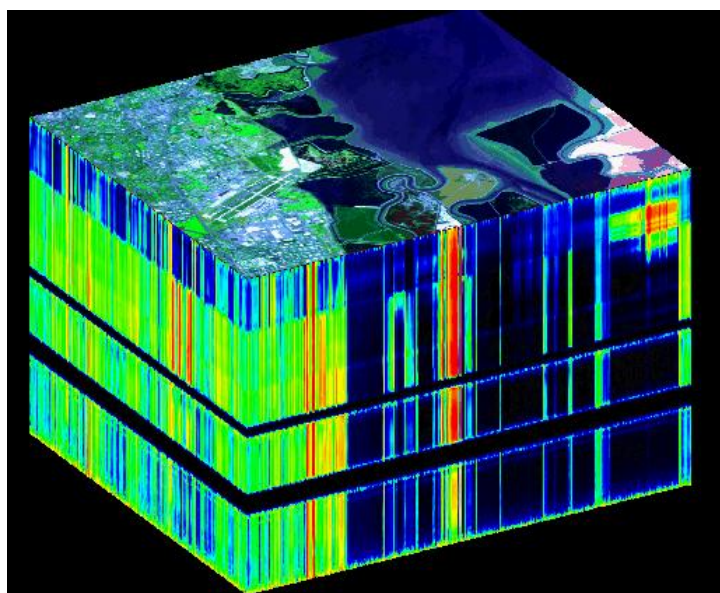
Tato metoda snímání je podobná jako multispektrální, má však své odlišné specifikum. Tento systém sbírá obrazová data v desítkách až stovkách na sebe navazujících spektrálních skupinách, v relativně úzkém rozsahu vlnového pásma (<10 nm). Kdežto multispektrální snímání poskytuje data v rozmezí desítek spektrálních skupin v relativně širokém intervalu vlnového pásma (>100 nm). Na obrázku č. 17 (URL 17) je grafické znázornění rozdílu mezi hyperspektrálními a multispektrálními senzory v porovnání snímaných kanálů v optickém spektru.

Obr. č. 17



V případě vzdušného hyperpektrálního snímání se používá přístroj zvaný spektrometr, který měří elektromagnetické záření odražené od povrchu Země. Toto snímání má obrovské uplatnění v programu GIS, kde nasnímaná data obsahují jak prostorovou tak spektrální informaci a mohou tak poskytnout přesný charakter vlastnosti snímané plochy, založené na jedinečných spektrálních projevech (Tan, 2017). Na obrázku č. 18 (URL 18) je příklad hyperspektrálního snímání v podobě tzv. hyperspektrální datové kostky. Snímání proběhlo pomocí spektrometru AVIRIS z výšky 20 km v Kalifornii v USA. Strany kostky jsou tvořeny 224 spektrálními kanály výše zmíněného senzoru.

Obr. č. 18



8 Spektrální projevy

Všechny objekty na Zemi a samotný zemský povrch mají své spektrální projevy. Tyto projevy závisí na intenzitě odraženého či emitovaného elektromagnetického záření a konkrétních vlastnostech látky, ze které se studovaný objekt skládá. Vlastnosti dané látky závisí na druhu látky, jejím fyzikálním stavu a v neposlední řadě i stavu okolí. Vliv na tyto vlastnosti má také vlnová délka použitého záření. Rozdíly v reakci na změny vlnové délky mohou být pro objekty typické. Proto jsou tyto spektrální projevy objektů zkoumány a využívány v DPZ. Zářivé vlastnosti objektu popisuje jeho spektrální charakteristika, kterou lze definovat jako závislost odrazivosti/emisivity na vlnové délce. Spektrální projevy jsou pro každý typ povrchu

a objektu charakteristické, je však možné, že nastane stav, kdy se dva objekty chovají v jednom pásmu podobně a nelze je rozlišit, avšak v jiných pásmech mohou mít zcela odlišné chování (Horák, 2014). V takových případech se používají tzv. **spektrální indexy**, mezi které patří např. vegetační index, index listové plochy atd.

8.1 Vegetační indexy

Tento index pracuje na základě vztahu mezi odrazivostí v intervalu červené viditelné části spektra RED a blízké infračervené části spektra NIR. Tímto způsobem získáme zvýraznění určité vlastnosti objektu na snímku (Coufalová a kol., 2006). Základní je jednoduchý poměrový vegetační index - **RVI**.

$$RVI = NIR/RED$$

Tento index je však poměrně ve velké míře ovlivňován konkrétní situací v ozáření, a to převážně naměřenými rozdíly odrazivosti v osvětlených vs. zastíněných částech snímku. Z tohoto důvodu se používají relativní indikátory, především normalizovaný diferenční vegetační index - **NDVI** (Horák, 2014).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Je třeba zdůraznit, že lze vypočítat i jiné vegetační indexy kombinací jiných vlnových délek různými způsoby (Coufalová a kol., 2006).

8.2 Půda

Projev půdy se vyznačuje svým kontinuálním navýšením odrazivosti v souvislosti s rostoucí vlnovou délkou ve viditelné a blízké infračervené části spektra, a to až po absorpční pásma vody. Za přítomnosti vody totiž v půdě dochází celkově ke snížení odrazivosti (Horák, 2014). V případě, kdy je půda tvořena horninami a minerály, je určujícím faktorem chemické složení a krystalická vazba (MENDELU, 2019). Je však třeba sem zařadit i působení endogenních a exogenních činitelů, jako např. ovlivnění hornin zvětráváním a hydrotermálními roztoky. Je třeba také brát ohled na skutečnost podobného spektrálního projevu antropogenních povrchů, jako např. zastavěného území. Mezi hlavní faktory, které mají vliv na spektrální charakteristiky půdy tedy lze zařadit:

- a) půdní vlhkost
- b) mechanické vlastnosti
- c) minerální složení půdy
- d) obsah organických látek
- e) textura půdního povrchu
- f) přítomnost vegetace

Mechanické vlastnosti půdy mají vliv z pohledu velikosti částic. Konkrétně větší částice povrchu půdy se projeví menší odrazivostí z důvodu vícenásobných odrazů záření. Vliv minerálního složení je velmi významný a snadno rozpoznatelný, zabarvení některých půd je poměrně výrazné. Typické je např. červené zabarvení půdy s vyšším obsahem železa (Horák, 2014).

8.3 Voda

Voda je ve spektrálním chování poměrně snadno identifikovatelná. V oblasti viditelného elektromagnetického záření voda odráží jen jeho malou část (MUNI, 2019). Konkrétně u kratších vlnových délek v pásmu VIS se vyznačuje svou vyšší odrazivostí a typicky se jeví modrou či modrozelenou barvou (MENDELU, 2019). V pásmu delších vlnových délek infračerveného záření se téměř chová jako absolutně černé těleso. Pohlcuje velkou část dopadajícího záření a proto je na snímcích charakteristická nejtmašími tóny. Na projevy vody má vliv mnoho aspektů. Mezi základní patří skupenství vody. Kapalná forma vody má poměrně vysokou absorpční schopnost, kdežto její pevné a plynné formy vynikají naopak vysokou odrazivostí. Další důležitý aspekt je charakter povrchu vody, např. zda je hladina vody klidná, turbulentní nebo zda je na hladině plovoucí materiál. V neposlední řadě je důležitá také kalnost vody (MENDELU, 2019). Na radarových snímcích je např. velmi dobře rozpoznatelná drsnost vodních ploch oproti souši a je toho využíváno při interpretaci rozsahu povodí, jelikož se klidná vodní hladina jeví opět jako tmavá až černá (MUNI, 2019).

8.4 Vegetace

Zelené rostliny mají specifický projev na sluneční záření. Záření ve viditelné části spektra (VIS) je značně pohlcováno chlorofylem, který je využíván při fotosyntéze. Toho je využíváno při zkoumání spektrálního projevu vegetace např. v NIR části

spektra, protože vlnové délky této části spektra rostlina neabsorbuje, ale odráží je do prostoru. Je to výrazný nárůst, hodnoty dosahují okolo 60 % oproti průměrným 20 % (Coufalová a kol., 2006). Mezi základní parametry ovlivňující odrazivost vegetace lze uvést druh rostliny, obsah vody ve vegetaci a také fenologický a zdravotní stav. Druh rostliny výrazně ovlivňuje velikost odrazivosti. Například rozlišení jehličnatých a listnatých stromů vyžaduje snímání v pásmu NIR, jelikož v pásmu VIS se jejich odrazivost překrývá a rozlišení je značně znesnadněné. V potaz je nutno brát i fenologický stav, kdy vzrůst a dozrávání vegetace se také projevuje. Typickým příkladem je např. stárnutí listů, jejich změna barvy (žloutnutí, hnědnutí) a opadávání. Obsah vlhkosti vegetace způsobuje charakteristické projevy. Při nižším obsahu vlhkosti se projeví snížení odrazivosti ve viditelné a infračervené části spektra, kdežto v mikrovlnné části se vyšší obsah vlhkosti projeví zvýšením odrazivosti. Vlhkost má poté i přímý vliv na obsah chlorofylu, který ovlivňuje odrazivost v červené části spektra. V neposlední řadě zdravotní stav působí na projev skrze imisní zatížení vegetace a přítomnost škůdců (Horák, 2014).

8.5 Sníh

Sníh, včetně ledu, má ve viditelné a NIR části spektra poměrně značnou odrazivost. Odrazivost je mnohem vyšší, než jakou mají ostatní objekty a je na hranici detekování přístroji. I přes to však není snímání povrchu se sněhem a ledem jednoduché. Podobně se totiž chovají i horní vrstvy atmosféry, kde se nachází ledové krystalky. Naštěstí na zemském povrchu sníh a led vykazují hluboká minima na absorpčních pásech vody, konkrétně ve vlnových délkách 1,6 – 2,2 μm . V tomto intervalu dochází k poklesu odrazivosti až o 90 %. Takový pokles odrazivosti je v přírodě vzácný. Na projevy sněhu a ledu má vliv řada charakteristik. Mezi základní patří (Horák, 2014):

- a) tloušťka a druh ledu
- b) množství prachových příměsí
- c) velikost sněhových vloček
- d) stáří sněhu

9 Využití v ŽP

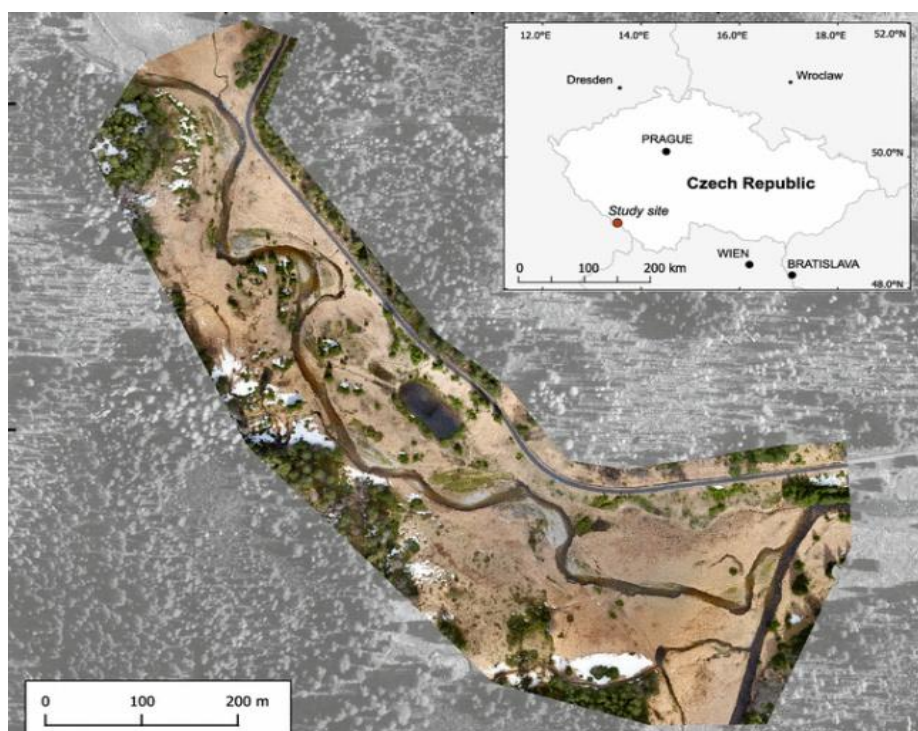
Při studiu životního prostředí a jeho následné ochrany je zapotřebí obsáhlá znalost daných aspektů zkoumaného subjektu. Životní prostředí je komplexní systém, který je navzájem propojený. Znalost vazeb a procesů v něm je základním pilířem, pokud zkoumáme a řešíme daný problém. Obrovským zdrojem takových dat je DPZ, ať už ve formě družicových snímků, nebo dat získaných pomocí UAV. Od monitorování ekologicky narušeného území po mapování povodí a toků mají data DPZ velký informační potenciál. V dnešní době se navíc projekty týkající se ochrany životního prostředí, jako např. zvýšení ekologické stability, těší velké podpoře (Pavelka, 2006).

9.1 Mapování vodních ploch

Detekce a mapování geomorfních efektů povodní

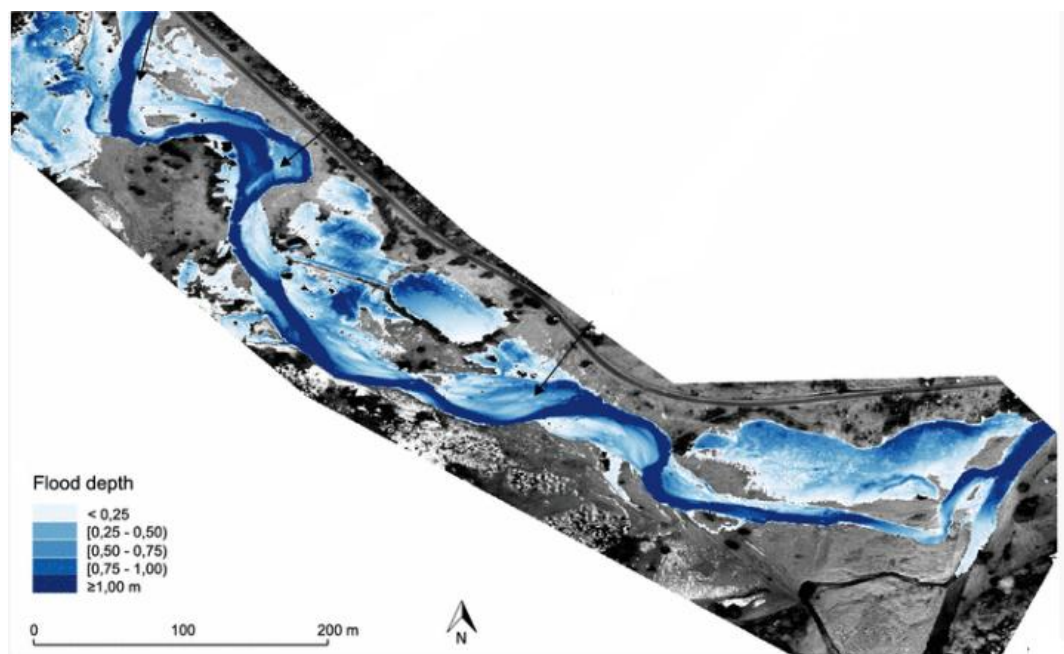
Studie vypracovaná Langhammerem & Vackovou, 2018, představuje nový způsob objektivního zjištění geomorfologických účinků povodní v říčních korytech a záplavových územích pomocí snímků pořízených bezpilotními prostředky, v tomto případě vybavenými panchromatickou kamerou. Metoda je založena na kombinaci dvou datových produktů UAV fotogrammetrie, konkrétně modelu DEM a ortofota. Ortofoto je použito k výpočtu texturních znaků a umožňuje detekci strukturních vlastností. DEM model se využívá k odvození modelu hloubky povodní a indexu drsnosti terénu, který podporuje detekci eroze břehu toku. Cílem studie bylo vytvořit objektivní protokol umožňující rychlé mapování, identifikaci a také klasifikaci geomorfologických účinků povodní v přírodních tocích. Tato metoda byla testována na účincích povodně na horském potoku na Šumavě v roce 2015. Studijní oblast (obr. č. 19 (URL 19)) se konkrétně zaměřuje na potok Javoří, což je horský potok s velikostí povodí 11 km². Snímky byly pořizovány pomocí kvadroptéry DJI Inspire 1 Pro, která nesla fotoaparát Zenmuse X5 s rozlišením 4608 x 3456 pixelů. Kamera byla vybavena snímačem CMOS 17,3 x 13,0 mm, jenž zachycuje panchromatické snímky, které lze oddělit do spektrálních skupin RGB. Let byl proveden ve výšce 70 m a bylo při něm získáno 352 snímků.

Obr. č. 19



Výsledkem studie je 3D rekonstrukce nivy a zatopené oblasti. Z rozsahu zatopené zóny je zřejmé, že únik vody z koryta výrazně překročil průtokový kanál.

Obr. č. 20



Zaplavená plocha a hloubky v posuzovaném úseku toku (URL 20)

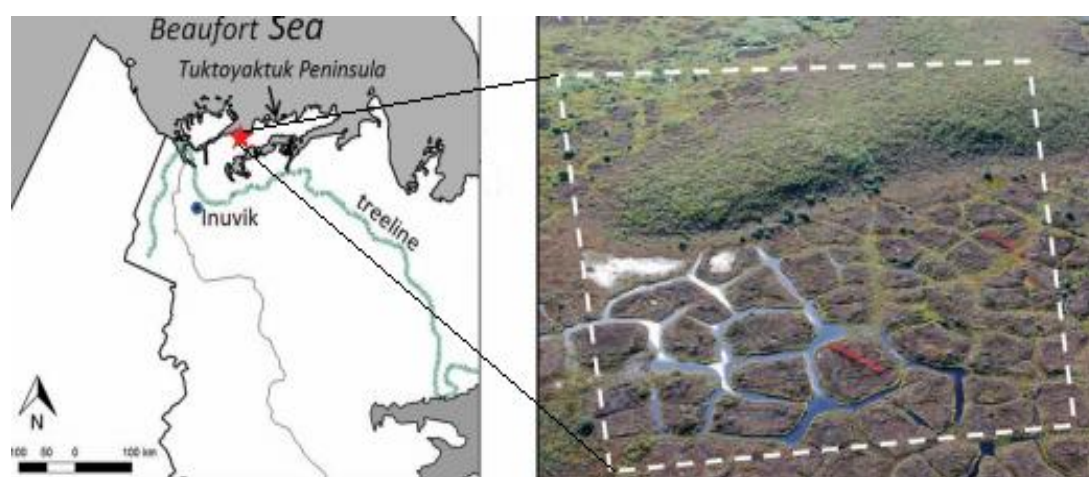
Geomorfologické účinky povodně jsou soustředěny do aktivního pásu, který protíná meandrovitou zónu potoka Javoří. Efektům povodně dominují akumulární formy, jelikož necelé 1 % zjištěných forem patří erozi břehu toku. Nejrozsáhlejší je akumulace čerstvého štěrku okolo 70 % plochy. Navržená metodika studie je založena na obecných principech. Lze ji tedy aplikovat i na modifikované toky v kulturní krajině.

9.2 Mapování krajinného pokryvu

Fotogrammetrie pomocí UAV pro mapování vegetace v Nízké Arktidě

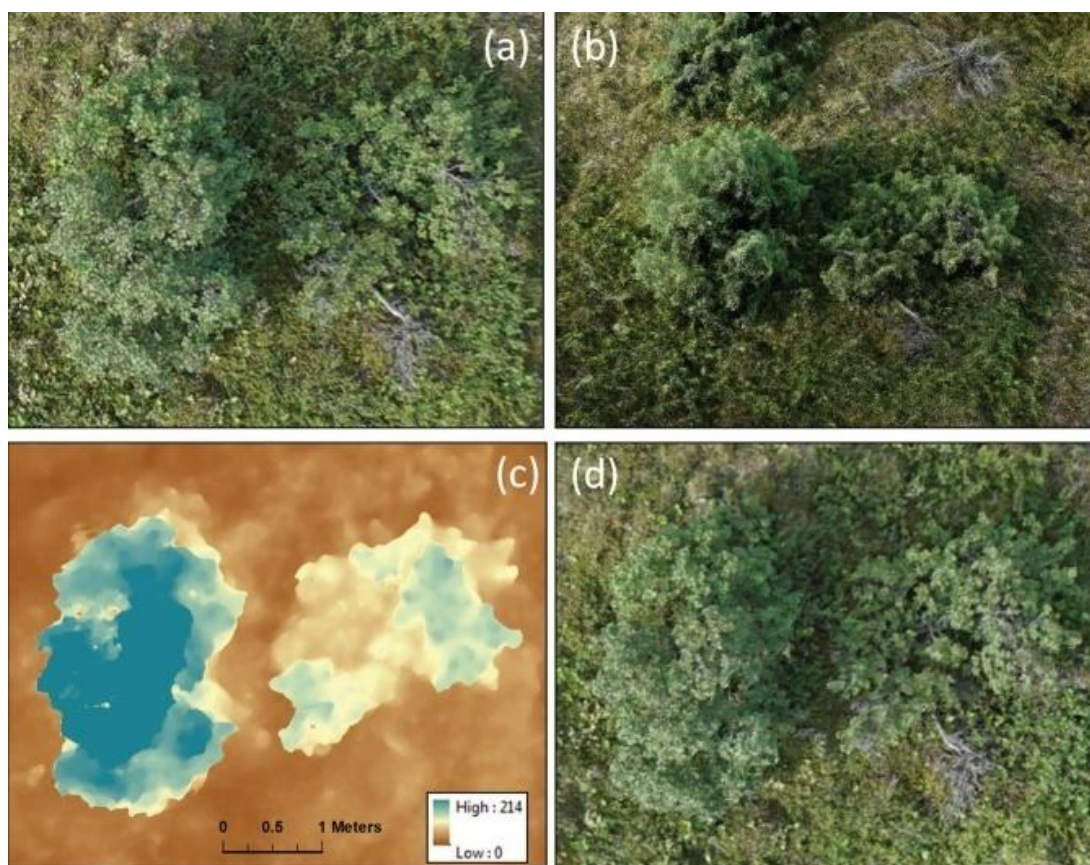
Studie provedená Fraserem a kol., 2014, zkoumá potenciál fotografických průzkumů bezpilotních prostředků k mapování vegetace v Nízké Arktidě ve středním měřítku. Multikoptéra byla využita k zachycení vysoce překrývajících, subcentrimetrových fotografií na ploše 2 ha. Studie vybrala pro monitorování změn vegetace tundry UAV platformu, protože vegetace zde má menší velikost, avšak vysokou prostorovou heterogenitu. Satelitní dálkové snímání se více vyplatí pro sledování hrubších změn ve větších regionech. Studijní oblast je situovaná 10 km jižně od města Tuktoyaktuk v Severozápadním teritoriu ve státě Kanada (obr. č. 21 (URL 21)). Měření bylo provedeno pomocí oktokoptéry Spyder PX8 Plus 1000, vyrobené firmou Xpedition Robotics. Jako snímací zařízení byl vybrán zrcadlový fotoaparát Sony a6000, který disponuje 24megapixelovým rozlišením.

Obr. č. 21



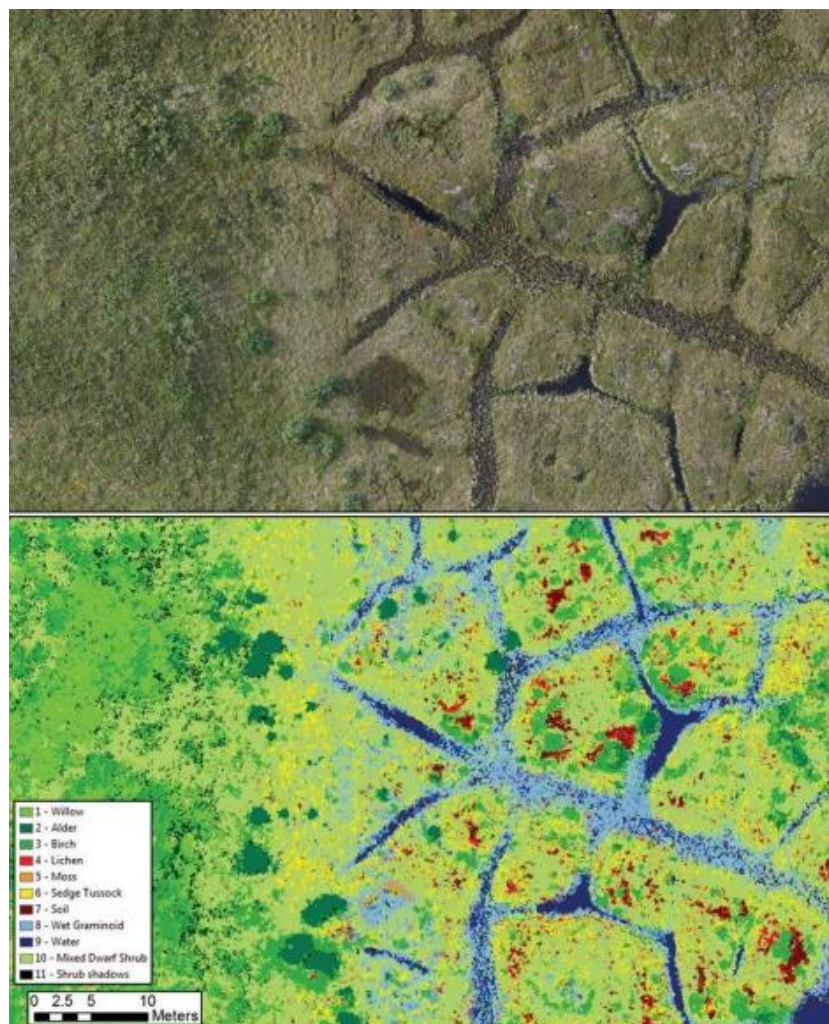
Samotné měření v srpnu roku 2015 bylo tvořeno 4 lety, které proběhly ve výškách 20 m, 45 m a 90 m. Vyhodnocení nasnímaných dat poté bylo zpracováno pomocí softwaru Agisoft PhotoScan, který v automatizovaném pracovním postupu používá proprietární algoritmy, za pomoci kterých generuje 3D mračna bodů a orto – mozaiky. Bodové mraky vytvořené v tomto programu byly poté zpracovány do DMP a vegetačních výšek pomocí softwaru CloudCompare a ArcGIS. Dále ve studii následovala klasifikace vegetačního typu. K tomuto účelu byla využita výše zmíněná orto – mozaika a vegetační výšky. K dosažení cíle byla vytvořena klasifikační legenda, která reprezentovala jak větší druhy keřů, tak hlavní vegetační typy, ale také typy nevegetačních půdních pokryvů ve studované oblasti. Zpracování fotografií z průzkumu tedy vyústilo v ultra – husté mračno bodů, které v průměru dosahovalo hustoty 30 000 bodů/m², a průměrnému horizontálnímu rozestupu bodů menšímu než 0,6 cm. Výsledek studie na obrázku č. 22 (URL 22) je tedy a) UAV fotografie s rozlišením 0,75 cm, b) ultra – husté mračno bodů, c) vegetační výškový model a v neposlední řadě i d) orto – mozaika s rozlišením 1 cm.

Obr. č. 22



Dále zde je na obrázku č. 23 (URL 23) vypracována klasifikace vegetačních typů (dole) a barevná orto – mozaika (nahore).

Obr. č. 23



Výsledky studie ukazují, že průzkumy v arktické tundře pomocí UAV mohou být použity ke sledování změn v růstu keřů a mapování složení vegetace. Výsledná klasifikace vegetace ukazuje, že snímky z UAV platformy lze použít i k zachycení méně častých, ale důležitých tříd vegetace, které jsou obtížně mapovatelné pomocí hrubších satelitních snímků. V dlouhodobých časových intervalech by se například tyto průzkumy daly využít k detekci postupných změn ve složení, krytí a výšce vegetace tundry. Zároveň výsledky naznačují, že fotogrammetrie pomocí bezpilotních prostředků nabízí potenciál pro překlenutí prostorové propasti mezi měřením v terénu a satelitními snímky s vysokým nebo středním rozlišením.

9.3 Archeologie

Archeologie nespadá pod výzkumy životního prostředí, ale je dobré poukázat i na jiné využití bezpilotních prostředků, jejichž výsledkem mohou být data, která se mohou využít i v jiných studiích, včetně studií životního prostředí.

Aplikace dat z UAV při průzkumu archeologického naleziště

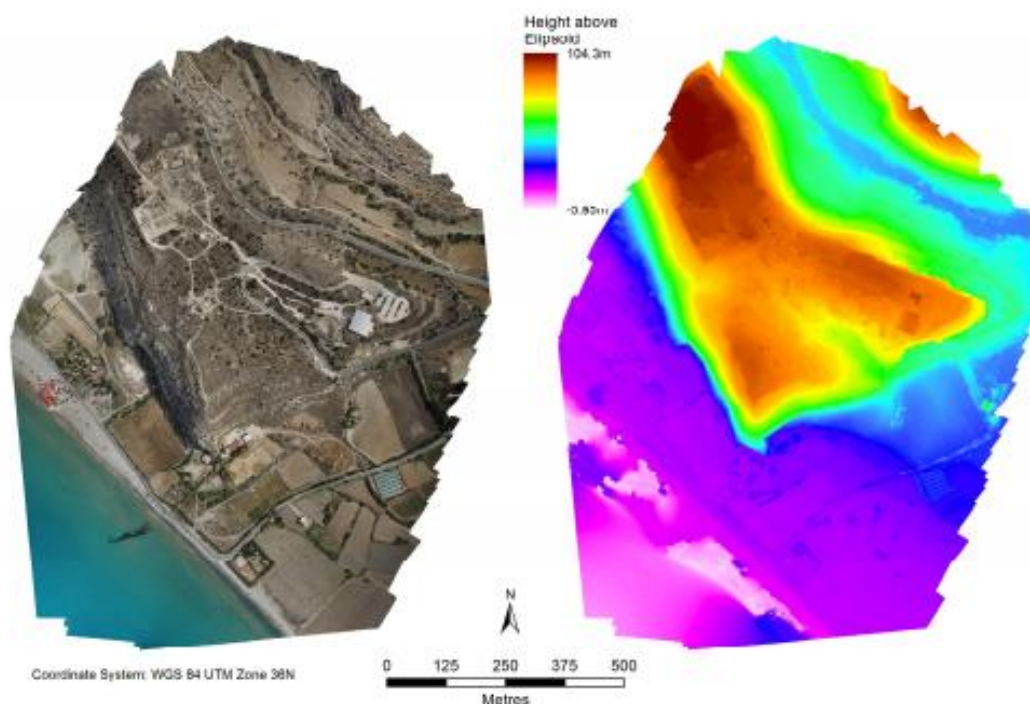
Tato případová studie vypracovaná Themistocleousem a kol., 2014, popisuje aplikaci UAV s použitím komerční kamery s vysokým rozlišením a poskytuje informace o následných technikách zpracování použitých pro generování přesných ortofotosnímků a DMT, které budou použity k archeologickému průzkumu naleziště a jeho okolí. Celkový počet 331 snímků vytvořených z šetření UAV části lokality Curium slouží k ilustraci metod dokumentace archeologického průzkumu a k identifikaci pohřbených pozůstatků. Studijní oblast se nachází na jihozápadě Kypru, v archeologickém nalezišti Curium, které je situované na okraji moderního města Limassol (obr. č. 24 (URL 24)). Pro snímání byl použit bezpilotní prostředek Q – Pod Surveyor, který nesl kameru Sony NEX 7, s rozlišením 24 mega pixelů. Let byl proveden ve výšce 125 m.

Obr. č. 24



Dále byly pomocí GNSS systému naměřeny pozemní kontrolní body, které potřeboval vyhodnocovací systém pro vygenerování DMT. Výsledných 331 snímků bylo později vloženo do vyhodnocovacího programu Agisoft PhotoScan, který vygeneroval georeferencovanou orto-mozaiku, jež byla následně použita pro produkci DMT.

Obr. č. 25



Orto – mozaika a rekonstruovaný DMT (URL 25)

Výstupem měření archeologického naleziště Curium tedy byla RGB orto – mozaika v rozlišení 4 cm společně s DMT v 17 cm rozlišení při použití středního nastavení vyhodnocovacího programu a při vysokém nastavení bylo rozlišení zredukováno na 8 cm. Studie poté popisuje využití těchto výstupů pro monitorování archeologických lokalit, konkrétně využití aktualizovaných informací o výkopovém procesu v dané oblasti, a dále detekci ořezových značek, které mohou být použity pro detekci pohřbených archeologických rysů.

10 Diskuze

V diskuzi je třeba zmínit bezpečnostní stránku problematiky týkající se bezpilotních prostředků (dále jen „drony,“) a také jakým směrem se bude vyvíjet jejich budoucnost z hlediska užívání v Evropské unii. V roce 2018 Rada Evropské unie přijala přiměřená pravidla založená na riziku, jež by měla umožnit letectví v EU růst (předpokládaný nárůst letecké dopravy v EU v příštích 20 letech činí 50 %) a též zvýšit jeho konkurenceschopnost, a v neposlední řadě také bezpilotní prostředky **bezpečně** začlenit do evropského vzdušného prostoru. Učinila tak na základě velkého potenciálu, jež drony z hlediska hospodářského růstu mají. Evropa má tedy názor na drony jasný. Počítá s jejich budoucím výzkumným i komerčním využitím a snaží se vytvořit platná a použitelná pravidla pro jejich použití. S touto budoucností však vyvstává nový problém, a to problém bezpečnosti. Bezpečnost, zabezpečení soukromí a ochrana osobních údajů jsou v moderním světě velmi důležité, a je zapotřebí, aby se na základě doporučení agentury EASA pravidla podrobněji rozpracovala (Evropská unie, 2019). Lze tedy říci, že drony jsou velmi rychle se rozvíjejícím systémem, který má v Evropské unii jasně dané zásady používání a do budoucna má velmi dobré vyhlídky. Dále je dobré poukázat na problematiku akumulátorů, jež dnešní drony používají. Kvadrotéra DJI Inspire 1 Pro použitá ve zmíněném výzkumu geomorfních efektů povodní disponuje maximální dobou letu při plně nabitém inteligentním pohonném akumulátoru 18 minut (Megapixel s. r. o., 2019). Možnou budoucností v této problematice představují vodíkové pelety. Oproti klasickým vodíkovým článkům mají obrovskou výhodu, protože vodíkové články musí uchovávat vodík v těžkých tlakových nádržích, kdežto pevné pelety jsou uchovávány za normálního tlaku v zásobníku. Pevné pelety jsou zhotoveny z chemické sloučeniny, která při styku s malým množstvím tepla po určitou dobu nepřetržitě produkuje vodíkový plyn. Test provedený týmem ze Skotské asociace námořní vědy ve výšce 80 m ukázal, že dron měl dostatek paliva až na 2hodinový let (Vobořil, 2016).

11 Závěr

Cílem této práce bylo teoretické popsání bezpilotních prostředků a jejich využití v životním prostředí. Práce v úvodu popisuje základní typy letounů včetně platné legislativy pro nakládání s bezpilotními prostředky a jejich užívání. Hlavní důraz byl kladen na popsání problematiky využívaných senzorů pro dálkový průzkum Země, a dále také na fyzikální vlastnosti spektrálních projevů půdy, vody, vegetace a sněhu. Velká pozornost poté byla věnována příkladům využití v životním prostředí, kde bylo popsáno využití pro mapování vodních ploch, konkrétně výzkum geomorfních efektů povodní, a dále mapování krajinného pokryvu, konkrétně mapování vegetace v Nízké Arktidě. V neposlední řadě byl popsán výzkum mapování archeologického naleziště, jehož výsledky mohou být vstupními daty pro jiný výzkum životního prostředí. Z práce plyne jasný fakt přínosu této technologie při výzkumech životního prostředí. Nízké náklady a účinnost sběru prostorových dat jsou oproti jiným platformám nespornou výhodou. Výsledky dosažené v této bakalářské práci jsou pouze teoretické, a proto je vhodné je využít jako informační zdroj, který uvádí základní teorii problematiky a konkrétní příklady využití UAV pro výzkum životního prostředí.

12 Použitá literatura

- Aber, J. S., Marzolff, I., Ries, J. B., 2010: Small-format aerial photography : principles, techniques and geoscience applications. Elsevier scientific. Amsterdam, 268 s. ISBN 978-0-444-53260-2.
- Ahmad, N., Ghazilla, R.A.R., Khairi, N.M., Kasi, V., 2013: Reviews on various inertial measurement unit (IMU) sensor applications. Int. J. Signal Proc. Syst. Vol. 1, s. 256–262.
- Brůna, V., 2013: Využití KAP (Kite Aerial Photography) při dokumentaci výzkumu v Abúsíru. Pražské egyptologické studie XI, UK Praha, s. 37 – 43.
- Coufalová, O., Lukas, V., Křen, J., 2006: Multispektrální snímkování porostu obilnin (online). Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 11 s.
- CENIA ©2016: Základní informace a princip DPZ - Copernicus v ČR (online) [cit. 23.03.2019], dostupné z <<http://copernicus.gov.cz/zakladni-informace-a-princip-dpz>>
- Evropská unie ©2019: Drony: reforma bezpečnosti letectví v EU – Consilium (online) [cit. 28.03.2019], dostupné z <<https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/drones/>>
- Eisenbeiß, H., 2009: UAV photogrammetry. Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, 203 s. ISBN 978-3-906467-86-3.
- Fraser, R., H., Olthof, I., Lantz, T., C., Schmitt, C., 2016: UAV photogrammetry for mapping vegetation in the low-Arctic. NRC Research Press. S. 79 – 102.
- Guerrero, J., Lozano, R., 2012: Flight Formation Control. John Wiley & Sons, Incorporated. 342 s. ISBN 978-1-848-21323-4.
- Horák, J., 2014: Dálkový průzkum země (E-learningová podpora). VŠB-TU, Ostrava. 137 s.
- Chao, H., Cao, Y., Chen, Y., 2010: Autopilots for small unmanned aerial vehicles: A survey. Int. J. of Control, Autom. and Syst. 8, s. 36–44.
- Jordan, J., Angelopoulou, E., 2010: Gerbil - a novel software framework for visualization and analysis in the multispectral domain. VMV: Vision, Modeling and Visualization. 8 s.
- Katsaros, K. B., Vachon, P. W., Liu, W. T., 2002: Microwave Remote Sensing of Tropical Cyclones from Space. Journal of Oceanography, Vol. 58, s 137 - 151.
- Langhammer, J., Vacková, T., 2018: Detection and Mapping of the Geomorphic Effects of Flooding Using UAV Photogrammetry. Springer International Publishing. s. 3223 – 3245.
- LiDAR UK ©2019: How LiDAR works? (online) [cit. 16.03.2019], dostupné z <<http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/>>

- Loyd, Ch., 2013: Putting Landsat 8's Bands to Work (online) [cit. 29.03.2019], dostupné z <<https://blog.mapbox.com/putting-landsat-8s-bands-to-work-631c4029e9d1>>
- Miřijovský, J., 2013: Bezpilotní systémy – sběr dat a využití ve fotogrametrii. Vol. 1. Vydavatelství UP, Olomouc, 169 s. ISBN 978-80-244-3923-5.
- Megapixel s. r. o. ©2019: Digitální fotoaparáty a videokamery Sony, Canon, Nikon, Olympus, Panasonic a další | Megapixel (online) [cit. 11.04.2019], dostupné z <https://www.megapixel.cz/dji-kvadrokoptera-inspire-1-v2-0?gclid=CjwKCAjwkcbIBRB_EiwAFmfyy1zT705IGYiNR0Yb8Wy2J2CqrjVU_FC1vJMxOf5Sh9WoYIP9qmZmhoCOCUQAvD_BwE#product-sec-param>
- MENDELU ©2019: Dálkový průzkum Země (online) [cit. 28.03.2019], dostupné z <http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vdgp_dpz1.pdf>
- MUNI ©2019: Voda v krajině (online) [cit. 22.03.2019], dostupné z <http://www.sci.muni.cz/~dobro/voda_1.html>
- Osborn T. J., Haines R. F., 2010: Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) and Other Airborne Objects. Narpac Project Sphere. 21 s.
- Oršulák, T., Pacina, J., 2010: Dálkový průzkum Země. Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny, Ústí nad Labem, 18 s.
- Pavelka, K., 2006: Využití multispektrálních družicových dat nové generace a laserového skenování pro dokumentaci a analýzu jevů v životním prostředí, starých zátěží a jejich vlivu na okolí. Fakulta stavební, katedra mapování a kartografie, ČVUT, Praha. ISBN 80-01-03620-0.
- Rapant, P., 2002: Družicové polohové systémy: VŠB-TU, Ostrava. 200 s. ISBN 80 – 248 – 0124 – 8.
- Shekhar S., Xiong H., Zhou X, 2017: Encyclopedia of GIS. Laser scanning. Springer International Publishing. s. 1116 – 1119.
- Schejbal, C. Homola, V., Staněk, F., Kajzar, V., 2006: Geoinformatika (online) [cit. 20.02.2019], dostupné z <<http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/>>
- Tan, SY, 2017: Handbook of Satellite Applications, Developments in Hyperspectral Sensing. Springer International Publishing. s. 1137-1157 . ISBN 978-3-319-23385-7.
- TheUAV.com: Unmanned Aerial Vehicle (online) [cit. 11.03.2019], dostupné z <<http://theuav.com/>>
- Themistocleous, K., Agapiou, A., King, H. N., King, N., Hadjimitsis, D. G., 2014: Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection, EuroMed. More Than a Flight: The Extensive Contributions of UAV Flights to Archaeological Research – The Case Study of Curium Site in Cyprus. Cyprus Uni. of Tech. Springer International Publishing. s. 396 – 409. ISBN 978-3-319-13694-3.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., Steininger, M., 2003: Remote sensing for biodiversity science and conservation. Trends in Ecol. And Evol. 18, s. 306 – 314.

ÚCL ČR, ©2019 a): Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla? (online) [cit. 30.01.2019], dostupné z: <<http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla>>

ÚCL ČR, ©2019 b): Letecká informační služba, Řízení letového provozu ČR, s.p. (online) [cit. 25.03.2019], dostupné z <<http://lis.rlp.cz/?lang=cz&p=uas-drony>>

Vobořil, D., 2016: Zapomeňte na baterie či vodík v tlakových nádobách, budoucnost je v peletách (online) [cit. 11.04.2019], dostupné z <<https://oenergetice.cz/elektrina/zapomente-na-baterie-budoucnost-pohonu-dronu-je-ve-vodikovych-peletach/>>

VÚGTK © 2019: Slovník VÚGTK (online) [cit. 24.03.2019], dostupné z <http://www.vugtk.cz/slovník/5997_inercialni>

13 Seznam tabulek a obrázků

Tabulka č. 1: Rozdělení bezpilotních prostředků dle typu pohonu, konstrukce křídla a váhy (Eisenbeiß, H., 2009.UAV Photogrammetry (online)), dostupné z <http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue_Berichte_PDF/105.pdf>

Tabulka č. 2: Hodnocení vlastností bezpilotních prostředků (Eisenbeiß, H., 2009.UAV Photogrammetry (online)), dostupné z <http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue_Berichte_PDF/105.pdf>

Tabulka č. 3: Požadavky na bezpilotní prostředky dle max. vzletové hmotnosti (Letecká informační služba, 2019. Letecký předpis L2 – doplněk X (online)), dostupné z <<http://lis.rlp.cz/?lang=cz&p=uas-drony>>

Tabulka č. 4: Spektrální třídy družice Landsat 8 (landsat.gsfc.nasa.gov, 2019. Nasa Landsat Science (online)), dostupné z <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>>

Diagram č.1: Schéma spolupráce GPS a IMU jednotky (Falco, G., Pini, M., Marucco, G., 2016. Loose and Tight GNSS/INS Integrations: Comparison of Performance Assessed in Real Urban Scenarios (online)), dostupné z <<https://pdfs.semanticscholar.org/139c/f2241ec9a3a4f41eca798385d3612b40432ff>>

Diagram č. 2: Dělení senzorů (Schejbal, C. Homola, V., Staněk, F., Kajzar, V., 2006. Geoinformatika (online)), dostupné z <<http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/>>

URL 1: <<https://travelforaircraft.wordpress.com/2011/04/01/first-cruise-missile-%E2%80%94-the-kettering-bug/>> [cit. 2019.02.20]

URL 2: <<https://background.webnode.cz/zajimave-materialy/historie-tajnych-zbrani-fasistickeho-nemecka/historie-tajnych-zbrani-fasistickeho-nemecka/>> [cit. 2019.02.23]

URL 3: <<https://anzdoc.com/poatky-snimkovani-rc-modely-letadel-v-eskoslovensku-uvod.html>> [cit. 2019.02.25]

URL 4: <http://mapy.geolab.cz/files/pes/Bruna_PES%20XI_2013.pdf> [cit. 2019.02.27]

URL 5: <http://www.narcap.org/Projsphere/narcap_ProjSph_4.2_Osborn-Haines.pdf> [cit. 2019.03.02]

URL 6: <http://theuav.com/altair_uav.html> [cit. 2019.03.03]

URL 7: <<https://www.flickr.com/photos/blipcomau/5615298732/>> [cit. 2019.03.05]

URL 8: <<https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>> [cit. 2019.03.08]

URL 9: <<https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>> [cit. 2019.03.10]

URL 10: <<https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>> [cit. 2019.03.13]

URL 11: <<http://copernicus.gov.cz/zakladni-informace-a-princip-dpz>> [cit. 2019.03.17]

URL 12: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>> [cit. 2019.03.18]

URL 13:
<https://is.muni.cz/www/680/7404989/prednasky_dpz/DPZ_09_termalni.pdf> [cit. 2019.03.18]

URL 14: <<https://frameworks.ced.berkeley.edu/2016/potential-remote-sensing-improve-landscape-research-monitoring-studied-spatial-scales/>> [cit. 2019.03.18]

URL 15: <<https://www.cadforum.cz/cadforum/nacteni-mracna-milionu-bodu-do-autocadu-tip7327>> [cit. 2019.03.19]

URL 16: <<http://www.cropcopter.co/remote-sensing-101/>> [cit. 2019.03.19]

URL 17: <https://link-springer-com.infozdroje.czu.cz/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-23386-4_101.pdf> [cit. 2019.03.19]

URL 18: <<https://aviris.jpl.nasa.gov/data/images/avcubebig.gif>> [cit. 2019.03.20]

URL 19: <<https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s00024-018-1874-1>> [cit. 2019.03.20]

URL 20: <<https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s00024-018-1874-1>>
[cit. 2019.03.25]

URL 21: <<https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/as-2016-0008>>
[cit. 2019.03.29]

URL 22: <<https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/as-2016-0008>>
[cit. 2019.04.03]

URL 23: <<https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/as-2016-0008>>
[cit. 2019.04.06]

URL 24: <https://link-springer-com.infozdroje.czu.cz/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-13695-0_38.pdf> [cit. 2019.04.12]

URL 25: <https://link-springer-com.infozdroje.czu.cz/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-13695-0_38.pdf> [cit. 2019.04.13]