

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**  
**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY**



**Distanční monitoring půdních a vegetačních  
vlastností pomocí technologie UAV a DPZ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

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

Bakalant: Erik Horák

2019

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Erik Horák

Územní technická a správní služba

Název práce

**Distanční monitoring půdních a vegetačních vlastností pomocí technologie UAV a DPZ**

Název anglicky

**Distance monitoring of soil and vegetation characteristics using UAV technology and remote sensing**

---

### Cíle práce

Cílem práce je rešerše dostupných metod distančního monitoringu pomocí technologie UAV s návazností na metody DPZ a dostupná družicová data.

### Metodika

Student provede rešerši metod distančního monitoringu vybraných půdních a vegetačních vlastností na základě spektrální odrazivosti. Mezi tyto metody budou zahrnuty zejména spektrální indexy a různé nosiče (UAV, letecké, družicové) specializovaných senzorů (multispektrální, termální, hyperspektrální, LiDAR aj.).

Doporučuji z důvodů menšího množství literárních pramenů, čerpat hodně i z Internetových zdrojů.

## **Doporučený rozsah práce**

40 stran

## **Klíčová slova**

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

---

## **Doporučené zdroje informací**

Beck R. et al., (2015): 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 (2016): 15-30

Dronemapper: UAV Flight Tracking and Imagery Processing [online]. 2012 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://dronemapper.com/>

Eisenbeiss, H. (2011): The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping. 2011. Dostupné z: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/140Eisenbeiss.pdf>

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

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

zdroje z WOS

Žížala D., Krása J. (2016): Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. ISBN: 978-80-87361-63-4

---

## **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 15. 04. 2019

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jana Vopravila, Ph.D. Použitá odborná literatura a další informační zdroje jsou uvedeny v přehledu literatury a použitých zdrojů.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 17.4.2019

.....

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D za odborné vedení, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

V Praze dne 17.4.2019

.....

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá využitím bezpilotních leteckých prostředků a jejich historií. Postupně jsou popsány různé typy a vlastnosti bezpilotních leteckých zařízení dle určitých kritérií a způsoby jejich využití. Další část se věnuje metodám distančního monitoringu pomocí technologie UAV s návazností na metody DPZ a dostupná družicová data. Práce se pak dále zabývá platnou legislativou v České republice související s provozem bezpilotních letadel včetně postupu pro získání povolení k leteckým činnostem.

Cílem práce je rešerše dostupných metod distančního monitoringu, do kterých jsou zahrnuty spektrální indexy a různé nosiče specializovaných senzorů.

Hlavním výsledkem je na základě zjištěných informací určení výhod a nevýhod bezpilotních leteckých prostředků, způsobů a oblastí využití DPZ a analýza a metody zpracování výstupních dat.

## **Klíčová slova**

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

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the use of unmanned aerial vehicles and their history. Various types and characteristics of unmanned aerial vehicles are described in a gradual manner according to certain criteria and their use. The next part is devoted to methods of remote sensing using UAV technology with connection to GEO methods and available satellite data. The thesis then deals with the valid legislation in the Czech Republic related to the operation of unmanned aircraft, including the procedure for obtaining permits for aerial activities.

The aim of this thesis is to search the available methods of remote monitoring, which include spectral indexes and various carriers of specialized sensors.

The main result is, based on the information obtained, the identification of advantages and disadvantages of unmanned aerial vehicles, methods and areas of remote sensing and analysis and methods of processing output data.

## **Key words**

UAV, spectral indices, vegetation indexes, LiDAR, multispectral sensor, Group on Earth Observations (GEO)

## Obsah

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>8</b>
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2. CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>10</b>
<b>3. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 UAV.....</b>	<b>11</b>
3.1.1 Historie UAV .....	12
3.1.2 Klasifikace UAV.....	14
3.1.2.1 Dle hmotnosti.....	14
3.1.2.2 Dle doby letu a vzdálenosti.....	19
3.1.2.3 Dle maximální nadmořské výšky.....	22
3.1.2.4 Dle zatížení křídel .....	23
3.1.2.5 Dle typu motoru .....	24
3.1.2.6 Dle způsobu využití.....	25
3.1.3 Legislativa ČR.....	25
3.1.3.1 Postup pro získání povolení k leteckým činnostem s bezpilotními letadly ....	28
3.1.4 Výhody a nevýhody UAV .....	29
3.1.4.1 Výhody využití UAV .....	30
3.1.4.2 Nevýhody využití UAV .....	31
<b>3.2 LiDAR .....</b>	<b>33</b>
3.2.1 Historie.....	33
3.2.2 Princip a využití .....	34
3.2.3 LiDAR v autonomních vozidlech .....	35
<b>3.3 Dálkový průzkum Země .....</b>	<b>36</b>
3.3.1 Historie DPZ.....	36
3.3.2 Stručný vývoj systémů pro družicový DPZ .....	38
3.3.3 Základní principy DPZ .....	39
3.3.4 Dálkový průzkum jiných planet.....	40
3.3.5 Přehled družicových systémů.....	41
3.3.6 Aplikační oblasti DPZ .....	42
3.3.7 Využití DPZ v pedologii .....	45
3.3.8 Zpracování, analýza a začlenění dat dálkového průzkumu Země do technologie GIS .....	46
<b>4. DISKUSE .....</b>	<b>50</b>
<b>5. ZÁVĚR .....</b>	<b>51</b>
<b>6. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>52</b>
<b>7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>	<b>56</b>
<b>8. PŘÍLOHY .....</b>	<b>59</b>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

- ABS – Anti-lock Brake System (protiblokovací systém)
- ACC – Adaptive Cruise Control (adaptivní tempomat)
- AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer (Pokročilý radiometr s velmi vysokým rozlišením)
- CCD – Charge Coupled Device (Zařízení s vázanými náboji)
- CZCS – Coastal Zone Color Scanner (barevný skener pro pobřežní zóny)
- ČR – Česká republika
- DPZ – Dálkový průzkum země
- DSEI – Defence System and Equipment International (veletrh obranných systémů)
- EBS – Electronic Braking System (asistence nouzového brždění)
- EU – Evropská unie
- FAA – Federal Aviation Administration (Federální letecká organizace)
- GCP – Ground Control Points (pozemní řídicí body)
- GIS – geografický informační systém
- GPS – Global Positioning System (systém globální navigace)
- HCMM – Heat Capacity Mapping Missions (úlohy mapování tepelné kapacity)
- IAF – Israeli Air Force (Izraelské vojenské letectvo)
- ISO – International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
- ITAR – International Traffic in Arms Regulations (mezinárodní obchod se zbraněmi)
- LADAR – Laser Detection And Ranging (laserové rozpoznávání a zaměřování)
- LiDAR – Light Detection And Ranging (světelné rozpoznávání a zaměřování)
- MOC – Mars Orbital Camera (orbitální kamera Marsu)
- MSI – Multispectral Imaging (multispektrální snímkování)
- NATO – North Atlantic Treaty Organization (Organizace Severoatlantické smlouvy)
- NIS – Near Infrared Spectrograph (blízká infračervená spektrografie)
- NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (Národní úřad pro oceán a atmosféru)
- RADAR – Radio Detection And Ranging (rádiové rozpoznávání a zaměřování)
- ŘLP – Řízení letového provozu
- SIR-A – Shuttle Imaging Radar (Raketový zobrazovací radar)
- SONAR – Sound Navigation And Ranging (zvuková navigace a zaměřování)
- SSSR – Svaz sovětských socialistických republik
- THEMIS – Thermal Emmision Imaging (snímkování tepelných emisí)
- UAH – Unmanned Aerial Helicopter (bezpilotní letecká helikoptéra)

UAS – Unmanned Aerial System (bezpilotní letecké systémy)

UAV – Unmanned Aerial Vehicle (bezpilotní letecké prostředky)

ÚCL – Úřad pro civilní letectví

USA – United States of America (Spojené státy americké)

## 1. ÚVOD

První část bakalářské práce se zabývá bezpilotními leteckými prostředky neboli UAV, jejich historií a následnému rozdělení dle určitých kritérií, jako jsou například dle hmotnosti zařízení, dle zatížení křídel, dle typu motoru nebo jejich způsobem využití. K tomuto tématu se váže i legislativa České republiky o civilním letectví a postup pro získání oprávnění k provozování leteckých činností bezpilotními prostředky v České republice. Na závěr této části jsou uvedeny výhody a nevýhody využití bezpilotních leteckých prostředků.

Lidarové senzory jsou předmětem další části práce. Zabýváme se zde jejich historií, vývojem, principem fungování a využitím těchto senzorů. Zajímavostí této části je zmínka o možném využití lidarových senzorů v autonomních vozidlech.

V poslední části bakalářské práce se zabýváme dálkovým průzkumem Země, dále DPZ, kde je k nahlédnutí historie a stručný vývoj družicových systémů pro DPZ, principy DPZ, průzkum jiných planet, přehled družicových systémů, aplikační oblasti a využití DPZ a v neposlední řadě i analýza a zpracování dat pořízených družicovými systémy.

Smyslem celé práce je seznámení veřejnosti s problematikou bezpilotních leteckých prostředků a jejich výhodami a nevýhodami v oblasti využití.

Vzhledem k faktu, že k tématu mé bakalářské práce: "Distanční monitoring půdních a vegetačních vlastností pomocí technologie UAV a DPZ" existuje v době zpracování této práce pouze velmi omezené množství odborné literatury, pochází většina informací pouze z neověřených zdrojů.

## 2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je rešerše dostupných metod distančního monitoringu vybraných půdních a vegetačních vlastností na základě spektrální odrazivosti. Mezi tyto metody budou zahrnuty zejména spektrální indexy a různé nosiče (UAV, letecké, družicové) specializovaných senzorů (multispektrální, termální, hyperspektrální, LiDAR aj.).

### 3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

#### 3.1 UAV

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) je bezpilotní letecký prostředek, známý také jako dron nebo létající robot. Bepilotní letecký prostředek je ovládán pouze bezpilotně. Posádka není fyzicky přítomna na palubě letounu. Bepilotní letoun může být řízen dálkově nebo autonomně na základě softwarově řízených letových plánů pomocí svých vestavěných systémů pracujících ve spojení s palubními čidly a GPS (Global Positioning System). Tyto letouny jsou definovány technickými parametry, jako je váha a rozměry samotného zařízení. Nejčastěji byly bezpilotní letouny spojovány s armádou, kde byly používány pro shromažďování informací o nepřátelském území nebo při nácviku boje jako nepřátelské letadlo. Nyní se však bezpilotní letouny používají v mnoha odvětvích včetně civilního využití (Rouse, 2018).

Dle § 2 zákona č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání, ve znění pozdějších předpisů je bezpilotní letoun (UAV) definován takto: „*Letadlem se rozumí zařízení schopné vyvozovat síly nesoucí jej v atmosféře z reakcí vzduchu, které nejsou reakcemi vůči zemskému povrchu. Pro účely tohoto zákona se nepovažuje za letadlo model letadla, jehož maximální vzletová hmotnost nepřesahuje 25 kg*“ (Zákon č. 49/1997 Sb., c2010-2019).

Bepilotní letouny je možné provozovat pouze s povolením Úřadu pro civilní letectví. Jedná se konkrétně o povolení k létání (§ 52 zákona č. 49/1997 Sb. o civilním letectví) a dále o povolení k provozování leteckých prací, leteckých činností pro vlastní potřebu nebo k provozování obchodní letecké dopravy. Povolení Úřadu pro civilní letectví není nutné pouze u modelů letadel do maximální vzletové hmotnosti 25 kg. Definice modelu letadla a vymezení druhů leteckých činností vylučují provoz modelů letadel pro činnosti jiné, než rekreační a sportovní (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011).

Bepilotní letecký systém (UAS) je dle české legislativy označení pro komplexní systém, který se skládá z bezpilotního leteckého prostředku (UAV), řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění dronu a jeho návrat. Bepilotních leteckých zařízení, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat dronu může být v rámci bezpilotního leteckého systému více. Zjednodušeně se jedná o celý

komplexní systém obsahující bezpilotní letecký prostředek a všechny přidružené technologie, které jsou potřebné k provozu samotného dronu (Karas, 2017).

### 3.1.1 Historie UAV

V roce 1839 bylo pozorováno nejstarší bezpilotní letecké zařízení, kdy rakouští vojáci napadli město Benátky bezpilotními horkovzdušnými balóny plnými výbušnin. Některé rakouské horkovzdušné balóny byly úspěšné, avšak mnoho z nich vítr odklonil a bombardovaly vlastní rakouské linie, ilustrace útoku je znázorněna na Obr. 1. Vynalezením letadel s křídly začaly být využívány lety s lidskou posádkou a bezpilotní zařízení (Ford).

První bezpilotní zařízení s křídly bylo sestaveno v roce 1916 profesorem Archibaldem Montgomery Lowem s názvem Aerial Target (Vzdušný cíl), který byl sestrojen pomocí návrhů Nikoly Tesly a byl ovládán rádiovým ovládáním podobně jako dnešní drony. Aerial Target byl v podstatě létající bombou, kterou chtěla Anglie použít pro potlačení německých Zeppelinů. Po několika neúspěšných prototypech se britská armáda rozhodla tento projekt zrušit, protože věřila, že bezpilotní letecké prostředky mají omezené využití v armádních složkách. O rok později vznikla alternativa bezpilotního zařízení americké armády s názvem Hewitt-Sperry Automatic Airplane, která po impozantním testu před představiteli americké armády byla hromadně vyráběna pokročilejší verze s názvem Kettering Bug. Kettering Bug byl v roce 1918 technologickým zázrakem, avšak byl vyvinut příliš pozdě na to, aby byl použit ve válce a nikdy nebyl nasazen v boji (Ford).



Obr. 1: Bombardování Benátek v roce 1849 (Murfin, c1999-2019)

Technologie bezpilotních zařízení byla zlepšena během druhé světové války a studené války. Bzpilotní zařízení byla do značné míry považována za nespolehlivá a drahá, nebyla zdaleka tak spolehlivá jako vzrušující nové inovace v letadlech s posádkou, jako jsou například Flying Fortress (Létající pevnost) a SR-71 Blackbird, který je ukázán na Obr. 2. Je známo, že USA i SSSR používali do jisté míry bezpilotní zařízení ke vzájemnému špionáži během studené války, ale podrobnosti jsou stále tajné a uniklé informace jsou často protichůdné.

Moderní války s bezpilotními letouny začaly být intenzivnější od roku 1982, kdy Izrael koordinoval používání bezpilotních bojových zařízení společně s letadly s posádkou, aby vyhladili syrskou flotilu s minimálními ztrátami. Izraelské vojenské letectvo používalo bezpilotní vojenské zařízení k prozkoumání nepřátelských pozic, k rušení komunikací a působila jako nástrahy, které zabránily ztrátám životů posádky (Ford).



Obr. 2: SR-71 Blackbird (Beckhusen, c2019)

Technologie bezpilotních prostředků byly známé, ale IAF (Israeli Air Force v překladu Izraelské vojenské letectvo) zjistilo způsob využití technologií bezpilotních zařízení tak, aby operace byly úspěšnější a mezinárodní zájem o bezpilotní zařízení významně vzrostl. Například v roce 1984 USA vynaložilo desítky milionů dolarů na nové smlouvy o dronech.

Moderní vojenské drony se obvykle využívají ke dvěma účelům. Prvním je sledování boje, při kterém pilot využívá rádiové ovládání k navigaci bezpilotního zařízení do bodů, které skenují a označují nepřátelské pozice. Druhým je taktický průzkum, v němž malý dron zaměřuje pomocí autopilota předem určené cíle pro fotografování před návratem na domácí základnu. Pravdou je, že bezpilotní zařízení

jsou nejčastěji používány k útokům. Aktuální technologie a využití jsou v takových případech, které dovolují bezpilotním zařízením ničit cíle, ve většině případů přísně tajné. Dron MQ-1 Predator z roku 1995, byl v roce 2019 poslán do výslužby (Ford).

Historie nevojenského využívání bezpilotních zařízení začala být vážná v roce 2006. Vládní agentury je využívají pro pomoc při odstraňování následků katastrof, hraniční dohled a boj s požárem. Mezitím korporace začaly bezpilotní zařízení používat k prohlídkám potrubí a stříkání pesticidů na farmách. Vzhledem k tomu, že technologie leteckých dopravních prostředků bez posádky se ve vojenském sektoru zlepšila, mohla by se technologická vylepšení využít i v nevojenském sektoru. Drony využívané pro rekreační účely vzletly teprve nedávno, ale rychle se vyvíjí. Jedním z hlavních důvodů je, že FAA (Federal Aviation Administration v překladu Federální letecká organizace) musí být přesvědčena, že je komerční využití bezpilotních zařízení bezpečné a stanovit vhodná regulační opatření. Rok 2006 byl prvním rokem, kdy FAA vydala povolení pro komerční využívání dronů. V průměru byla vydávána dvě tato povolení za rok po dobu osmi let. Zvrat nastal v roce 2013, kdy generální ředitel společnosti Amazon Jeff Bezos oznámil, že společnost uvažuje o používání dronů jako způsobu doručování zásilek, což vyvolalo veřejný zájem o bezpilotních zařízeních. V roce 2015 FAA vydalo 1 000 povolení pro komerční využívání dronů. V roce 2016 se počet povolení více než ztrojnásobil na 3 100 a od té doby pokračuje v růstu (Ford).

### **3.1.2 Klasifikace UAV**

#### **3.1.2.1 Dle hmotnosti**

Bezpilotní zařízení jsou rozdělovány dle jejich hmotnosti do čtyř hlavních skupin.

##### **a) Super těžké**

Super těžké bezpilotní zařízení jsou letouny, které mají vzletovou hmotnost větší než dvě tuny. Do této kategorie patří například modely X-45, Darkstar, Predator B a Global Hawk.

Model X-45 je dále rozdělen do čtyř typů: X-45 A, X-45 B, X-45 C a X-45 N. Typ X-45 A, byl vhodný pro týmové práce a byl zapojován ke zjišťování dříve nezjištěných cílů. Model X-45 C je upravená verze modelu X-45 B s větším objemem palivové nádrže a s větším rozsahem využití v boji, i přesto byla výroba tohoto modelu zrušena v roce 2006. Verze X-45 N je nejnovější verzí z rodu bezpilotních zařízení X-45, díky nainstalovanému softwaru od společnosti Boeing, dokáže vzletnout i přistát zcela autonomně (Classification by weight).



Obr. 3: X-45A (X-45A UCAV)

MQ-9 Predator B, vyráběný firmou General Automics Aeronautical Systems, je bojový dron používaný americkými, francouzskými a italskými leteckými silami. První let proběhl v únoru 2001. V současné době je v provozu 104 dronů tohoto typu. Každý Predator B stojí zhruba 17 milionů dolarů. Může nést až 14 raket vzduch-země AGM-114 Hellfire, nebo čtyři rakety Hellfire a dvě laserové bomby GBU-12 Paveway II. Rakety vzduch-vzduch AIM-92 Stinger jsou v současné době v testovacím režimu namontované na tomto dronu a pravděpodobně lze očekávat jejich využití v budoucnu (MQ-9 Reaper Predator B Unmanned Aircraft System UAS Drone, c2017).



Obr. 4: MQ-9 Predator B (Italy Qualifies CAE-Built Predator Mission Trainer for Zero Flight Time Training on Predator B/MQ-9 UAS, c2019)



b) Velmi těžké

Do kategorie velmi těžkých bezpilotních zařízení patří letadla s hmotností od 200 do 2 000 kg. Typickými příklady v této kategorii jsou letadla Outrider a Fire Scout.

Outrider je bezpilotní letadlový systém (UAS – Unmanned Aerial System) vyvinutý společností Lockheed Martin. Bzpilotní letadlový systém je určen k provádění misí ve strohých oblastech, kde je použití konvenčních bezpilotních zařízení omezené. Tento systém byl poprvé představen na výstavě DSEI (Defence System and Equipment International), která se konala v září roku 2017. Bzpilotní letadlový systém lze exportovat na zahraniční trhy dle předpisů mezinárodního obchodu se zbraněmi (ITAR – International Traffic in Arms Regulations), lze jej dodávat také v konfiguraci nepodléhající předpisům ITAR, která uspokojí požadavky komerčních a vojenských trhů po celém světě. Hlavní misí Outrideru je průzkum a sledování vojenských jednotek Spojených států amerických. Zpočátku byl vyvinut společností Alliant Techsystems. Projekt byl zrušen v roce 1999 po třech letech vývoje (Outrider Unmanned Aircraft System, c2019).



Obr. 5: Outrider (Pike, c2019)

Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout je řazen do kategorie bezpilotní autonomní helikoptéry (UAH). Northrop Grumman MQ-8 je klasifikován jako „taktické bezpilotní zařízení“ a na rozdíl od ostatních běžně používaných bezpilotních zařízení je spíše podobný tradiční helikoptéře, nežli letadlu s pevnými křídly. Díky vrtulím může letadlo MQ-8 vzlétnout i přistát ve vertikálním směru prakticky bez ohledu na okolní terén a díky svým vlastnostem se i vydrží déle pohybovat ve vzduchu na rozdíl od ostatních typů bezpilotních zařízení. Systém byl

navržen tak, aby v reálném čase zajistil průzkum a dohled nad pohybem nepřátel, hodnocení stavu bitvy, zaměřování cíle na nepřátelské linie nebo vozidla a k zajištění shromažďování obecných informací. Jeho vzdušná povaha poskytuje velitelům pozemních sil potřebné „oči na obloze“, které mohou být v boji rozhodujícím faktorem (Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout, c2019).

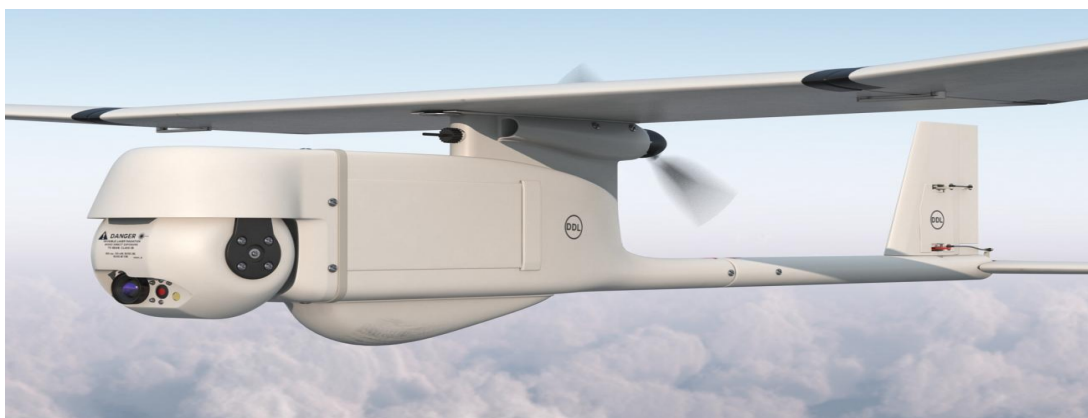


Obr. 6: Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout (Bekker, c2003-2019)

### c) Středně těžké

Tato kategorie zahrnuje bezpilotní zařízení s hmotností od 50 do 200 kg. Do této kategorie patří letadla Raven a Phoenix. Existuje i další kategorie bezpilotních zařízení s názvem „lehká váha“, do které patří zařízení s hmotností od 5 do 50 kg.

Letadlo RQ-11B Raven lze ovládat ručně nebo ho naprogramovat pro autonomní provoz, který využívá pokročilý systém avioniky a přesnou GPS navigaci. Rozpětí křídel letadla je 4,5 metru a hmotnost zhruba 2 kg. Ručně ovládaný Raven zajišťuje letecké pozorování, ve dne nebo v noci, v přímém směru až do vzdálenosti 10 kilometrů. Raven, který je nyní k dispozici přenáší barevné nebo infračervené snímky v reálném čase na pozemní a vzdálené sledovací stanice (RQ-11B Raven, c2019).



Obr. 7: RQ-11B Raven (Remote Controlled UAV RQ 11B Raven Rigged, c2018)

Bezpilotní zařízení Phoenix poskytuje denní a noční sledování v reálném čase. Jeho úkolem je shromažďování informací o bojišti, včetně identifikace cílů a údajů o poloze, které jsou přes zabezpečené komunikační sítě přenášeny do velitelských středisek a dělostřeleckých jednotek. Phoenix vstoupil do služby s britskou armádou v roce 1999 a byl nasazen v roce 1999 jako součást mírových misí NATO v Kosovu. Poslední provozní let Phoenixu proběhl v květnu 2006 a systém byl v březnu 2008 definitivně vyřazen z provozu (Phoenix Battlefield Surveillance UAV System, c2019).



Obr. 8: Phoenix (Phoenix Battlefield Surveillance UAV System, c2019)

#### d) Mikro

Do kategorie mikro patří všechna bezpilotní zařízení s hmotností menší než 5 kg. Příkladem pro tuto kategorii jsou zařízení Dragon Eye, FPASS, Pointer a SilentEyes.

RQ-14 Dragon Eye je bezpilotní zařízení ovládaný zcela autonomně, ručně nebo pomocí bungee gumy, které je navrženo tak aby poskytovalo taktické průzkumné a dohledové informace velitelům. Díky elektromotoru má velmi nízkou

hlučnost a díky svému malému rozpětí křídel je velmi obtížné ho detekovat během letu. Pomocí senzorů na letadle lze přenášet barevný nebo infračervený obraz v reálném čase, s vysokým rozlišením. Systém bezpilotního zařízení Dragon Eye se skládá celkem ze tří různých typů bezpilotních zařízení (UAV, AeroVironment RQ-14 Dragon Eye, Computer Control System).



Obr. 9: RQ-14 Dragon Eye (Dragon Eye, c2019)

### 3.1.2.2 Dle doby letu a vzdálenosti

Níže jsou uvedené tři běžné skupiny bezpilotních zařízení na základě jejich výdrže a vzdálenosti.

#### a) Dlouhá

Bezpilotní zařízení s dobou letu delší než 24 hodin. Tato zařízení mohou létat na vzdálenost od 1 500 km do 22 000 km. Do této kategorie patří například Global Hawk.

RQ-4 Global Hawk se řadí mezi těžká bezpilotní zařízení s prázdnou hmotností 3 850 kg a maximální hmotnost v naloženém stavu až 10 400 kg. Global Hawk je dlouhý přibližně 13,5 m, rozpětí křídel je 35,4 m. Cestovní rychlost může dosahovat až rychlosti 650 km/h. Výdrž tohoto letadla ve vzduchu je až 34 hodin. Letadlo bylo používáno americkou armádou v operaci „Enduring Freedom“ (trvalá svoboda) a v operaci „Iraqi Freedom“ (osvobození Iráku). Jejich hlavním posláním bylo poskytovat sledovací a průzkumné snímky s vysokým rozlišením (Global Hawk - UAV).



Obr. 10: Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk (Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk, c2019)

b) Střední

Do této kategorie patří bezpilotní zařízení s vytrvalostí od 5 do 24 hodin. Běžnými typy letadel této skupiny jsou Shadow 600 a Predator.

Letadlo RQ-7 Shadow 600 se vyznačuje délkou letu od 12 do 14 hodin a využitelným zatížením až 41 kg. Motor je poháněn rotačním motorem, který má výkon 52 koňských sil. Podvozek je tříkolový systém s jedním předním kolem vybaveným brzdovým systémem. Pro podporu systémů se používají lithiové baterie. Trup je vytvořen v souladu s postupy ISO 9001 a hlavní prvky jsou z grafitových epoxidových materiálů. Grafitová křídla z uhlíkových vláken mají voštinovou strukturu zajišťující maximální odolnost. Bepilotní zařízení může vzlétnout a přistát různými způsoby v závislosti na potřebách uživatele (Kuska, c2010-2019).

Norma ISO 9001 se zaměřuje především na činnosti ve výrobě, které ovlivňují spokojenost konečných uživatelů a splnění jejich požadavků a očekávání. Vychází z procesního řízení a klade důraz na dosahování cílů, neustálé zlepšování a většího zapojení vrcholového vedení (ISO 9001 – Systém managementu kvality, c2019).



Obr. 11: RQ-7 Shadow 600 (The Drone Index: Textron Shadow, c2011-2019)

c) Krátká

Tato bezpilotní zařízení jsou schopna letu pouze po dobu kratší než 5 hodin a lze je využít pouze při krátkých misích, zejména při krátkém průzkumu v neznámé oblasti. Příkladem pro tuto kategorii je Pointer.

FQM-151 Pointer byl nejčastěji používán americkou armádou a námořní pěchotou. Jeho primárním využitím bylo sledování na bitevních polích. Řízení probíhá dálkovým ovládním nebo autonomně, poskytuje průzkum „over the hill view“ (pohled přes kopec). Na letadle je pevně namontovaná CCD kamera, která slouží k zaměřování cíle. Počátkem roku 1990 získalo armádní a námořní vojsko celkem 50 těchto zařízení od výrobce letecké techniky AeroVironment. Pointer byl nasazen v misích v Iráku a v Afghánistánu. S hmotností přibližně 4 kg potřebuje tento dron jen 0,3 kW elektrický motor. Maximální rychlost může být až 73 km/h a jeho výdrž trvá pouze 1 hodinu (FQM-151 Pointer UAV, c1998-2019).



Obr. 12: FQM-151 Pointer (FQM-151 Pointer UAV, c1998-2019)

### 3.1.2.3 Dle maximální nadmořské výšky

Dalším způsobem, kterým lze klasifikovat bezpilotní zařízení jsou dle nadmořské výšky, ve kterých se mohou pohybovat. Vysoká nadmořská výška může být velmi důležitá pro vojenská bezpilotní zařízení, aby nedošlo k jejich pozorování nebo odhalení. Klasifikace nadmořské výšky je založena na výškovém maximu, kterého může letadlo dosáhnout.

#### a) Nízká

V této kategorii jsou bezpilotní zařízení, které mohou letět pouze do výšky 1 000 m. Většina těchto letadel se nepoužívá k žádné misi, ale pouze k experimentování. Příkladem pro tuto kategorii jsou letadla Pointer a Dragon Eye.

#### b) Střední

Bezpilotní zařízení s možností letu ve výšce mezi 1 000 a 10 000 m, jsou řazeny do této kategorie. Jedná se o nejběžnější kategorii bezpilotních zařízení. Do této kategorie patří například letadlo zvané Finder.



Obr. 13: Finder (FINDER – Autonomous, Expendable UAV / SAIC)

#### c) Vysoká

Do kategorie s vysokou nadmořskou výškou patří letadla, která létají ve výšce nad 10 000 m. Vzhledem k vysokému riziku srážky s letadly s posádkou, kvůli jejich letové nadmořské výšce, se vyvíjí technologie, která předchází možnosti kolize s jinými letadly pro bezpilotní zařízení, které provádí mise ve vzdušném prostoru, kde se zároveň pohybují letadla s posádkou. Příkladem pro tuto kategorii jsou bezpilotní zařízení X-45, Predator B, Darkstar a Global Hawk (Classification of maximum altitude).

### 3.1.2.4 Dle zatížení křídel

Možnost zatížení křídel se vypočítá rozložením hmotnosti na plochu křídel. Bezpilotní zařízení lze klasifikovat do tří kategorií dle možnosti zatížení, a to nízké, střední a vysoké zatížení křídel. Zatížení křídel lze provést i přes online kalkulačku dostupnou z následujícího odkazu <http://www.ef-uk.net/data/wcl.htm>.

#### a) Vysoké

V kategorii vysokého zatížení křídel jsou bezpilotní zařízení, které mají zatížení křídla nad  $100 \text{ kg/m}^2$ . Příkladem této kategorie je letadlo Global Hawk.

#### b) Střední

Do střední kategorie jsou zařazena letadla s možným zatížením křídla mezi  $50 \text{ kg/m}^2$  a  $100 \text{ kg/m}^2$ . V této kategorii je příkladem letadlo X-45.

#### c) Nízké

V této kategorii jsou bezpilotní zařízení, která mají zatížení křídla menší než  $50 \text{ kg/m}^2$ . Příkladem pro kategorii nízkého zatížení je letadlo Seeker 400 (Classification by wing loading).



Obr. 14: Seeker 400 (Seeker 400 Unmanned Aerial Vehicle Surveillance System, c2019)



### 3.1.2.5 Dle typu motoru

Volba správného motoru pro bezpilotní zařízení je velmi důležitá a náročná úloha, protože každý typ motoru nesplňuje požadavky pro všechny mise, ale pouze pro konkrétní mise. V závislosti na ostatních vlastnostech bezpilotních zařízení, jako je hmotnost, doba letu, maximální nadmořská výška a zatížení křídel, může být každý typ motoru vhodný pouze pro některé bezpilotní zařízení.

Některé běžné motory používané v bezpilotních zařízeních mohou být elektrické, turbodmychadlové, pístové nebo rotační.

#### a) Rotační

Motory Rotron Rotary UAV jsou čtyřdobé rotační motory typu wankel, které jsou podstatně menší, lehčí a obsahují méně pohyblivých součástí než pístové motory s ekvivalentním výkonem. Motory jsou nakonfigurovány na optimální provozní účinnost a vysoký poměr výkonu a hmotnosti (Rotron, c2008-2019).

#### b) Turbodmychadlové

Turbodmychadlové motory kombinují výhody a do jisté míry i principy jednoproudových a turbovrtulových motorů s cílem přiblížit se ekonomičnosti turbovrtulových motorů i v oblasti vyšších rychlostí, kde turbovrtulový pohon již není tolik efektivní (Žežula, c2008-2018).

#### c) Pístové

Pístové letouny obsahují jeden nebo více motorů poháněných písty, které jsou propojené vrtulemi, které poskytují dostatečný tah pro pohyb letadla na zemi i ve vzduchu. Pístové letouny nejčastěji používají 100 oktanové palivo s nízkým obsahem olova (Piston Engine Aircraft, c2019).

#### d) Elektrické

Nevýhodou elektrických pohonů je nízký poměr výkonu a hmotnosti oproti palivovému pohonu, proto mají výrazně kratší dobu letu. Baterie potřebují dostatek času na dobítí, takže příprava na následné mise trvá podstatně déle než jednoduše doplnit palivovou nádrž (Engines & Propulsion Systems, c2018).

### 3.1.2.6 Dle způsobu využití

Přestože začínají postupně převažovat multifunkční letouny, většinou je řadíme do následujících kategorií.

a) Cíle a návnady

Poskytují simulaci pozemního a vzdušného cíle nepřátelského letadla nebo střely.

b) Průzkumné

Poskytují informace o bojišti.

c) Bojové

Během velmi rizikových misí jsou schopné boje.

d) Logistické

Bezpilotní zařízení speciálně navržené pro logistické účely.

e) Výzkumné a vývojové

Slouží k dalšímu vývoji technologií pro bezpilotní zařízení.

f) Civilní a komerční

Bezpilotní zařízení speciálně zkonstruováno pro civilní nebo komerční využití (Co je dron?, c2015-2018).

### 3.1.3 Legislativa ČR

Úřad pro civilní letectví (ÚCL) zveřejnil informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, zejména různých forem vícerotorových vrtulníků, tzv. „(multi)koptér“, formou odpovědí na 3 hlavní otázky (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011).

#### 1) Co je model letadla a co již bezpilotní letadlo? V čem je praktický rozdíl?

V médiích a sdělovacích prostředcích se často setkáváme s neúplnými informacemi, z nichž není zřejmý rozdíl mezi modelem letadla a bezpilotním letadlem.

Dle platných předpisů v České republice se model letadla vyznačuje níže uvedenými znaky, které musí být kumulativně splněny. Pokud není splněna jedna z podmínek má za následek nemožnost klasifikace daného zařízení jako modelu

letadla. Model letadla (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011):

- a) je provozován pouze za rekreačním nebo sportovním účelem;

Této podmínce neodpovídá žádná komerční činnost, prováděná právnickou nebo podnikající fyzickou osobou.

Pokud je let nabízen formou inzerce a prováděn za finanční odměnu a smyslem letu je zajištění služby, která je následně prodána, jedná se o letecké práce prováděné bezpilotním letadlem. Typickými příklady jsou: letecké snímkování ve viditelném nebo infračerveném spektru, zaměřování terénu, geomagnetický průzkum, chemické rozborů ovzduší, hlídkovací a monitorovací lety.

Pokud je let prováděn pro vlastní užitek právnické nebo podnikající fyzické osoby na podporu její činnosti, kdy je letadlo využito jako výrobní nástroj jiné finální služby nebo zboží, jedná se o letecké činnosti pro vlastní potřebu, prováděné bezpilotním letadlem. Typickými příklady jsou: propagační lety, hlídkovací lety pro ochranu vlastního areálu, monitorovací lety vlastních produktovodů, kartografické služby, lety pro zajištění výkonu státní správy, práškovací lety vlastních polí.

Této podmínce vyhovují například soukromé lety (tzv. fotolety) výhradně pro vlastní bezúplatnou potřebu soukromých osob (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011).

- b) je provozován pouze v přímém vizuálním dohledu pilota nebo odpovědné osoby;

Bezpilotní zařízení musí být stále dostatečně viditelné prostým zrakem pilota, bez využití dalekohledů a kamer s objektivy. Brýle a kontaktní čočky na předpis jsou samozřejmě použitelné. Výraz dostatečně znamená, aby pilot byl schopen bezpečně řídit let bezpilotního zařízení, byl schopen včas zaznamenat možná nebezpečí (např. překážky nebo jiný letový provoz) a byl schopen se jim vyhnout (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011).

a současně

- c) nemá vlastní navigační a řídicí systémy, které by umožnily let na předem zvolené místo.

Tyto systémy, které jsou nejčastěji založené na bázi GPS a autopilota, jsou stále častěji nedílnou součástí bezpilotních zařízení, které se na trhu objevují s nesprávným označením modelu letadla. Dle definice se jedná o bezpilotní

zařízení, jehož pilot, vlastník anebo provozovatel je povinen respektovat provozní podmínky a omezení stanovené Doplňkem X, leteckého předpisu L2 – Pravidla létání v celém rozsahu (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011).

## **2) Existují nějaké podmínky, omezení nebo pravidla provozu?**

Každý účastník letového provozu si musí počínat tak, aby neohrožoval ostatní letecký provoz, osoby a jejich majetek. Konkrétněji pak hovoří letecký předpis Ministerstva dopravy L2 - Pravidla létání, Doplňk X. Ten obsahuje závazná pravidla pro provoz bezpilotních zařízení a pravidla pro modely letadel. Tato pravidla jsou uvedena hlavně ve formě doporučení (zejména nelétat nad lidmi a hustě obydlenými oblastmi), obsahují však i několik závazných požadavků, zejména těch, která mají za cíl chránit letový provoz (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011).

Lze říci, že pokud bude bezpilotní zařízení provozováno tak, aby:

- a) na něj pilot nebo odpovědná osoba měla dobrý výhled a dokázala se včas vyhnout překážkám a ostatním letadlům (i bezpilotním);
- b) nelétala nad lidmi a hustě obydlenými oblastmi ani v jejich nebezpečné blízkosti;
- c) nepřekračovala výšku 300 m od zemského povrchu;
- d) nelétala blíže než 5,5 km od středu letiště (malé modely do 0,91 kg mohou i blíže, pokud však nepoletí výše, než je výška okolní zástavby, stromů nebo překážek),

může si pilot plně užívat zábavy, která je také hlavním smyslem létání s bezpilotním modelem letadla a vyhne se případným potížím (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011).

## **3) Kdy jsou zapotřebí jaká povolení?**

Bezpilotní zařízení je možné provozovat pouze s povolením Úřadu pro civilní letectví. Jedná se konkrétně o povolení k létání (§ 52 zákona č. 49/1997 Sb. o civilním letectví) a dále o povolení k provozování leteckých prací, leteckých činností pro vlastní potřebu nebo k provozování obchodní letecké dopravy (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011).

Provozování bezpilotního zařízení bez příslušného povolení ÚCL může být předmětem sankčního řízení s možností udělení pokuty až do výše 5 000 000 Kč.

Povolení Úřadu pro civilní letectví není potřeba pouze pro modely letadel do maximální vzletové hmotnosti 25 kg. Definice modelu letadla a vymezení druhů leteckých činností vylučují provoz modelu letadla pro činnosti jiné, než rekreační a sportovní.

Pro bezpilotní zařízení do 25 kg určené pouze k rekreačně sportovním účelům se povolení k létání dle § 52 leteckého zákona nevydává a podmínky Doplňku X lze považovat za generální povolení užívání vzdušného prostoru České republiky ve smyslu ustanovení § 52 leteckého zákona (Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011).

### **3.1.3.1 Postup pro získání povolení k leteckým činnostem s bezpilotními letadly**

*„Obecný postup se skládá z následujících kroků:*

#### **1. Fáze - získání povolení k létání letadla bez pilota na palubě (i modelu letadla nad 20 kg)**

*- § 52 zákona č. 49/1997 Sb., o civilním letectví ve znění pozdějších předpisů – dále jen „letecký zákon“*

- a) Podání žádosti včetně příloh (formulář žádosti je dostupný na <http://www.caa.cz/file/5964>), pokyny k vyplnění formuláře žádosti jsou dostupné na <http://www.caa.cz/file/6048>;*
- b) Vyhodnocení dodaných dokumentů;*
- c) Výzva k zaplacení správního poplatku (4 000,- Kč - položka č. 51 písm. b) sazebníku zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích/ modely letadel 2 000,- Kč – položka č. 51 písm. c) téhož zákona);*
- d) Vydání Rozhodnutí o vydání Povolení k létání letadla bez pilota s omezeními „pilot - žák“ a následně po jeho nabytí právní moci vydání samotného Povolení k létání letadla bez pilota se stejnými omezeními;*
- e) Podání žádosti o změnu Povolení k létání (žádosti o odstranění tzv. „žakovských“ omezení);*
- f) Přezkoušení teoretických znalostí a praktických dovedností pilota, fyzická kontrola systému;*
- g) Výzva k zaplacení správního poplatku (400,- Kč - položka č. 51 písm. e) sazebníku zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích/ modely letadel 200,- Kč – položka č. 51 písm. f) téhož zákona);*

h) Vydání Rozhodnutí o vydání/ nevydání Povolení k létání letadla bez pilota a následně v kladném případě po jeho nabytí právní moci vydání samotného Povolení k létání letadla bez pilota.

V případě, že zamýšleným účelem provozu bezpilotního systému je provozování leteckých prací (§ 73 leteckého zákona) a/nebo leteckých činností pro vlastní potřebu (§ 76 leteckého zákona), je zapotřebí získání dalšího zvláštního povolení. Obecný postup k získání těchto povolení se skládá z následujících kroků:

## **2. Fáze - získání povolení k provozování leteckých prací nebo leteckých činností pro vlastní potřebu**

a) Podání žádosti včetně příloh

- formulář žádosti o vydání povolení k provozování leteckých prací je dostupný na <http://www.caa.cz/file/6683>, pokyny k vyplnění formuláře žádosti jsou dostupné na <http://www.caa.cz/file/6684>;
- formulář žádosti o vydání povolení k provozování leteckých činností pro vlastní potřebu je dostupný na <http://www.caa.cz/file/7483>, pokyny k vyplnění formuláře žádosti jsou dostupné na <http://www.caa.cz/file/7484>;

b) Vyhodnocení dodaných dokumentů;

c) Výzva k zaplacení správního poplatku (10 000,- Kč - položka č. 51 písm. a) sazebníku zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích);

d) Vydání Rozhodnutí o vydání/ nevydání Povolení k provozování leteckých prací / leteckých činností pro vlastní potřebu bezpilotním letadlem a následně v kladném případě po jeho nabytí právní moci vydání samotného Povolení.“  
(Chci provozovat bezpilotní letadlo / systém, jak mohu postupovat?, c2011)

### **3.1.4 Výhody a nevýhody UAV**

Komerční drony se neustále vyvíjejí a stejně jako každá moderní technologie přináší jisté výhody a nevýhody. Postupem času dochází k neustálému zdokonalování těchto systémů a je brán zřetel především na to, aby byl jejich provoz bezpečný jak pro zúčastněné osoby, tak hlavně pro nezúčastněné osoby a majetek na zemi.

Aby bylo možné objektivně posoudit tyto klady a zápory, nabízí se srovnání např. s pilotovanými leteckými prostředky nebo leteckými modely, s jejich provozem nebo s možnostmi využití dronů k určitým výstupům a jejich porovnání z dosud dostupných příbuzných metod (Karas, 2017).

### 3.1.4.1 Výhody využití UAV

Hlavní výhody dronů vychází z jejich vlastností a předností, jako jsou menší velikost, jednoduchost ovládání, velká dostupnost z hlediska prodeje i jejich ceny, možnost využití nejrůznějších senzorů pod dronem a vysoký rozsah využívání dronů k nejrůznějším potřebám a výstupům (Karas, 2017).

Mezi hlavní výhody patří:

- Snadné ovládání a stabilita oproti leteckým modelům.
- Nízká hmotnost a malá velikost.
- Jednoduchá manipulace a mobilita.
- Široký výběr dronů na trhu.
- Výrazně levnější náklady na provoz (oproti využití pilotovaných strojů).
- Vysoká flexibilita nasazení dronů do akce.
- Možnost použití na špatně přístupných místech (start a přistání).
- Živý přenos obrazu z dronu v reálném čase na velkou vzdálenost (pozorování nebezpečných prostor).
- Pořizování fotek a videí ve vysokém rozlišení.
- Pořizování specifických dat ve spojení s různými mikrosenzory (snímací senzory se zmenšují a zlehčují a lze je adaptovat na drony).
- Možnost využívání za nízké oblačnosti.

Rozměry komerčních dronů se pohybují od několika centimetrů do jednotek metrů, proto je možné je vložit téměř do každého automobilu a bezpečně dopravit až na lokalitu, kde chceme provést letecké snímání. Stejně dostupné jsou malé speciální drony, které je možné využít například při extrémních sportech nebo turistice, umístit je do batohu a přenést až na místo, které není dostupné automobilem a jinými prostředky (Karas, 2017).

Z toho plyne hlavní výhoda oproti klasickým pilotovaným prostředkům, nižší cena provozu a současně možnost rychlého nasazení v případě potřeby.

Většina bezpilotních leteckých prostředků je na elektrický pohon (baterie), a spotřeba energie na jeden let se tedy pohybuje v několika korunách.

Další výhodou je možnost vzletu z velice malé plochy a přistání kolmo, nejsou tedy nutné vyhrazené prostory ke vzletu nebo přistání. Samotný vzlet dronu trvá pouze několik sekund a příprava na vzlet se pohybuje v řádech několika minut.

Postupným vývojem technologie se všechny fotoaparáty, videokamery a další speciální senzory zmenšují a snižuje se jejich hmotnost, což přidává možnost využívat takové senzory pro drony, včetně různých speciálních konfigurací. Nyní se vyrábí speciální senzory určené přímo pro drony, které nemusí být omezeny pouze na obrazový záznam, ale mohou zachycovat například znečištění ovzduší nebo měřit radiaci. Existují také laserové skenery pro drony, které mapují povrch terénu (Karas, 2017).

Senzory podporující záznam a přenos videa, což je každý fotoaparát a videokamera, mohou v reálném čase vysílat přes dron obraz do monitoru s přijímačem signálu, tyto drony lze velice efektivně využít při leteckém monitorování nebezpečných lokalit jak pro pilotované stroje, tak pro pozemní pohyb. Bezpilotní zařízení mohou být takto využity při přírodních katastrofách a jiných incidentech, kde není zaručena bezpečnost lidem a přitom je potřeba získat co nejdříve přehled o situaci v těchto místech a přijmout příslušná opatření s ohledem na reálnou situaci.

Všichni účastníci letu včetně pilota jsou na zemi, tudíž i bezpečnost pilota je v případě ovládní dronu zaručena.

Dříve bylo nutné počítat s dlouhými předobjednávkami, které byly převážně ze zahraničí, dnes už se drony dostaly i do tuzemských kamenných a internetových obchodů. V dnešní době je výhodou rostoucí počet druhů různých bezpilotních leteckých systémů a dostupnost těchto komerčních dronů různých velikostí a specifikací, která se v průběhu posledního desetiletí výrazně změnila (Karas, 2017).

#### **3.1.4.2 Nevýhody využití UAV**

Vzhledem k poměrně krátké době působnosti komerčních dronů na trhu, se jejich technologie neustále vyvíjí a zlepšují se jejich parametry, tudíž je patrná snaha případné nevýhody neustále snižovat (Karas, 2016).

Mezi hlavní nevýhody patří:

- Doletová vzdálenost (dolet pouze několik km).
- Doba letu (desítky minut).
- Nízká nosnost (jednotky kg).



- Nejednotná mezinárodní legislativa (pravidla jsou v každé zemi jiná, a to i v rámci EU).

Bezpilotní letecké systémy nemohou konkurovat pilotovaným leteckým prostředkům v ulétnutých vzdálenostech a výdrži ve vzduchu. Existují výjimky, kdy drony dokáží monitorovat území až po dobu 24 hodin, jedná se však o armádní drony se spalovacími motory.

V současné době se vyvíjí drony, které by mohly vydržet ve vzduchu až čtvrt roku a pohybovat se ve výšce 18-24 km nad zemí a šířit např. internetové připojení (takové drony testuje například společnost Facebook).

Další nevýhodou je různorodá legislativa pro využívání dronů (např. k jejich komerčnímu využívání), a je tedy nutné se vždy s předstihem seznámit s legislativou daného státu, kde plánujeme s dronem létat.

V Evropské unii a v USA probíhá legislativní proces, který by měl v budoucnu umožnit stejné podmínky pro využívání dronů.

Již nyní je zřejmé, že v nejbližší době nebude dronům povolen pohyb v určitých letových hladinách a prostorech a vždy bude mít jejich provoz menší prioritu než klasický komerční letový provoz.

Největším omezením v současné době je, že drony nemají tzv. odpovídače (systém, který mají všechny klasické letecké prostředky), které by identifikovaly přesnou polohu dronu v letovém prostoru pro Řízení letového provozu (ŘLP), a nejsou tak viditelné na radarech a mohou být potencionálním rizikem pro pilotované prostředky (Karas, 2016).

V podstatě žádné komerční drony nemají důslednou certifikaci celého systému a atestaci v nejrůznějších podmínkách, která v oblasti letectví hraje velkou roli a je podmínkou provozu pilotovaných prostředků. Z oblasti letectví je na drony pohlíženo jako na technologie, které nesplňují všechny podmínky k bezpečnému sdílení vzdušného prostoru (Karas, 2016).

V případě, že nebudou odstraněny tyto bariéry, budou vždy existovat striktní pravidla, v jakých letových hladinách se smějí tyto prostředky pohybovat, že musí být jejich provoz ve vizuálním dosahu pilota a další, ačkoliv samotná technologie umožňuje létat mimo vizuální dosah, létat automaticky dle letového plánu nebo autonomně.

Při zvýšení bezpečnosti provozu dronů a jejich jednoduché identifikaci v letovém prostoru bude v budoucnu odstraněna spousta dnešních bariér jejich komerčního provozu (Karas, 2016).

## **3.2 LiDAR**

### **3.2.1 Historie**

Nejstarší známá varianta moderních LiDAR systémů se vyvinula v přírodě před miliony let. Chiroptera, obvykle známá jako netopýři a kaloni, používají echolokační navigační systém nyní známý jako SONAR (Sound Navigation And Ranging). Vysílají krátké, hlasité „cvrlikání“ od nosu a přijímají ozvěnu přes uši podobné dvou anténám. To poskytuje netopýřům trojrozměrný výhled do okolí, což jim umožňuje vyhnout se překážkám a snadno najít svou kořist.

Podobné systémy začali lidé rozvíjet počátkem 20. století. Christian Huelsmeyer „Telemobilescope“, vyvinutý v roce 1904, byl první formou RADARového (RADio Detection And Ranging) senzoru. Využívá radiových vln mimo slyšitelný rozsah. Skládá se z antény, přijímače a vysílače. Jeho původním použitím bylo odhalit kovové předměty, zejména lodě na moři, jako forma vyhýbání se kolizím. Tato raná forma RADARu měla rozsah 3000 m, což je mnohem méně než mají dnešní moderní alternativy. Při detekci objektu vydával zvuk, dokud objekt neopustil zkoumanou oblast.

Metoda určování vzdálenosti byla později vyřešena zaměřením paprsku na libovolnou úroveň elevace. S přihlédnutím k výšce antény a úhlu svislé výšky detekovaného objektu byl umožněn jednoduchý výpočet pro určení vzdálenosti objektu od vysílače. Radary vysílají úzký, obdélníkový puls modulovaný v nosníku sinusové vlny. Vzdálenost se měří podle času, po který se puls pohybuje do objektu a zpět. Je také možné použít průběžnou vlnovou křivku ukazující Dopplerův frekvenční posun pro měření rychlosti daného objektu (A brief history of LiDAR, c2019).

Snímače LiDAR (detekce a rozložení světla) pracují na stejném principu jako RADAR, vysílají laserové světelné vlny na objekt a načasují zpoždění v jeho návratu ke zdroji, aby změřily vzdálenost mezi těmito dvěma body. Vzhledem k tomu, že laserové světlo má mnohem kratší vlnovou délku, je možné přesně měřit mnohem menší objekty, jako jsou aerosoly a částice mraků, což ho činí zvláště vhodným pro mapování ve vzdušném terénu.

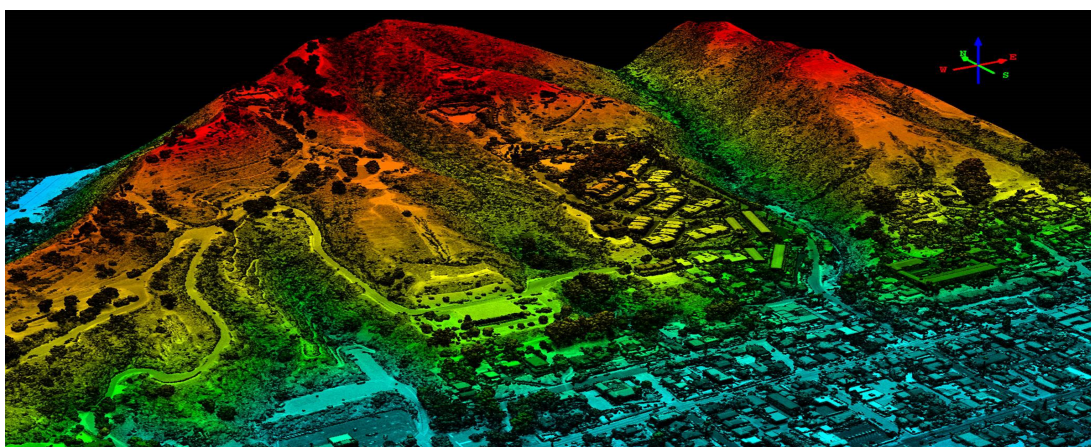
LiDAR také známý jako LADAR (Laser Detection And Ranging) byl rozsáhle využíván pro výzkum atmosféry a meteorologie díky svému vynikajícímu rozlišení. S nasazením GPS (Global Positioning System) v roce 1980, bylo možné určit přesnou polohu letadla, vzdušný LiDAR umožnil mapování. Od té doby bylo vyvinuto mnoho sestupných LiDAR přístrojů pro letadla a satelity (A brief history of LiDAR, c2019).

### 3.2.2 Princip a využití

LiDAR je zkratka pro funkci detekce a rozložení světla, je metodou dálkového průzkumu, která využívá světlo v podobě pulzního laseru k měření rozsahů (variabilních vzdáleností) na Zemi. Tyto světelné impulsy kombinované s dalšími daty zaznamenanými palubním systémem generují přesné, trojrozměrné informace o stavu Země a jejích povrchových charakteristikách.

Přístroj LiDAR se skládá hlavně z laseru, skeneru a specializovaného přijímače GPS. Letadla a vrtulníky jsou nejčastěji používanými platformami pro získání dat LiDAR v širokých oblastech. Jsou dva typy LiDARu topografické a batymetrické. Topografický LiDAR používá infračervený laser pro mapování Země, zatímco batymetrický LiDAR používá zelené světlo, které proniká i skrze vodní hladinu.

Systémy LiDAR umožňují vědcům a mapujícím profesionálům zkoumat jak přirozená, tak umělá prostředí s přesností. Vědci společnosti NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) využívají technologii LiDAR k produkci přesnějších map na pobřeží, k vytváření modelů digitálních výšek pro použití v geografických informačních systémech, k pomoci při operacích reakce na mimořádné události a v mnoha dalších aplikacích (NOAA, 2018).



Obr. 15: Výstup dat z LiDAR senzoru (Jižní Kalifornie, USA) (Wide-area LiDAR Data Completes Picture at Half the Cost, c2019)

Sady dat LiDAR pro mnoho pobřežních oblastí lze stáhnout z webového portálu Office for Coastal Management Digital Coast (NOAA, 2018).

Dnes se LiDARy uplatňují v řadě oborů, již jsme mluvili o využití v meteorologii a výzkumu atmosféry. Dalším uplatňujícím oborem, kde se tato technologie využívá, je zemědělství. Používají se k analýze výnosu plodin na polích, různé automatické stroje je využívají během setí osiva a aplikace hnojiv, nebo třeba při kontrole plevele.

LiDAR může pomoci zjistit, kde je vhodné použít nákladné hnojivo. S jeho pomocí lze vytvořit topografickou mapu polí a odhalit místa, kam nedopadá sluneční záření. Zaměstnanci v oblasti zemědělského výzkumu využili tyto údaje v kombinaci s výsledky hospodaření z předchozích let ke kategorizaci půdy na oblasti s vysokým, středním nebo nízkým výnosem. Na základě tohoto výzkumu dokázali přesněji určit, ve kterých oblastech je vhodné aplikovat nákladné hnojivo (Kilián, c2019).

Technologie LiDARu se uplatňují i v archeologii, kde dokáže rychle a levně vytvářet sady dat s vysokým rozlišením. S jeho pomocí je možné vytvářet detailní digitální trojrozměrné modely archeologických lokalit.

Dalším oborem je biologie, konkrétně lesnictví. Pomocí LiDARových systémů lze například měřit výšku porostu, mapovat množství a hustotu stromů, detekovat plochu listů, určit biologickou rozmanitost lesa a zkoumat další parametry. Na portlandské univerzitě používají LiDAR ke kontrole růstu stromů v rozlehlých ekosystémech na velkých plochách. Letadla vybavená LiDAREm dovolují odborníkům sledovat vzhled takřka každé větve (Kilián, c2019).

### **3.2.3 LiDAR v autonomních vozidlech**

LiDARu se dostalo značné popularity po jeho nasazení v autonomních vozidlech, kde plní nejčastěji funkci detektoru překážek a funguje jako rotující snímač, mapující prostředí kolem vozidla.

Mapa získaná ze senzorů poskytuje údaje o tom, kde se v okolním prostředí nacházejí potenciální překážky a v jaké pozici je vůči nim vozidlo. Tato data jsou následně průběžně zpracována softwarem automobilu, jehož cílem je vyhodnotit situaci a predikovat riziko možné kolize.

Spolu se softwarem dokáže systém vozidla nejen detekovat, že se v okolí nachází překážka, ale také analyzovat její dynamické vlastnosti, jako jsou například velikost, rychlost a směr pohybu. Na základě těchto dat lze upozornit řidiče na

hrozící riziko, případně situaci vyřešit úhybným manévrem nebo zastavením vozidla (Kilián, c2019).

Je jedním z bezpečnostních systémů, jehož úkolem je sledování okolí. Kromě plně automatických vozidel se tato technologie využívá také v dalších systémech přispívajících k vyššímu komfortu a bezpečnosti.

Jmenovat můžeme například adaptivní tempomat (ACC), asistenci nouzového brždění (EBS) a protiblokovací systém (ABS). LiDAR může varovat před srážkou, pomáhat při parkování nebo sledovat slepé úhly při změně pruhu.

Aktuální LiDARy používají rotační šestihránná zrcadla, která rozptylují laserový paprsek. Tři paprsky se používají pro detekci překážek před vozidlem, další slouží k indikaci značení jízdního pruhu a dopravních značek (Kilián, c2019).

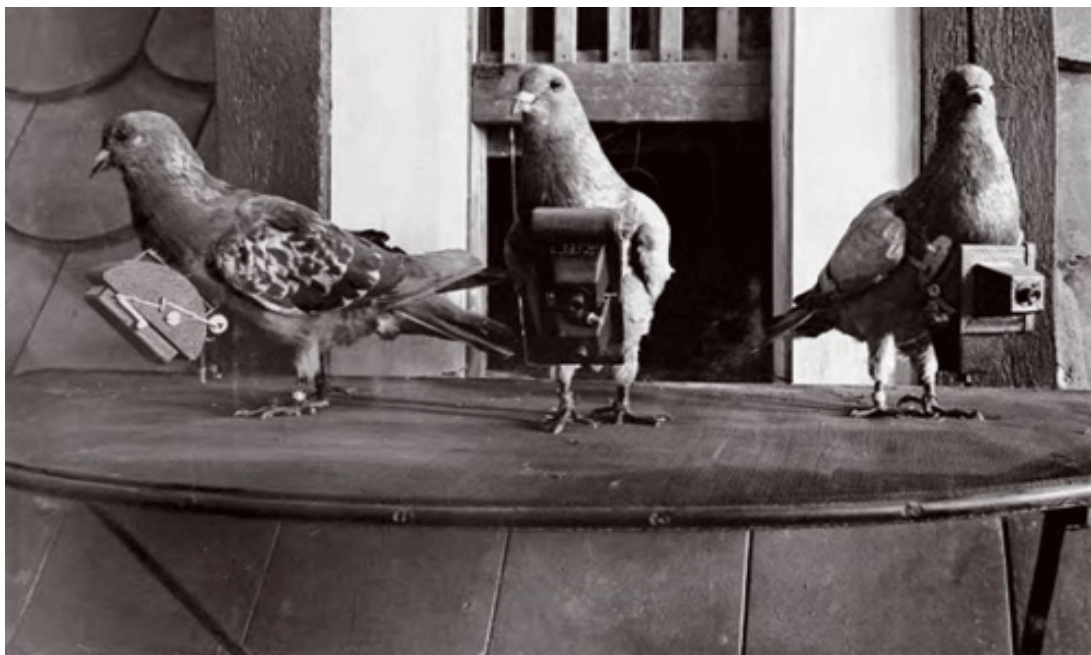
### **3.3 Dálkový průzkum Země**

Dálkový průzkum Země (DPZ) je proces získávání informací o objektu nebo jevu, aniž by s ním byl ve fyzickém kontaktu, na rozdíl od pozorování nebo snímkování na místě. To často vyžaduje použití technologií leteckých senzorů, jako jsou ty, které se používají v průzkumných letadlech a satelitech, aby bylo možné detekovat a analyzovat objekty na Zemi, obvykle na povrchu (Remote Sensing, c2019).

Dálkové snímání je použití satelitů, letadel a dalších leteckých technologií s využitím pokročilých sensorových technologií schopných detekovat energii odraženou od povrchu Země. To umožňuje shromažďovat data v nepřístupných nebo nebezpečných oblastech, kam by bylo příliš nebezpečné poslat tým a zařízení pro sběr dat. Vzhledem k tomu, že senzory jsou vysoko nad zemí, jsou velmi užitečné pro shromažďování dat ve velmi široké oblasti. Aplikace dálkového průzkumu Země zahrnují monitorování rozsahu odlesňování nebo šíření úniku ropy, jakož i sledování pohybu a změn polárních ledových čepic a ledovců. Stejný princip je aplikován na hloubkové ozvučení oceánských a pobřežních hloubek z lodí (Remote Sensing, c2019).

#### **3.3.1 Historie DPZ**

Dálkový průzkum Země začal ve 40. letech 19. století, kdy balonisté pořizovali snímky Země pomocí nově vynalezených fotografických kamer. Nejznámější známou platformou na konci minulého století je flotila holubů, která fungovala jako novinka v Evropě (The History of Remote Sensing).



Obr. 16: Holubi vybaveni kamerami pro zachycování leteckých snímků (Dempsey, c2001-2016)

Letecké fotografování se stalo cenným průzkumným nástrojem během první světové války a během druhé světové války se plně stalo jeho vlastním. Logický vstup vzdálených senzorů do vesmíru byl zahájen začleněním automatizovaných kamerových systémů na zachycených raketách V-2 vypuštěných z White Sands v Novém Mexiku. S příchodem Sputniku v roce 1957 byla realizována možnost uvedení filmových kamer na oběžné kosmické lodi. První kosmonauti a astronauti nesli kamery, aby dokumentovali vybrané regiony a cíle. Snímače naladěné na získání černobílých televizních obrazů Země byly namontovány na meteorologických satelitech, které začaly létat v šedesátých letech. Další senzory na těchto satelitech by mohly provádět ozvučení nebo měření atmosférických vlastností v různých výškách (The History of Remote Sensing).

Jako operační systém pro shromažďování informací o Zemi v opakovaném rozvrhu, vzdálené snímání došlo v 70. letech, kdy byly na Skylabu (později na Space Shuttle) a na Landsatu, prvním satelitu speciálně zaměřeném na sledování povrchů na pevnině a oceánů, nasazeny nástroje. Hlavním senzorem systému Seasat byl radarový zobrazovací systém a do 80. let minulého století byla na oběžné dráze umístěna řada specializovaných senzorů, jako jsou například CZCS (Coastal Zone Color Scanner), HCMM (Heat Capacity Mapping Missions) a AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), především jako výzkumné programy nebo programy proveditelnosti. První nevojenský radarový systém byl JPL Shuttle Imaging Radar (SIR-A) na raketoplánu Space Shuttle v roce 1982. Jiné národy brzy

následovaly vzdálené senzory, které poskytovaly podobné nebo zřetelně odlišné schopnosti. V osmdesátých letech minulého století byl Landsat privatizován a rozšířené komerční využití dálkového průzkumu bylo zakořeněno v USA, Francii, Rusku, Japonsku a dalších zemích (The History of Remote Sensing).

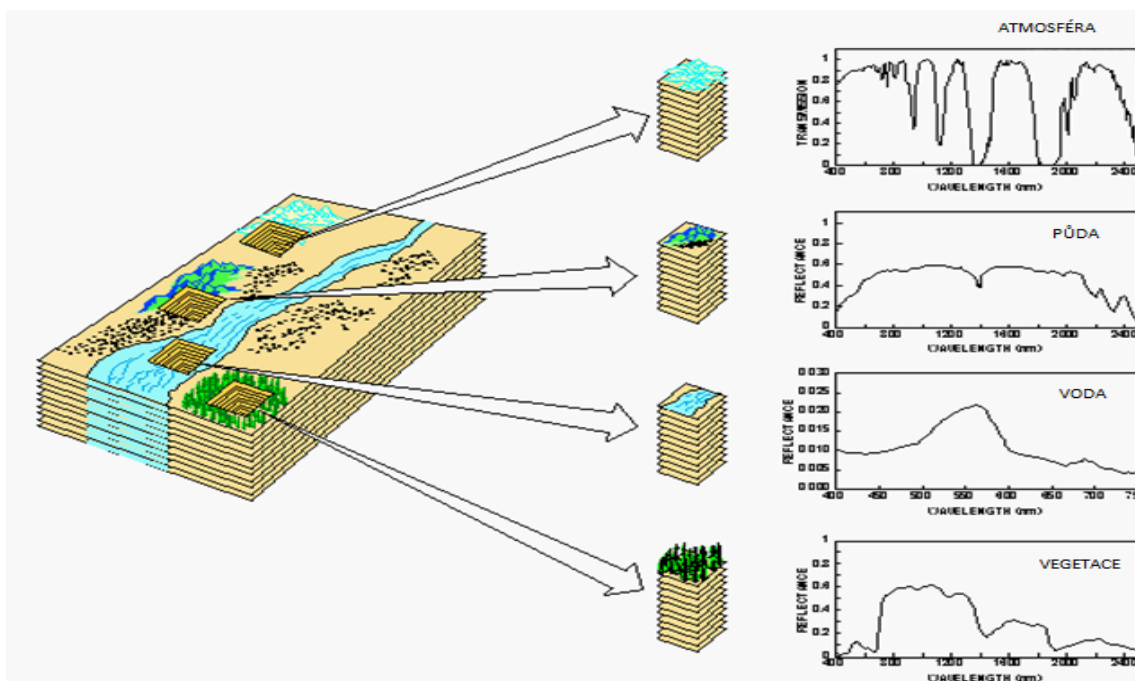
V roce 1957 započala kosmická éra lidstva Startem Sputniku-1, nová družicová technologie se začala velmi rychle rozvíjet a umělé družice Země se staly nepostradatelným pomocníkem v různých oblastech lidské činnosti. Velmi rychle byl poznán význam snímkování zemského povrchu z oběžné dráhy a započal tak nový obor činnosti – družicový dálkový průzkum Země. Nejprve byly používány fotografické a televizní systémy pro klasické snímkování zemského povrchu ve viditelném světle. Během 2. světové války byl rozpoznán význam snímkování vegetace v blízkém infračerveném světle. Později se toto stalo základem pro multispektrální snímkování. Tato technologie se prosadila jako základní v dálkovém průzkumu Země. Během 80. let se začaly využívat radarové zobrazující systémy a dnes se pro pořizování družicových dat využívá mnohem větší část spektra než v předcházejících letech (Historie).

### **3.3.2 Stručný vývoj systémů pro družicový DPZ**

- 1940 – 1957, vývoj vhodných raketových nosičů pro vojenské využití, závod velmocí USA a SSSR o politicky důležité partnerství ve vesmíru; 1957 vypustilo SSSR Sputnik-1 první družici Země.
- 1960 – 1972, první použitelné systémy družic, televizní technika, fotoprůzkumné družice, od prvních letů člověka po přistání na Měsíci, pokusné lety k nejbližším planetám, multispektrální systémy.
- 1972 – 1984, rozvoj počítačů a digitální technologie, první specializované družice pro DPZ, skenující opticko-mechanické radiometry, průzkum planet obdobnými metodami, první kosmické stanice, geostacionární družice, monitorovací družice Nimbus-7 a radarová družice SeaSat.
- 1985 – 1995, rozvoj výpočetní techniky, nové metody zpracování dat DPZ, komercializace DPZ na základě národních operačních systémů, rozvoj radarové technologie, internet, GPS, globální monitorování Země.
- 1996 – 2007, vývoj družic s velmi vysokým rozlišením pro komerční účely, mezinárodní kosmické stanice (Historie).

### 3.3.3 Základní principy DPZ

Základním principem dálkového průzkumu Země je měření množství elektromagnetického záření odráženého nebo vyzařovaného zemským povrchem. Zdrojem tohoto záření je jakýkoliv objekt na zemském povrchu, jehož teplota je větší než absolutní nula, to je  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V případě DPZ je uvažováno záření vydávané samotným povrchem Země i sluneční záření povrchem odrážené, případně záření vydávané umělým zdrojem, které zemský povrch odráží. Každý objekt na zemském povrchu má určité fyzikální vlastnosti; při dopadu elektromagnetického záření na tento povrch dojde ke vzájemné interakci záření s konkrétním povrchem, na který dopadá. Odrážené záření nám poté dává informace o povrchu, od kterého se odrazilo. Na základě záření odraženého zemským povrchem jsme schopni určit, o jakou látku se jedná (Základní principy DPZ, 2016).



Obr. 17: Projev různých typů povrchů na družicovém snímku – spektrální křivka (Základní principy DPZ, 2016)

Elektromagnetické záření, které je odraženo nebo vydáváno zemským povrchem, je v případě dálkového průzkumu zaznamenáváno speciálními přístroji – radiometry, které mohou být připevněny k letadlu nebo družici. Následně hledáme vztah mezi vlastnostmi zemského povrchu, ze kterého záření pochází a mezi hodnotami záření naměřenými radiometrem. Radiometr snímající záření může být nesen družicí nebo letadlem, ve výjimečných případech jsou používány i pozemní nosiče.



Oproti klasickým metodám pozemních měření má DPZ řadu výhod. Data jsou pořízena rychle i za rozsáhlá území. Zároveň jsou získávána za celou plochu, mizí tak nutnost interpolace z bodových měření. Měření jsou opakovatelná, je tedy možné získat pro konkrétní území řadu snímků v časovém rozmezí za určité období. Zároveň tímto dochází ke snížení finančních nákladů za pořízení dat. Dále umožňuje získávání informací i ze špatně přístupných míst. Díky možnosti automatizace celého procesu zpracování leteckých nebo družicových snímků je možné provádět dlouhodobý a udržitelný monitoring dané oblasti.

Výhodou DPZ je možnost záznamu informace pro člověka neviditelnou. Lidské oko je schopné zaznamenávat pouze viditelné záření o rozsahu vlnových délek přibližně 380-720 nm, zatímco pro DPZ jsou využívány vlnové délky v rozsahu 300 nm – 1 m (Základní principy DPZ, 2016).

### **3.3.4 Dálkový průzkum jiných planet**

U jiných planet mimo Zemi nám nezbyvá nic jiného než dálkový průzkum. Je proto logické, že stejných metod DPZ bylo použito i u jiných planet. Na meziplanetárních sondách se objevily televizní kamery, skenery, multispektrální systémy i radarové a laserové systémy (Historie).

#### **Radarové systémy**

První radarové systémy se objevily u sond Veněra 15 a 16 (1983) s rozlišovací schopností 1-2 km a mapovaly povrch Venuše, který je neustále zakryt oblačností. Teprve v roce 1990 proběhlo úspěšné radarové mapování povrchu Venuše sondou Magellan s rozlišovací schopností 75-120 m (Historie).

#### **Kamery a radiometry**

Skoro všechny sondy jsou vybaveny kamerami pro snímání obrazu a soubor radiometrů pro měření dalších charakteristik, jako je například teplota (Historie).

#### **Multispektrální zobrazující systémy**

Těmito sadami je vybavena řada moderních sond.

V roce 1975 prováděly stereoskopické snímání povrchu Marsu sondy Viking, je nutno také připomenout měsíční sondu Clementine v roce 1994, vybavenou čtyřkanálovou CCD kamerou (viditelné, ultrafialové, infračervené a tepelné pásmo) s rozlišovací schopností přibližně 40 m z mapovací výšky 400 km a dalšími kamerami s vysokým rozlišením a laserovým výškoměrem. Celkem bylo pořízeno přibližně 2 miliony snímků Měsíce.

Další sondou, která nesla vybavení užívané v DPZ, byla sonda NEAR v roce 1996, která byla vypuštěna k planetě EROS; obsahovala zařízení MSI (Multispectral Imager), které se skládá z komory osazené CCD maticí a rotačního osmidílného filtru; rozlišovací schopnost ze vzdálenosti 35 km bylo 3,3 m. Dále byl na palubě infračervený spektrograf NIS (Near Infrared Spectrograph) s rozlišovací schopností 250 m.

Družice Mars Global Surveyor byla určena pro mapování povrchu Marsu z mapovací dráhy ve výšce 400 - 450 km nad povrchem Marsu od ledna roku 1998. Družice byla vybavena zařízením MOC (Mars Orbital Camera) pro měření charakteristik povrchu i atmosféry. Optický systém tvoří kamera Wide Angle s rozlišovací schopností 280 m a také kamerou Narrow Angle s rozlišovací schopností 1,5 m. Povrch Marsu byl mapován dříve digitálními „metrovními daty“ než povrch Země (Historie).

Mars Odyssey je družice, která byla vybavena unikátním tepelným infračerveným snímacím zařízením THEMIS (Thermal Emission Imaging System), který mapuje povrch Marsu s rozlišením 100 m (družice Landsat5 TM má termální pásmo s rozlišením 120 m).

Další informace z Marsu přinesly vozítka SPIRIT a OPORTUNITY, které byly vysazeny na jejím povrchu v roce 2003 (Historie).

### **3.3.5 Přehled družicových systémů**

V této sekci jsme znázornili družice, které pořizují data z oběžné dráhy i družice již nefunkční. Vzhledem k velkému množství družic na oběžné dráze, byly vybrány pouze ty, které pořizují data od roku 2018. Úplný seznam družic je k nahlédnutí v příloze 1 (Přehled družicových systémů).

Družice	Senzor	Typ dat	Počet pásem	Prostorové rozlišení (m)	Archiv od
ASNARO-2	XSAR	Radarová	1	1.0, 2.0, 16.0	2018
CartoSat-2F	HRMX	Optická	4	2.0	2018
CartoSat-2F	PAN	Optická	1	0.65	2018
PAZ	SAR-X	Radarová	1	1.0, 2.0, 3.0, 6.0, 16.0	2018
Sentinel-3 B	OLCI	Optická	21	300.0	2018
Sentinel-3 B	SLSTR	Optická	9	500.0, 1000.0	2018
VividX2	UHD camera	Optická	3	1.0	2018

Tab. 1: Přehled družic od roku 2018 (Přehled družicových systémů)

### 3.3.6 Aplikační oblasti DPZ

#### Zemědělství a Lesnictví

- Určování druhu plodin, lesních dřevin a volné vegetace.
- Odhady zemědělské produkce.
- Sledování lesní těžby.
- Sledování stavu lesních porostů.
- Odhalování nelegální těžby dřeva.
- Hodnocení škod způsobených travními a lesními požáry.
- Kontrola správného stylu obhospodařování kvůli dotacím (DPZ, c2019).

#### Mapování

- Mapování a aktualizace map.
- Monitorování rozvoje měst.
- Mapování dopravních sítí.
- Mapování hranic vody a půdy.
- Rychlé pořízení dat z velké plochy.
- Mapování špatně přístupných míst (DPZ, c2019).

#### Geologie a pedologie

- Vymezení typu hornin a půd.

- Určení ploch pokrytých ledem a sněhem.
- Vyhledávání projevu mineralizace.
- Odhalení výškového pohybu terénu (s přesností na cm až mm).
- Mapování eroze půdy.
- Sledování kontaminace půd (Oblasti využití DPZ, 2016).

### **Vodní zdroje**

- Monitorování vod (v globálním, regionálním i lokálním měřítku).
- Určení hranic vodních zdrojů a vodních ploch.
- Mapování záplav a záplavových oblastí.
- Plánování rozvoje záplavových oblastí.
- Monitorování vodního znečištění (DPZ, c2019).

### **Mořské zdroje**

- Monitorování vod (v globálním, regionálním i lokálním měřítku).
- Detekce mořských proudů.
- Sledování výskytu ker.
- Sledování naftových skvrn (DPZ, c2019).

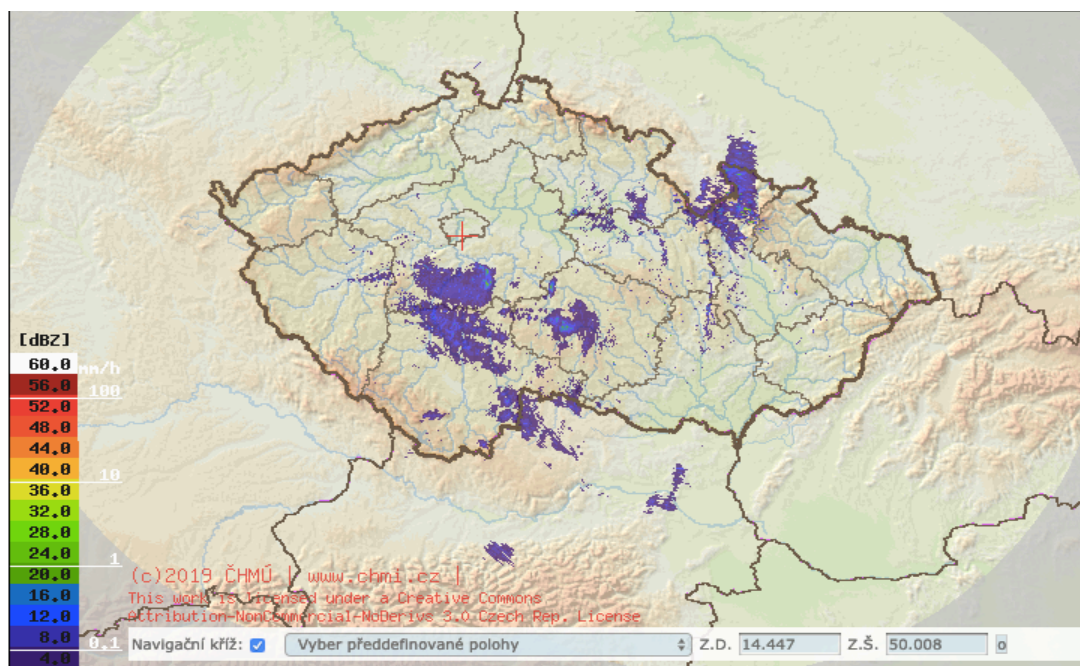
### **Životní prostředí**

- Sledování vlivu činnosti člověka (eutrofizace jezer, úbytek stromů).
- Umisťování skládek pevného odpadu.
- Umisťování elektráren a průmyslu.
- Stanovení důsledků přírodních katastrof.
- Plánování dopravních cest a tras vedení (DPZ, c2019).

### **Meteorologie a klimatologie**

- Sledování vzduchových hmot a front.
- Předpověď počasí.
- Studium klimatických změn.
- Proudění vzduchu.
- Detekce srážek.
- Znečištění ovzduší.

- Mocnost vrstvy ozonu.
- Sledování povrchové teploty Země (Oblasti využití DPZ, 2016).



Obr. 18: Oblačnost a srážky zjišťované z družicových dat ke dni 23. 4. 2019 ve 21:30  
(ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, c2010-2011)

### Krizové řízení

- Vypořádání se s různými druhy přírodních i člověkem způsobených katastrof.
- Rozsah povodní.
- Pomoc při monitorování lesních požárů.
- Evidence škod po zemětřesení.
- Detekce sesuvů půdy.
- Umožnění lepší prevence katastrof (Oblasti využití DPZ, 2016).

### Bezpečnost

- Monitorování a zamezení nelegálních aktivit.
- Sledování pirátských lodí, nelegálních emigrantů nebo uprchlických táborů.
- Informační podpora v oblasti potravinové bezpečnosti (Oblasti využití DPZ, 2016).

### Doprava a infrastruktura

- Pomoc při plánování silniční nebo železniční sítě.

- Přispívá v oblasti rozvoje infrastruktury.
- Pomoc při výstavbě nebo opravě inženýrských sítí.
- Detekce a sledování rizikových jevů (poškození povrchu vozovky).
- Sledování vlivu dopravy na životní prostředí (poškození vegetace v okolí dálnic).
- Prostupnost mořského ledu pro lodní dopravu.
- Bezpečnost letecké dopravy (Oblasti využití DPZ, 2016).

### **Urbanismus a územní plánování**

- Monitorování evropského krajinného pokryvu a jeho změny v pravidelném intervalu.
- Poskytuje podklady pro rozhodování v oblasti krajinného a územního plánování.
- Mapování rozšiřování zástavby.
- Monitorování městské zeleně (Oblasti využití DPZ, 2016).

### **3.3.7 Využití DPZ v pedologii**

Dálkový průzkum Země zasahuje do mnoha vědních oborů a pedologie není výjimkou. Může být používán ke sledování dynamiky určitého děje v závislosti na čase a prostoru (vlhkost, teplota, změna struktury), nebo pro výzkum faktorů, které se podílejí na spektrální odrazivosti půdy (Khel, 2009).

Půda obsahuje složitý komplex anorganických a organických látek, jejichž fyzikální vlastnosti mají vliv na celkový projev spektrální odrazivosti. Na spektrálním projevu půdy se uplatňují především povrchové vlastnosti půdy (Khel, 2009).

Mezi hlavní parametry ovlivňující spektrální projev půdy patří:

- vlhkost,
- obsah humusu (organických látek),
- mineralogické složení,
- mechanické vlastnosti půdy,
- struktura půdy a stupeň erozních procesů.

V oblasti pedologie stále více narůstá využití dat z dálkového průzkumu Země pro stanovení půdních veličin. U přímého stanovení půdních vlastností nesmí být sledovaný povrch pokryt vegetací. Z tohoto důvodu je doporučeno pořizovat snímky na jaře nebo na podzim (Khel, 2009).

### **3.3.8 Zpracování, analýza a začlenění dat dálkového průzkumu Země do technologie GIS**

#### **Zpracování obrazu a analýza**

Bylo vyvinuto mnoho technik zpracování a analýzy obrazu, které pomáhají interpretovat snímky z dálkového průzkumu Země a extrahovat z obrázků co nejvíce informací. Volba konkrétní techniky nebo algoritmu závisí na cílech každého jednotlivého projektu. V následující části se budeme zabývat některými postupy běžně používanými při analýze nebo interpretaci snímků z dálkového průzkumu (Liew, c1997-2001).

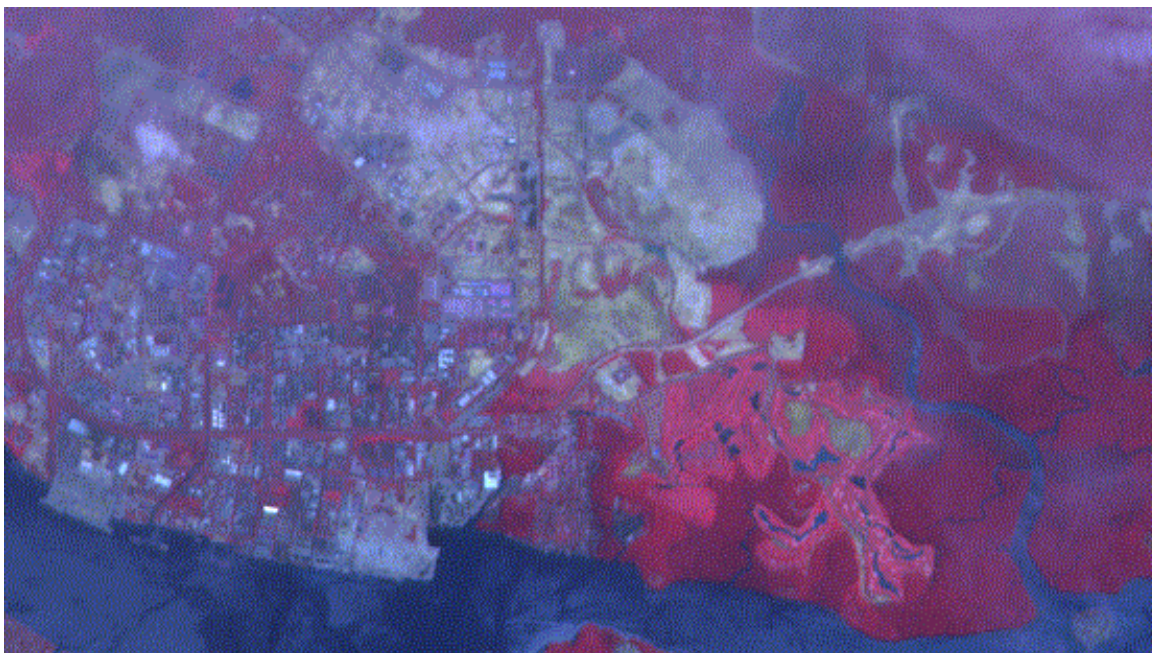
#### **Předběžné zpracování**

Před analýzou dat se zpravidla provádí počáteční zpracování surových dat, aby se korigovalo jakékoli zkreslení způsobené vlastnostmi zobrazovacího systému a zobrazovacích podmínek. V závislosti na požadavku uživatele mohou operátoři pozemních stanic provádět některé standardní procedury korekce dříve, než budou data dodána koncovému uživateli. Tyto postupy zahrnují radiometrickou korekci pro korekci nerovnoměrné odezvy snímače na celý obraz a geometrickou korekci pro korekci geometrického zkreslení způsobené rotací Země a dalšími zobrazovacími podmínkami. Obraz lze také transformován tak, aby odpovídal specifickému systému zobrazení mapy. Pokud je potřeba znát přesnou zeměpisnou polohu oblasti na snímku, použijí se pozemní řídicí body (GCP-Ground Control Points) pro registraci obrazu na přesnou mapu (georeferencování) (Liew, c1997-2001).

Georeferencování je proces přijímání digitálního obrazu, může to být airphoto, naskenovaná geologická mapa nebo obraz topografické mapy a přidávání geografických informací do obrazu tak, aby GIS nebo mapovací software mohly určit polohu obrazu v reálném světě. Tento proces je ukončen výběrem pixelů v digitálním obrazu a přiřazením zeměpisných souřadnic. V ojedinělých případech může člověk znát zeměpisné souřadnice určitých pixelů v obrazu; častěji je negeoreferencovaný obraz georeferencován na existující obrázek, který již obsahuje vložené geografické informace (Georeferencing).

#### **Vylepšení obrazu**

Za účelem podpory vizuálního výkladu může být vizuální vzhled objektů v obraze zlepšen technikami vylepšení obrazu, jako je nastavení úrovně šedi, aby se zlepšil kontrast a prostorové filtrování pro zlepšení ohraničení (Liew, c1997-2001).



Obr. 19: Neupravený multispektrální obraz (Liew, c1997-2001)

Na výše uvedeném nevytvořeném obrazu lze po celém obrazu pozorovat modravý odstín, který vytváří mlhavý vzhled. Tento zamlžený vzhled je způsoben rozptylem slunečního světla atmosférou do zorného pole snímáče. Tento efekt také snižuje kontrast mezi různými pokrývky půdy.

Před provedením jakéhokoli vylepšení je vhodné prozkoumat histogramy obrazu. Osa x histogramu je rozsah dostupných digitálních čísel, tj. 0 až 255. Osa y je počet pixelů v obraze, které mají dané digitální číslo. Histogramy tří pásů tohoto obrazu jsou znázorněny v Přílohách 2 – 4 (Liew, c1997-2001).

Je důležité podotknout, že minimální číslo pro každé pásmo není nula. Každý histogram je posunut doprava o určitou hodnotu. Tento posun je způsoben složkou atmosférického rozptylu, která přidává skutečné záření odrážené od Země. Posun je zvláště velký pro pásmo XS1 ve srovnání s ostatními dvěma pásy vzhledem k vyššímu příspěvku Rayleighova rozptylu pro kratší vlnovou délku (Liew, c1997-2001).

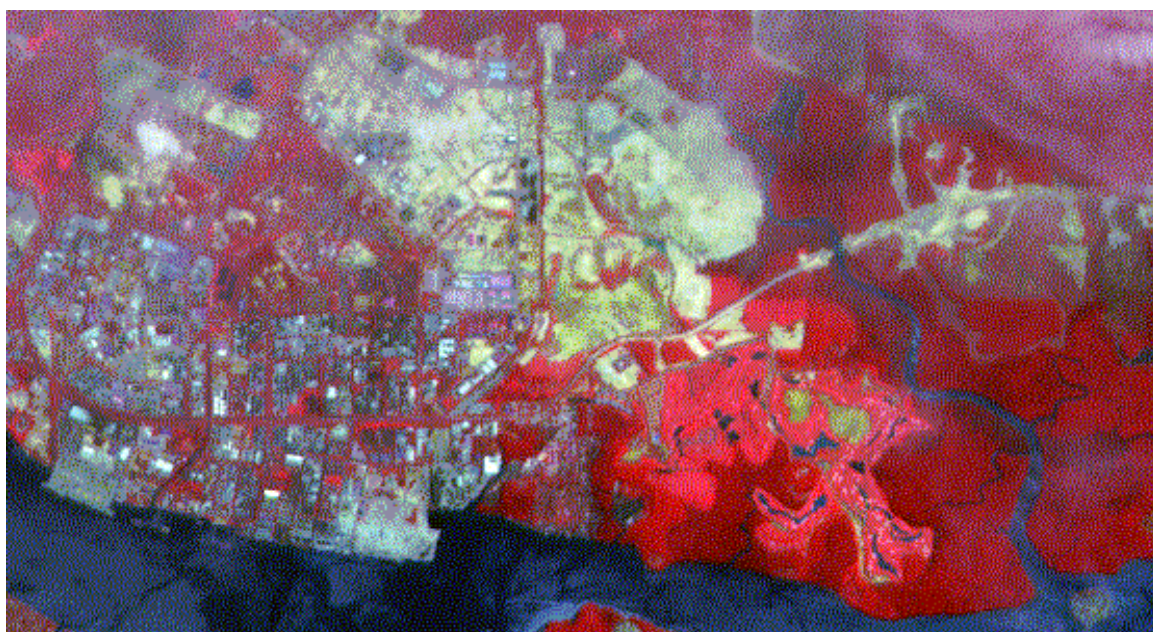
Maximální digitální číslo každého pásma také není 255. Faktor zesílení senzoru byl upraven tak, aby předvídal jakoukoliv možnost setkat se s velmi jasným objektem. Většina obrazových bodů na snímku má tedy digitální čísla hluboko pod maximální hodnotou 255.

Obraz může být vylepšen jednoduchým lineárním nastavením šedé úrovně. V tomto způsobu je zvolena prahová hodnota úrovně, takže všechny hodnoty pixelů pod touto prahovou hodnotou jsou mapovány na nulu. Horní prahová hodnota je



také zvolena tak, že všechny hodnoty pixelů nad touto prahovou hodnotou jsou mapovány na 255. Všechny ostatní hodnoty pixelů jsou lineárně interpolovány tak, aby ležely mezi hodnotami 0 a 255. Dolní a horní prahy jsou obvykle zvoleny tak, aby byly blízké hodnotám minima a maximální hodnoty pixelů obrazu (viz. Příloha 5).

Výsledek použití lineárního nastavení je znázorněn na následujícím obrázku (viz. Obr. 20: Upravený multispektrální obraz). Mlhavý vzhled byl obecně odstraněn, s výjimkou některých částí v blízkosti horní části obrazu. Dále byl vylepšen kontrast mezi různými vlastnostmi (Liew, c1997-2001).



Obr. 20: Upravený multispektrální obraz (Liew, c1997-2001)

### **Extrakce prostorových prvků**

Na snímku s vysokým rozlišením lze vidět detaily, jako jsou budovy a silnice. Množství detailů je závislé na rozlišení obrazu. Na snímku s vysokým rozlišením lze jasně vidět dopravní značení, vozidla, jednotlivé koruny stromů a skupiny lidí. Metody analýzy obrazu založené na pixelech nebudou v takových obrazech úspěšně fungovat.

Aby bylo možné plně využít prostorové informace obsažené v obrazech, jsou vyžadovány algoritmy zpracování obrazu a analýzy využívající texturní, kontextové a geometrické vlastnosti. Tyto algoritmy využívají vztah mezi sousedními pixely pro extrakci informací. Někdy je vyžadováno začlenění i předchozích informací (Liew, c1997-2001).

## **Měření bio-geofyzikálních parametrů**

Pro měření bio-geofyzikálních parametrů Země mohou být použity specifické nástroje nesené na palubě družic. Některé z těchto příkladů jsou: obsah atmosférických vodních par, stratosférický ozon, teplota povrchu půdy a moře, koncentrace chlorofylu v mořské vodě, lesní biomasa, větrné pole mořského povrchu, troposférický aerosol atd. Byly zahájeny specifické satelitní mise, které průběžně monitorují globální variace těchto environmentálních parametrů, které mohou ukázat příčiny nebo dopady globální změny klimatu a dopady lidské činnosti na životní prostředí (Liew, c1997-2001).

## **Začlenění dat dálkového průzkumu do technologie GIS**

Geografický informační systém (GIS) je počítačový systém, který umožňuje zachytávat, ukládat, manipulovat, analyzovat, spravovat a zobrazovat všechny druhy prostorových nebo geografických dat. Aplikace GIS jsou nástroje, které koncovým uživatelům umožňují provádět prostorové dotazy, analýzy, úpravy prostorových dat a vytváření kopií. Souřadnice x a y jsou založeny na různých projekčních systémech a existují různé typy projekčních systémů. Většinu času se GIS používá k tvorbě map a k tisku map (What is GIS – Definition?, c2016).

Dálkové snímání a technologie GIS byly původně vyvinuty pro různé účely. Oba tyto zdroje však mohou poskytnout informace o zdrojích Země. Pokroky v oblasti počítačového hardwaru a softwarových technologií nyní umožňují snadnou integraci dat z těchto zdrojů.

Většina softwarových balíčků GIS umožňuje importovat nebo alespoň prohlížet data v rámci softwarové aplikace. Tato schopnost umožňuje analytikovi překrýt datové vrstvy dálkového průzkumu s jinými vrstvami prostorových dat. Analytici využívají dálkově snímané snímky s datovými sadami GIS z různých důvodů, včetně poskytování nepřetržitého regionálního pohledu na oblasti a extrahování datových vrstev GIS, jako jsou obrysy nebo budovy (Remote Sensing Analysis).

## 4. DISKUSE

V této bakalářské práci se zabýváme pouze teoretickou částí bezpilotních leteckých prostředků. V následující diplomové práci bude řešena praktická část pomocí bezpilotních leteckých prostředků, která se bude zabývat sběrem snímků, dat a informací určité oblasti, následná analýza a zpracování pořízených snímků a dat.

Výhod bezpilotních leteckých prostředků je mnoho, což je zřejmé z bakalářské práce. Některé z těchto výhod, na které bychom chtěli poukázat, jsou například snadné ovládání, stabilita letu, možnost horizontálního vzletu a přistání u multikoptéry, nízká hmotnost, možnost využití na špatně přístupných místech, živý přenos obrazu z dronu a mnoho dalších výhod využití.

Hlavními nevýhodami bezpilotních leteckých prostředků jsou v současné době zejména doletová vzdálenost, cena, krátká výdrž baterie, nízká nosnost a nejednotná mezinárodní legislativa. Vzhledem k vývoji těchto zařízení bude mnoho nevýhod eliminováno, nejobtížnější však bude sjednocení mezinárodní legislativy.

## 5. ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámit veřejnost s danou problematikou a využitím bezpilotních leteckých prostředků, lidarových senzorů, dálkového průzkumu Země a legislativou, která je vázána k využívání bezpilotních leteckých prostředků.

Dále jsme chtěli veřejnosti osvětlit pestrost druhů, velikostí a využití bezpilotních leteckých prostředků v komerční i nekomerční oblasti.

Bezpilotní letecké prostředky nejsou pouze drony, které v současnosti zná široká veřejnost a využívá je pouze jako prostředek zábavy, které ovládají pomocí mobilních aplikací nebo pomocí mobilního zařízení.

Se stoupajícím vývojem a využitím se stávají bezpilotní letecké prostředky nedílnou součástí ochrany státní bezpečnosti a složek integrovaných záchranných systémů.

## 6. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

A brief history of LiDAR, c2019. *LiDAR-UK* [online]. LiDAR-UK [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.lidar-uk.com/a-brief-history-of-lidar/>

Classification of maximum altitude, *Unmanned air vehicle* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/unmannedairvehicle/classification-of-maximum-altitude>

Classification by weight, *Unmanned air vehicle* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/unmannedairvehicle/classification-by-weight>

Classification by wing loading, *Unmanned air vehicle* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/unmannedairvehicle/classification-by-wing-loading>

Co je dron?, c2015-2018. *Droneweb* [online]. Droneweb [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/co-je-dron>

DPZ, c2019. In: *SlideServe* [online]. SlideServe, 22. 8. 2014 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/oded/dpz>

Engines & Propulsion Systems, c2018. *Unmanned Systems Technology* [online]. EchoBlue [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/category/supplier-directory/propulsion-power/uav-engines-propulsion-systems/>

FORD, Justin, The History Of Drones (Drone History Timeline From 1849 To 2019). *Dronethusiast* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.dronethusiast.com/history-of-drones/>

FQM-151 Pointer UAV, c1998-2019. *Olive-drab* [online]. Olive-Drab [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: [https://olive-drab.com/idphoto/id\\_photos\\_uav\\_fqm151pointer.php](https://olive-drab.com/idphoto/id_photos_uav_fqm151pointer.php)

Georeferencing, *Integrating Research and Education* [online]. USA, 27. 2. 2017 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: [https://serc.carleton.edu/research\\_education/geopad/georeferencing.html](https://serc.carleton.edu/research_education/geopad/georeferencing.html)

Global Hawk - UAV, *The UAV* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: [http://www.theuav.com/global\\_hawk.html](http://www.theuav.com/global_hawk.html)

Historie, *Gisat* [online]. Praha: Gisat [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/historie>

Chci provozovat bezpilotní letadlo / systém, jak mohu postupovat?, c2011. *Úřad pro civilní letectví* [online]. Praha: Úřad pro civilní letectví [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/budu-chtit-provozovat-bezpilotni-letadlo-jak-postupovat?highlightWords=letadla+bez+pilota+palubě>

Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel, c2011. *Úřad pro civilní letectví* [online]. Praha: Úřad pro civilní letectví [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/informace-souvisejici-s-provozem-bezpilotnich-letadel-a-1>

KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ, 2016. *Drony*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-4680-4.

KARAS, Jakub, 2017. *222 tipů a triků pro drony*. Brno: Computer Press. ISBN 978-802-5148-747.

KHEL, Tomáš, 2009. *Metodický postup interpretace podkladů Dálkového průzkumu Země k omezení dopadů přírodních a antropických vlivů na půdu*. Praha: VÚMOP. ISBN 978-809-0402-768.

KILIÁN, Karel, c2019. Čím se LIDAR liší od radaru a jaká je jeho role v autonomních vozidlech: Praktické uplatnění. *VTM* [online]. CZECH NEWS CENTER, 12. 10. 2018 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/cim-se-lidar-lisi-od-radaru-a-jaka-je-jeho-role-v-autonomnich-vozidlech/sc-870-a-195431/default.aspx>

KILIÁN, Karel, c2019. Čím se LIDAR liší od radaru a jaká je jeho role v autonomních vozidlech: Lidar v autonomních vozidlech. *VTM*[online]. CZECH NEWS CENTER, 12. 10. 2018 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/cim-se-lidar-lisi-od-radaru-a-jaka-je-jeho-role-v-autonomnich-vozidlech/sc-870-a-195431/default.aspx>

KUSKA, Krzysztof, c2010-2019. SHADOW 600 UAV. *Infolotnicze*[online]. Polsko: infolotnicze, 20. 3. 2012 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.infolotnicze.pl/2012/03/20/shadow-600-uav/>

ISO 9001 – Systém managementu kvality, c2019. *Lloyd's Register*[online]. LRQA [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://www.lrqa.cz/standardy-a-schemata/iso9001/>

LIEW, S. C., c1997-2001. Image Processing and Analysis. *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing* [online]. Singapur: CRISP [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/process.htm>

MQ-9 Reaper Predator B Unmanned Aircraft System UAS Drone, c2017. *Armyrecognition* [online]. Army Recognition, 20. 11. 2018 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z:

<https://www.armyrecognition.com/us-american-unmanned-aerial-ground-vehicle-uk/mq-9-reaper-predator-b-unmanned-aircraft-system-uas-data-sheet-specifications-information-pictures-u.html>

NOAA, 2018. What is LIDAR?. *National Oceanic and Atmospheric Administration* [online]. USA, 25. 6. 2018 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>

Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout, c2019. *Military Factory* [online]. MilitaryFactory.com, 17. 7. 2018 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: [https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft\\_id=889#specs](https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=889#specs)

Oblasti využití DPZ, 2016. *Copernicus* [online]. CENIA [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://copernicus.gov.cz/oblasti-vyuziti-dpz#hydrologie>

Outrider Unmanned Aircraft System, c2019. *Air Force Technology* [online]. Verdict Media Limited [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.airforce-technology.com/projects/outrider-unmanned-aircraft-system/>

Phoenix Battlefield Surveillance UAV System, c2019. *Air Force Technology* [online]. Verdict Media Limited [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.airforce-technology.com/projects/phoenix-uav/>

Piston Engine Aircraft, c2019. *National Business Aviation Association* [online]. Washington, DC: National Business Aviation Association [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://nbaa.org/business-aviation/business-aircraft/piston-engine-aircraft/>

Remote Sensing Analysis, *Community Vulnerability Assessment Tool* [online]. USA [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <http://geodata.lib.ncsu.edu/fedgov/noaa/commvuln/htm/ccap5.htm#top>

Remote Sensing, c2019. *Techopedia* [online]. Techopedia [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/1939/remote-sensing>

Rotron, c2008-2019. *NORTHWEST UAV* [online]. USA: Northwest UAV [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.nwuav.com/engines-rotron.html>

ROUSE, Margaret, 2018. Drone (unmanned aerial vehicle, UAV). *TechTarget* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/drone>

RQ-11B Raven, c2019. *Aero Vironment* [online]. AeroVironment [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.avinc.com/uas/view/raven>

The History of Remote Sensing, *Planetek Italia* [online]. Itálie: Planetek Italia [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: [https://www.planetek.it/eng/training\\_courses/online\\_manuals/on\\_line\\_course\\_of\\_remote\\_sensing/2\\_the\\_history\\_of\\_remote\\_sensing#Landsat](https://www.planetek.it/eng/training_courses/online_manuals/on_line_course_of_remote_sensing/2_the_history_of_remote_sensing#Landsat)

UAV, AeroVironment RQ-14 Dragon Eye, Computer Control System, *National Air and Space Museum* [online]. Washington, DC [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://airandspace.si.edu/collection-objects/uav-aerovironment-rq-14-dragon-eye-computer-control-system>

What is GIS – Definition?, c2016. *Grind GIS* [online]. GrindGIS, 3. 1. 2015 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://grindgis.com/what-is-gis/what-is-gis-definition>

Základní principy DPZ, 2016. *Copernicus* [online]. CENIA [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://copernicus.gov.cz/zakladni-informace-a-princip-dpz>

Zákon č. 49/1997 Sb., c2010-2019. *Zákony pro lidi* [online]. AION CS [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-49>

ŽEŽULA, Jiří, c2008-2018. Jak se letadla dělí podle typu pohonu a principy fungování různých druhů letadlových motorů. *Flying Revue* [online]. Praha: Galileo Training, 27.11.2018, **2018** [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.flying-revue.cz/svet-letecke-dopravy-struktura-letadloveho-parku>



## 7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1: Bombardování Benátek v roce 1849 (MURFIN, Patrick, c1999-2019. Nothing New Under the Sun-Drone Balloons Bomb Venice. In: *Heretic, Rebel, a Thing to Flout* [online]. USA: Google, 22. 8. 2016 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://patrickmurfin.blogspot.com/2016/08/nothing-new-under-sundrone-balloons.html>)

Obr. 2: SR-71 Blackbird (BECKHUSEN, Robert, c2019. The Stealthy SR-71 Is The Fastest Plane on the Planet. In: *The National Interest* [online]. USA: Center for the National Interest, 28. 3. 2019 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://nationalinterest.org/blog/buzz/stealthy-sr-71-fastest-plane-planet-it-had-big-problem-49487>)

Obr. 3: X-45A (X-45A UCAV, In: *The UAV* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: [https://www.theuav.com/x45-a\\_photo.html](https://www.theuav.com/x45-a_photo.html))

Obr. 4: MQ-9 Predator B (Italy Qualifies CAE-Built Predator Mission Trainer for Zero Flight Time Training on Predator B/MQ-9 UAS, c2019. In: *DefPost* [online]. DefPost, 22. 2. 2019 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://defpost.com/italy-qualifies-cae-predator-mission-trainer-zero-flight-time-training-predator-b-mq-9-uas/>)

Obr. 5: Outrider (PIKE, John, c2019. Outrider Tactical UAV. In: *Federation of American Scientists* [online]. USA: FAS, 8. 1. 2000 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://fas.org/irp/program/collect/outrider.htm>)

Obr. 6: Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout (BEKKER, Frikkie, c2003-2019. MQ-8 Fire Scout. In: *AirTeamImages Aviation Image Library* [online]. Birmingham: AirTeamImages, 8. 9. 2012 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: [https://www.airteamimages.com/northrop-grumman-mq-8-fire-scout\\_usa---us-navy\\_159531.html](https://www.airteamimages.com/northrop-grumman-mq-8-fire-scout_usa---us-navy_159531.html))

Obr. 7: RQ-11B Raven (Remote Controlled UAV RQ 11B Raven Rigged, c2018. In: *3D Molier* [online]. Panama: 3dMolier, 17. 11. 2017 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://3dsmolier.com/3d-model-remote-controlled-uav-rq-11b-raven-rigged>)

Obr. 8: Phoenix Battlefield Surveillance UAV System, c2019. In: *Air Force Technology* [online]. Verdict Media Limited [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.airforce-technology.com/projects/phoenix-uav/>)

Obr. 9: RQ-14 Dragon Eye (Dragon Eye, c2019. In: *Aero Vironment* [online]. AeroVironment [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.avinc.com/innovative-solutions/small-uas>)

- Obr. 10: Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk (Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk, c2019. In: *Aircraft Wiki*[online]. USA: Wikia [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: [https://aircraft.fandom.com/wiki/Northrop\\_Grumman\\_RQ-4\\_Global\\_Hawk](https://aircraft.fandom.com/wiki/Northrop_Grumman_RQ-4_Global_Hawk))
- Obr. 11: RQ-7 Shadow 600 (The Drone Index: Textron Shadow, c2011-2019. In: *21st Century Asian Arms Race* [online]. 21AAR, 31. 5. 2015 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://21stcenturyasianarmsrace.com/2015/05/31/the-drone-index-textron-shadow/>)
- Obr. 12: FQM-151 Pointer (FQM-151 Pointer UAV, c1998-2019. In: *Olive-drab* [online]. Olive-Drab [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: [https://olive-drab.com/idphoto/id\\_photos\\_uav\\_fqm151pointer.php](https://olive-drab.com/idphoto/id_photos_uav_fqm151pointer.php))
- Obr. 13: Finder (FINDER – Autonomous, Expendable UAV / SAIC, In: *Defense Update*[online]. Israel, 1. 12. 2007 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: [https://defense-update.com/20071201\\_finder-uav.html](https://defense-update.com/20071201_finder-uav.html))
- Obr. 14: Seeker 400 (Seeker 400 Unmanned Aerial Vehicle Surveillance System, c2019. In: *Air Force Technology* [online]. Verdict Media Limited [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.airforce-technology.com/projects/seeker-400-uav/>)
- Obr. 15: Výstup dat z LiDAR senzoru (Jižní Kalifornie, USA) (Wide-area LiDAR Data Completes Picture at Half the Cost, c2019. In: *Harris* [online]. Harris, 1. 9. 2017 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.harris.com/impact/2017/09/wide-area-lidar-data-completes-picture-at-half-the-cost>)
- Obr. 16: Holubi vybaveni kamerami pro zachycování leteckých snímků (DEMPSEY, Caitlin, c2001-2016. Aerial Mapping with Balloons, Kites, and Pigeons. In: *GIS LOUNGE* [online]. USA: GIS LOUNGE, 18. 9. 2012 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.gislounge.com/aerial-mapping-balloons/>)
- Obr. 17: Projev různých typů povrchů na družicovém snímku – spektrální křivka (Základní principy DPZ, 2016. In: *Copernicus* [online]. CENIA [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://copernicus.gov.cz/zakladni-informace-a-princip-dpz>)
- Obr. 18: Oblačnost a srážky zjišťované z družicových dat ke dni 23. 4. 2019 ve 21:30 (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, c2010-2011. In: *ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV* [online]. ČR: ČHMÚ, 23. 4. 2019 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/data\\_jsradview.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/data_jsradview.html))
- Obr. 19: Nevylepšený multispektrální obraz (LIEW, S. C., c1997-2001. Image Processing and Analysis. In: *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing* [online]. Singapur: CRISP [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/process.htm>)

Obr. 20: Upravený multispektrální obraz (LIEW, S. C., c1997-2001. Image Processing and Analysis. In: *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing* [online]. Singapur: CRISP [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/process.htm>)

Tab. 1 Přehled družic od roku 2018 (Přehled družicových systémů, In: *Gisat* [online]. Praha: Gisat [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu>)

Příloha 1: kompletní přehled družicových systémů (Přehled družicových systémů, In: *Gisat* [online]. Praha: Gisat [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu>)

Příloha 2: Histogram pásma XS3 (LIEW, S. C., c1997-2001. Image Processing and Analysis. In: *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing*[online]. Singapur: CRISP [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/process.htm>)

Příloha 3: Histogram pásma XS2 (LIEW, S. C., c1997-2001. Image Processing and Analysis. In: *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing*[online]. Singapur: CRISP [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/process.htm>)

Příloha 4: Histogram pásma XS1 (LIEW, S. C., c1997-2001. Image Processing and Analysis. In: *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing*[online]. Singapur: CRISP [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/process.htm>)

Příloha 5: Transformace šedé úrovně (LIEW, S. C., c1997-2001. Image Processing and Analysis. In: *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing*[online]. Singapur: CRISP [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/process.htm>)

## 8. PŘÍLOHY

Příloha 1: kompletní přehled družicových systémů (Přehled družicových systémů).

Družice	Senzor	Typ dat	Počet pásem	Prostorové rozlišení [m]	Archiv od
ASNARO-2	XSAR	Radarová	1	1.0, 2.0, 16.0	2018
CartoSat-2F	HRMX	Optická	4	2.0	2018
CartoSat-2F	PAN	Optická	1	0.65	2018
PAZ	SAR-X	Radarová	1	1.0, 2.0, 3.0, 6.0, 16.0	2018
Sentinel-3 B	OLCI	Optická	21	300.0	2018
Sentinel-3 B	SLSTR	Optická	9	500.0, 1000.0	2018
VividX2	UHD camera	Optická	3	1.0	2018
CartoSat-2D	HRMX	Optická	4	2.0	2017
CartoSat-2D	PAN	Optická	1	0.65	2017
CartoSat-2E	HRMX	Optická	4	2.0	2017
CartoSat-2E	PAN	Optická	1	0.65	2017
Sentinel-2 B	MSI	Optická	13	10.0, 20.0, 60.0	2017
Sentinel-5 P	Tropomi	Optická	7	3500.0, 7000.0	2017
WorldView-4	MS	Optická	4	1.24	2017
WorldView-4	PAN	Optická	1	0.31	2017
CartoSat-2C	HRMX	Optická	4	2.0	2016
CartoSat-2C	PAN	Optická	1	0.65	2016

Gaofen-3	SAR C	Radarová	1	1.0, 3.0, 5.0, 8.0, 10.0, 25.0, 50.0, 100.0, 500.0	2016
Sentinel-1 B	SAR	Radarová	1	5.0, 20.0, 40.0	2016
Sentinel-3 A	OLCI	Optická	21	300.0	2016
Sentinel-3 A	SLSTR	Optická	9	500.0, 1000.0	2016
TeLEOS-1	TeLEOS-1 Imager	Optická	1	1.0	2016
DSCOVR	EPIC	Optická	10	25000.0	2015
KOMPSAT-3A	AEISS-A MS	Optická	4	2.2	2015
KOMPSAT-3A	AEISS-A PAN	Optická	1	0.55	2015
KOMPSAT-3A	IIS	Optická	1	5.5	2015
Sentinel-2 A	MSI	Optická	13	10.0, 20.0, 60.0	2015
ALOS-2	PALSAR-2	Radarová	1	1.0, 3.0, 100.0	2014
Deimos-2	HiRAIS - MS	Optická	4	4.0	2014
Deimos-2	HiRAIS - PAN	Optická	1	0.75	2014
Gaofen-2	PMC-2 MS	Optická	4	3.2	2014
Gaofen-2	PMC-2 PAN	Optická	1	0.8	2014
ISS - Theia	Theia	Optická	4	5.0	2014
ISS – Iris	Iris	Optická	3		2014

KazEOSat-1	NAOMI (ms.)	Optická	4	4.0	2014
KazEOSat-1	NAOMI (pan.)	Optická	1	1.0	2014
KazEOSat-2	KEIS	Optická	5	6.5	2014
KOMPSAT-5	COSI	Radarová	1	1.0, 3.0, 20.0	2014
Sentinel-1 A	SAR	Radarová	1	5.0, 20.0, 40.0	2014
SkySat-1	MS	Optická	4	2.0	2014
SkySat-1	PAN	Optická	1	0.9	2014
SkySat-1	Video	Optická	1	1.1	2014
SPOT 7 - Azersky	NAOMI MS	Optická	4	6.0	2014
SPOT 7 - Azersky	NAOMI PAN	Optická	1	1.5	2014
WorldView-3	CAVIS	Optická	12	30.0	2014
WorldView-3	MS	Optická	8	1.24	2014
WorldView-3	PAN	Optická	1	0.31	2014
WorldView-3	SWIR	Optická	8	3.7	2014
Gaofen-1	MS HR Camera	Optická	4	8.0	2013
Gaofen-1	MS WF Camera	Optická	4	16.0	2013
Gaofen-1	PAN HR Camera	Optická	1	2.0	2013
Göktürk-2	EOS-C camera - MS	Optická	5	10.0, 20.0	2013
Göktürk-2	EOS-C camera - PAN	Optická	1	2.5	2013
Landsat 8	OLI	Optická	9	15.0, 30.0	2013

Landsat 8	TIRS	Optická	2	100.0	2013
Pléiades 1B	MS - HiRI	Optická	4	2.8	2013
Pléiades 1B	PAN - HiRI	Optická	1	0.5	2013
SPOT 6	NAOMI MS	Optická	4	6.0	2013
SPOT 6	NAOMI PAN	Optická	1	1.5	2013
TH-1B	TH	Optická	4	10.0	2013
TH-1B	TH HR Camera	Optická	1	2.0	2013
TH-1B	TH Triplet Stereo Camera	Optická	1	5.0	2013
KOMPSAT-3	MS	Optická	4	2.8	2012
KOMPSAT-3	PAN	Optická	1	0.7	2012
NPP	VIIRS	Optická	22	375.0, 750.0	2012
Pléiades 1A	MS - HiRI	Optická	4	2.8	2012
Pléiades 1A	PAN - HiRI	Optická	1	0.5	2012
NigeriaSat-2	MS - MRI	Optická	4	32.0	2011
NigeriaSat-2	MS - VHRI	Optická	4	5.0	2011
NigeriaSat-2	PAN - VHRI	Optická	1	2.5	2011
NigeriaSat-X	SLIM6	Optická	3	22.0	2011
Resourcesat 2	AWiFS	Optická	4	56.0	2011
Resourcesat 2	LISS-III	Optická	4	23.5	2011
Resourcesat 2	LISS-IV	Optická	1	5.8	2011
Resourcesat 2	LISS-IV	Optická	3	5.8	2011

X-Sat	IRIS	Optická	3	12.0	2011
CartoSat-2B	PAN	Optická	1	0.8	2010
COSMO-SkyMed 4	SAR 2000	Radarová	1	1.0, 5.0, 15.0, 30.0, 100.0	2010
TanDEM-X	SAR	Radarová	1	1.0, 3.0, 16.0	2010
TH-1A	TH	Optická	4	10.0	2010
TH-1A	TH HR Camera	Optická	1	2.0	2010
TH-1A	TH Triplet Stereo Camera	Optická	1	5.0	2010
Deimos-1	MS	Optická	3	22.0	2009
UK-DMC-2	SLIM6	Optická	3	22.0	2009
WorldView-2	MS	Optická	8	1.84	2009
WorldView-2	PAN	Optická	1	0.5	2009
CartoSat-2A	PAN	Optická	1	0.8	2008
COSMO-SkyMed 2	SAR 2000	Radarová	1	1.0, 5.0, 15.0, 30.0, 100.0	2008
COSMO-SkyMed 3	SAR 2000	Radarová	1	1.0, 5.0, 15.0, 30.0, 100.0	2008
GeoEye-1	MS	Optická	4	2.0	2008
GeoEye-1	PAN	Optická	1	0.5	2008
RADARSAT-2	SAR	Radarová	1	3.0, 8.0, 12.0, 18.0, 25.0, 30.0, 40.0, 50.0, 100.0	2008



RapidEye	MS	Optická	5	6.5	2008
Theos	MS	Optická	4	15.0	2008
Theos	PAN	Optická	1	2.0	2008
CartoSat-2	PAN	Optická	1	0.8	2007
CBERS-2B	CCD_MS	Optická	4	20.0	2007
CBERS-2B	CCD_PAN	Optická	1	20.0	2007
CBERS-2B	HRC	Optická	1	2.7	2007
CBERS-2B	IRMSS	Optická	4	80.0, 120.0	2007
CBERS-2B	WFI	Optická	2	260.0	2007
COSMO-SkyMed 1	SAR 2000	Radarová	1	1.0, 5.0, 15.0, 30.0, 100.0	2007
TerraSAR-X	SAR	Radarová	1	1.0, 3.0, 16.0	2007
WorldView-1	PAN	Optická	1	0.5	2007
ALOS	AVNIR-2	Optická	4	10.0	2006
ALOS	PALSAR	Radarová	1	10.0, 20.0, 30.0, 100.0	2006
ALOS	PRISM	Optická	1	2.5	2006
EROS B	EROS B	Optická	1	0.7	2006
KOMPSAT-2	MS	Optická	4	4.0	2006
KOMPSAT-2	PAN	Optická	1	1.0	2006
BEIJING-1	Multispectral imager	Optická	4	32.0	2005
BEIJING-1	Panchromatic imager	Optická	1	4.0	2005
CartoSat-1	PAN A	Optická	1	2.5	2005
CartoSat-1	PAN F	Optická	1	2.5	2005

FORMOSAT-2	MS	Optická	4	8.0	2005
FORMOSAT-2	PAN	Optická	1	2.0	2005
TopSat 1	RALCam MS	Optická	3	5.0	2005
TopSat 1	RALCam PAN	Optická	1	2.5	2005
BILSAT-1	Four-band medium-resolution imager	Optická	4	26.0	2003
BILSAT-1	Panchromatic Imager	Optická	1	12.0	2003
CBERS-2	CCD_MS	Optická	4	20.0	2003
CBERS-2	CCD_PAN	Optická	1	20.0	2003
CBERS-2	IRMSS	Optická	4	80.0, 120.0	2003
CBERS-2	WFI	Optická	2	260.0	2003
IRS-P6	AWiFS	Optická	4	56.0	2003
IRS-P6	LISS-III	Optická	4	23.5	2003
IRS-P6	LISS-IV	Optická	1	5.8	2003
IRS-P6	LISS-IV	Optická	3	5.8	2003
NigeriaSat-1	Optical imaging	Optická	3	32.0	2003
OrbView-3	MS	Optická	4	4.0	2003
OrbView-3	PAN	Optická	1	1.0	2003
ADEOS-2	AMSR	Radarová	2		2002
ALSAT-1	Optical Imaging	Optická	3	32.0	2002
AQUA	CERES	Optická	6	10000.0	2002
AQUA	MODIS	Optická	36	250.0	2002

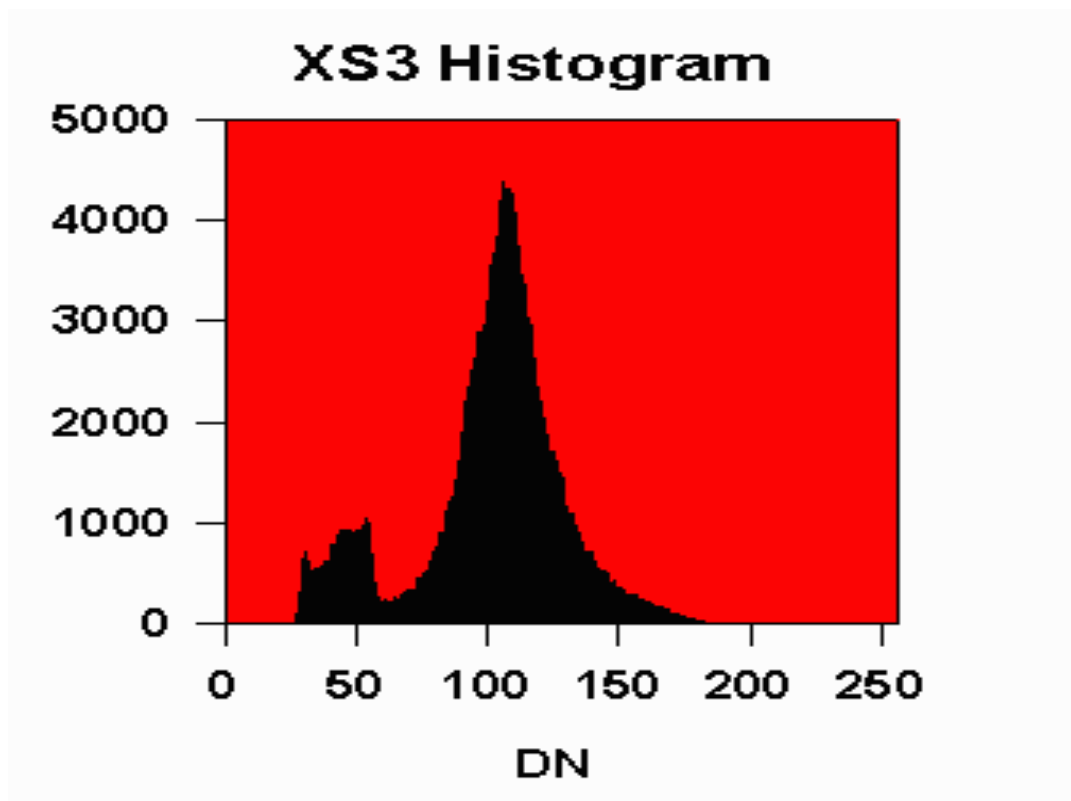
Envisat	ASAR	Radarová	1	12.5	2002
Envisat	MERIS	Optická	15	300.0	2002
Meteosat MSG	GERB	Optická	7	40000.0	2002
Meteosat MSG	SEVIRI	Optická	12	1000.0, 3000.0	2002
SPOT 5	HRG_MS	Optická	4	10.0, 20.0	2002
SPOT 5	HRG_PAN	Optická	1	5.0	2002
SPOT 5	HRS	Optická	1	10.0	2002
SPOT 5	VEGETATION 2	Optická	4	1000.0	2002
UK-DMC	EIC (DMC)	Optická	3	32.0	2002
EO-1	ALI_MS	Optická	9	30.0	2001
EO-1	ALI_PAN	Optická	1	10.0	2001
EO-1	Hyperion	Optická	220	30.0	2001
PROBA	HRC	Optická	1	5.0	2001
PROBA	CHRIS	Optická	18	18.0, 34.0	2001
QuickBird	MS	Optická	4	2.4	2001
QuickBird	PAN	Optická	1	0.6	2001
EROS A	EROS A	Optická	1	1.8	2000
TERRA	ASTER	Optická	14	15.0, 30.0, 90.0	2000
TERRA	MODIS	Optická	36	250.0, 500.0, 1000.0	2000
Ikonos	MS	Optická	4	4.0	1999
Ikonos	PAN	Optická	1	1.0	1999
Landsat 7	ETM+	Optická	8	15.0, 30.0, 60.0	1999

RESURS-01-4	MP-900M	Optická	6		1998
RESURS-01-4	MSU-E1	Optická	3		1998
RESURS-01-4	MSU-SK1	Optická	6		1998
RESURS-01-4	RMK-2	Optická	3		1998
SPOT 4	HRVIR_MS	Optická	4	20.0	1998
SPOT 4	HRVIR_PAN	Optická	1	10.0	1998
SPOT 4	VEGETATION 1	Optická	4	1000.0	1998
Meteosat MTP	MOP	Optická		2250.0, 5000.0	1997
IRS-1D	LISS-III	Optická	4	23.0, 70.0	1997
IRS-1D	PAN	Optická	1	5.8	1997
IRS-1D	WiFS	Optická	2	188.0	1997
OrbView-2	SeaWiFS	Optická	8	1130.0	1997
ADEOS-1	AVNIR_MS	Optická	4	16.0	1996
ADEOS-1	AVNIR_PAN	Optická	1	8.0	1996
ADEOS-1	OCTS	Optická	12	700.0	1996
IRS-1C	LISS-III	Optická	4	23.0, 70.0	1996
IRS-1C	PAN	Optická	1	5.8	1996
IRS-1C	WiFS	Optická	2	188.0	1996
RADARSAT-1	SAR	Radarová	1	8.0, 25.0, 30.0, 35.0, 50.0, 100.0	1996
ERS-2	AMI	Radarová	1	25.0	1995
RESURS-01-	MSU-E	Optická	3	34.0	1994

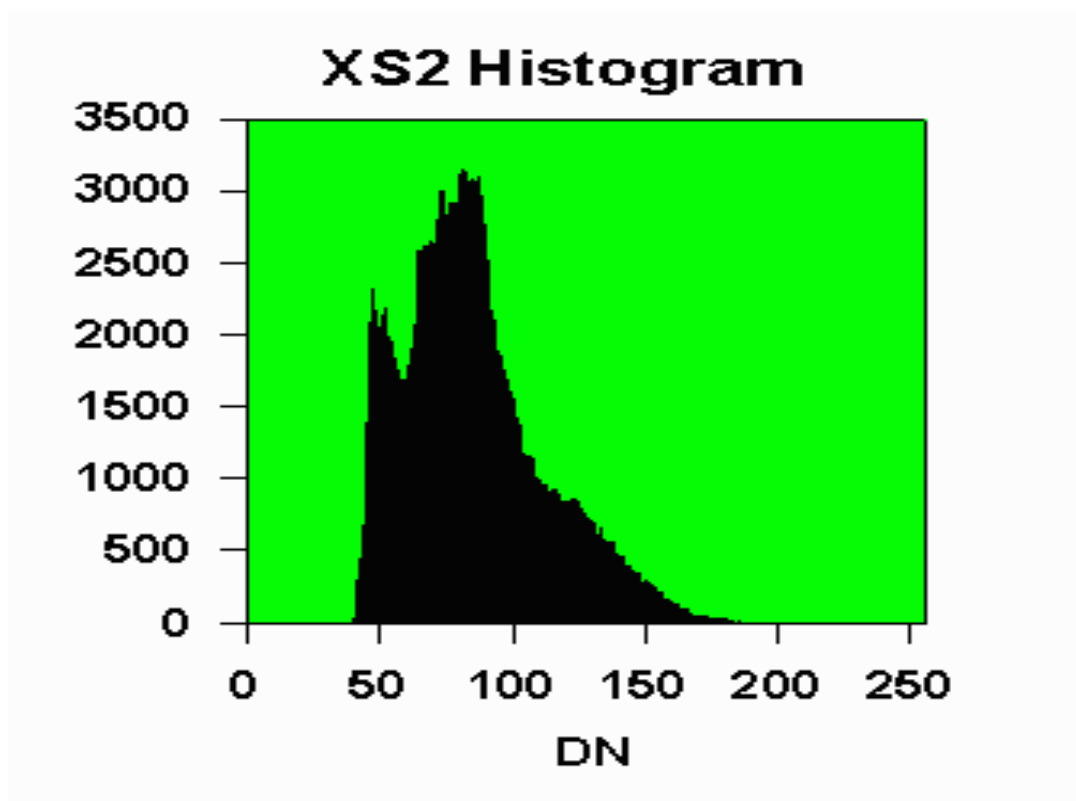
3					
RESURS-01-3	MSU-SK	Optická	5	170.0, 600.0	1994
SPOT 3	HRV_MS	Optická	3	20.0	1993
SPOT 3	HRV_PAN	Optická	1	10.0	1993
ERS-1	AMI	Radarová	1	25.0	1992
JERS-1	OPS	Optická	4	24.0	1992
JERS-1	SAR	Radarová	1	18.0	1992
SPOT 2	HRV_MS	Optická	3	20.0	1990
SPOT 2	HRV_PAN	Optická	1	10.0	1990
Meteosat MOP	MOP	Optická		2250.0, 5000.0	1989
RESURS-01-2	MSU-E	Optická	3	45.0	1988
RESURS-01-2	MSU-SK	Optická	5	170.0	1988
SPOT 1	HRV_MS	Optická	3	20.0	1986
SPOT 1	HRV_PAN	Optická	1	10.0	1986
Landsat 5	MSS	Optická	4	80.0	1985
Landsat 5	TM	Optická	7	30.0, 120.0	1985
RESURS-01-1	MSU-E	Optická	3	45.0	1985
RESURS-01-1	MSU-S	Optická	2	240.0	1985
RESURS-01-1	MSU-SK	Optická	5	170.0, 600.0	1985
Landsat 4	MSS	Optická	4	80.0	1982
Landsat 4	TM	Optická	7	30.0, 120.0	1982
Landsat 3	MSS	Optická	4	80.0	1978

Landsat 3	RBV	Optická	1	30.0	1978
SeaSat	SAR	Radarová	1		1978
SeaSat	SASS	Radarová	1		1978
SeaSat	SMMR	Radarová			1978
SeaSat	VIRR	Optická	3	2300.0	1978
Landsat 2	MSS	Optická	4	80.0	1975
Landsat 2	RBV	Optická	3	80.0	1975
Landsat 1	MSS	Optická	4	80.0	1972
Landsat 1	RBV	Optická	3	80.0	1972

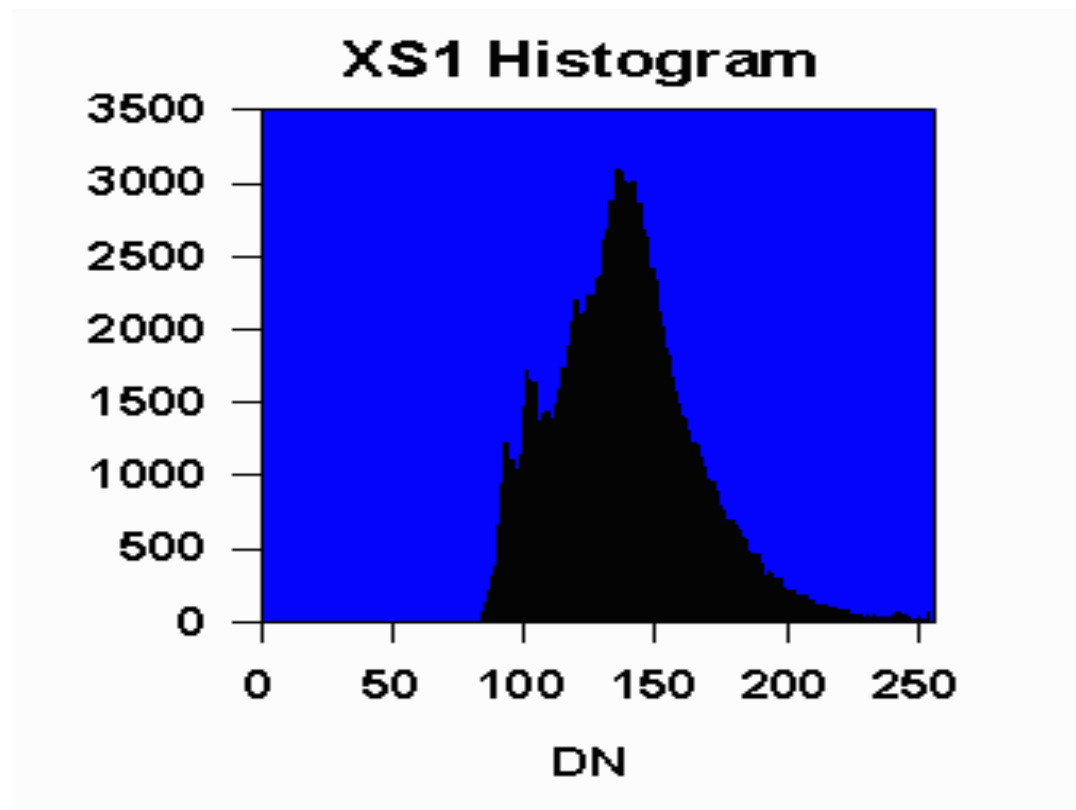
Příloha 2: Histogram pásma XS3 (Liew, c1997-2001).



Příloha 3: Histogram pásma XS2 (Liew, c1997-2001).



Příloha 4: Histogram pásma XS1 (Liew, c1997-2001).



Příloha 5: Transformace šedé úrovně (Červená čára: pásmo XS3; Zelená čára: pásmo XS2; Modrá čára: pásmo XS1) (Liew, c1997-2001).

