

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



**Bakalářská práce**

**Využitelnost snímků dálkového průzkumu Země**

**Alina Filatova**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Alina Filatova

Ekonomika a management  
Provoz a ekonomika

Název práce

**Využitelnost snímků dálkového průzkumu Země**

Název anglicky

**Applicability of a remote landing images**

---

### Cíle práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřená na využitelnost dálkového průzkumu Země. Hlavním cílem práce je analýza trhu v oboru DPZ s důrazem na ekonomický efekt. Dílčí cíle práce jsou:

- vypracování přehledu organizací poskytujících služby a informace v oblasti DPZ,
- porovnání frekvence využití snímku z různých družic.

### Metodika

Metodika řešené problematiky je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů. Vlastní práce spočívá v analýze a komparaci možností využití snímků DPZ s důrazem na ekonomický efekt vybraného sektoru. Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části budou formulovány závěry bakalářské práce.

## Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran textu.

## Klíčová slova

DPZ, snímek, rozlišení, spektrum, Copernicus, Gisat, Landsat

---

## Doporučené zdroje informací

1. PAVELKA, Karel. Dálkový průzkum Země – družicové systémy. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010. ISBN 978-80-01-04628-9
2. SVATOŇOVÁ, Hana a Lubomír LAUERMANN. Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací. Brno: Masarykova univerzita, 2010. ISBN 978-80-210-5162-1
3. <http://www.gisat.cz/content/cz>
4. <https://landsat.usgs.gov/>
5. <http://copernicus.gov.cz/dalkovy-pruzkum-zeme>

---

## Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Pavel Šimek, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 11. 9. 2018

**Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2018

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 17. 03. 2020

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využitelnost snímků dálkového průzkumu Země" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24.03.2020 \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce Ing. Pavlu Šimkovi, Ph.D. za cenné rady při konzultacích, které dopomohly ke zhotovení této bakalářské práce.

# Využitelnost snímků dálkového průzkumu Země

## Abstrakt

Bakalařská práce je věnována dálkovému průzkumu Země, jako jednomu ze způsobů sběru informací o povrchu Země v současné době. Hlavním cílem bakalářské práce je analýza trhu v oblasti dálkového průzkumu s důrazem na ekonomický efekt. K napsání literární části byla provedena studie odborné literatury o dálkovém průzkumu Země, družicovém zobrazování, klasifikaci, metodách zpracování a jejich dalším využití. V praktické části byly analyzovány technické a finanční možnosti využití dat dálkového průzkumu. Na příkladu protipožární ochrany byl vypočten skutečný ekonomický efekt použití družicových dat. Práce pojednává o důležitosti použití snímků dálkového průzkumu pro racionální využití času, materiálních zdrojů a včasného rozhodování.

**Klíčová slova:** DPZ, snímek, rozlišení, spektrum, Copernicus, Gisat, Landsat, software, ESA

# **Applicability of a remote landing images**

## **Abstract**

The bachelor thesis is devoted to the remote sensing, as one of the methods of collecting information about the Earth's surface today. The main aim of this thesis is to analyze the market in the field of remote sensing with an emphasis on economic effect. The writing of the literary study was carried out literature on remote sensing, satellite imaging, classification, processing methods and their further use. In the practical part were analyzed technical and financial possibilities of remote sensing data usage. On the example of fire protection calculated the real economic effect of the use of satellite data. Thesis discusses the importance of using remote sensing images for the rational use of time, material resources and timely decisions.

**Keywords:** Remote sensing, image, resolution, spectrum, Copernicus, Gisat, Landsat, software, ESA

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2 Cíl práce a metodika.....</b>	<b>11</b>
<b>3 Teoretická východiska.....</b>	<b>12</b>
3.1 Historie a oblasti využití DPZ.....	12
3.2 Metody dálkového průzkumu Země .....	13
3.2.1 Konvenční metody.....	13
3.2.2 Nekonvenční metody.....	13
3.3 Geografické analýzy obrazu založené na objektech .....	14
3.4 Klasifikace družicových snímků .....	18
3.5 Digitální zpracování obrazu .....	19
3.6 Softwarové prostředí .....	22
3.7 Aktuální mapová díla a materiály DPZ.....	24
<b>4 Vlastní práce.....</b>	<b>26</b>
4.1 Základní parametry dat .....	26
4.2 Technické možnosti využití dat .....	28
4.3 Finanční možnosti využití dat .....	31
4.4 Ekonomický efekt .....	34
<b>5 Závěr .....</b>	<b>40</b>
<b>6 Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>42</b>

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry optických dat DPZ.....	27
Tabulka 2 Parametry leteckých hyperspektrálních dat .....	28
Tabulka 3 Technická dostupnost optických dat DPZ .....	29
Tabulka 4 Platné kurzy pro přepočítání cen dat na CZK (ke dni 15.02.2020) .....	32
Tabulka 5 Finanční dostupnost optických dat DPZ.....	33
Tabulka 6 Charakteristika kosmických přístrojů .....	35
Tabulka 7 Analýza účinnosti využití satelitů při regulaci lesních požárů .....	39



### **Seznam obrázků**

Obr. 1 Vztah mezi velikostí objektu a prostorovým rozlišením .....	14
Obr. 2 Příklad segmentace letecké fotografie .....	16
Obr. 3 Situace při lesních požárech v regionu k 1. červenci 2019 podle družicových dat MODES .....	38
Obr. 4 Situace při lesních požárech v regionu k 1. srpnu 2019 podle družicových dat MODES .....	38

### **Seznam grafů**

Graf 1 Náklady na ochranu lesů před požáry, miliardy rublů .....	36
Graf 2 Hmotné škody způsobené lesními požáry v Rusku, miliardy rublů .....	37

# 1 Úvod

V posledních desetiletích roste poptávka po aktuálních informacích o zemském povrchu, které jsou používány v různorodých aplikacích a úrovních. Většina studovaných jevů a objektů na zemském povrchu se v průběhu času méně či více mění. Analýza těchto změn je již několik desítek let jednou ze základních úloh dálkového průzkumu Země (DPZ). Proces dálkového průzkumu Země není triviální a zatím nemá optimální řešení. V praxi je proto možné se setkat s různorodými metodami a technikami DPZ, ale přitom zůstává řada nezodpovězených otázek. Těmto otázkám dále nahrává i stále větší dostupnost družicových dat různého rozlišení. Ve většině případů závisí výběr vhodné metody DPZ na požadovaném výsledku analýzy, velikosti území, prostorovém rozlišení a základní prostorové jednotce. Řada studií prokázala, že přesnost DPZ se zvýší, pokud není použita pouze jedna individuální metoda, ale je využita jejich vhodná kombinace. Nejvyužívanějšími metodami jsou Image Differencing, PCA, Post-Classification Comparison a přístupy kombinující DPZ a GIS.

DPZ je disciplína založená na fyzikálních principech. Data o životním prostředí jsou získávána pomocí specializovaných senzorů, umístěných zpravidla na leteckých nebo kosmických nosičích, tedy distančním způsobem, bez přímého kontaktu se studovaným objektem. Ke zpracování dat jsou využity matematicko-fyzikální a matematické metody.

Základním fyzikálním jevem, na kterém je DPZ založen, je interakce elektromagnetického záření se zkoumaným objektem. Informaci o tom, jak probíhá tato interakce, udává energie, kterou zaznamenává detektor v přesně vymezených intervalech vlnových délek, v daném prostorovém úhlu. Takto definovaná interakce je výchozí pro určování hledaných vlastností daných objektů. Každý objekt na zemském povrchu má vliv na naměřené hodnoty energie a to jak v čase, tak v prostoru. Proto je nutné, aby tato energie byla měřena prostřednictvím kvantitativních fyzikálních veličin.

Teoretická část je zaměřena na dálkový průzkum Země, jako metodu získávání informací o objektech na zemském povrchu, ale i na oblasti využití družicových snímků.

Cílem bakalářské práce je analýza a komparace možností využití snímků DPZ, s důrazem na ekonomický efekt vybraného sektoru.

## **2 Cíl práce a metodika**

Předkládaná bakalářská práce je tematicky zaměřená na využitelnost dálkového průzkumu Země. Hlavním cílem práce je analýza trhu v oboru DPZ s důrazem na ekonomický efekt. Dále se kladou dílčí cíle práce. Prvním z nich je vypracování přehledu organizací poskytujících služby a informace v oblasti DPZ. Druhým dílčím cílem je porovnání frekvence využití snímku z různých družic.

Metodika řešené problematiky je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů. Ve vlastní práci byly analyzovány parametry a vlastnosti satelitních dat, ze kterých se vychází při výběru aplikace pro dálkový průzkum Země. Výčet dat je soustředěn na nejrozšířenější komerční a nekomerční družice a systémy velmi vysokého (VHR) a vysokého (HR) rozlišení, které jsou pro aplikace průzkumu Země důležité. Rovněž byla přezkoumána rozhodující hodnotící kritéria, jako je dostupnost a technické vybavení. V praktické části byl vypočítán ekonomický efekt využití satelitů pro vzdálené Země průzkumy na příkladu Krasnojarského území Ruska, když v létě roku 2019 došlo k závažným lesním požárům. Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části byly formulovány závěry bakalářské práce.

### **3 Teoretická východiska**

Podle Kolečki se díky DPZ získávají informace, které souvisejí s prostorovými a fyziognomickými aspekty objektů na zemském povrchu (Kolečka, 2013). Podle Kupkovy DPZ je ke zkoumání zemského povrchu, snímání a měření charakteristik spodních vrstev atmosféry nebo horní vrstvy sedimentů. Získané informace jsou tematické - mezi ně patří např. rozlišení druhu povrchu, nebo vegetace, atd. a geometrické - do této kategorie lze zařadit tvar, nebo polohu objektu, atd. (Kupková, 2010).

Letecké a družicové snímky jsou následně zpracovány, analogově nebo digitálně, a představují výsledek dálkového průzkumu Země (Svatonová, 2010).

#### **3.1 Historie a oblasti využití DPZ**

Dálkový průzkum Země je získávání informací o povrchu Země a objektech na něm, atmosféře, oceánu, horní vrstvě zemské kůry bezkontaktními metodami, ve kterých se záznamové zařízení nachází od předmětu výzkumu na značné vzdálenosti. Úplný proces získávání informací pomocí DPZ zahrnuje shromažďování potřebných dat, zpracování a nakonec vizualizaci a interpretaci obrázků po analýze. (Svatonová, 2010)

Tato moderní geoinformační technologie je stále více využívána celou řadou odborníků v této oblasti, protože pozemní měření má méně výhod. Také v souvislosti s vývojem všech vesmírných technologií a metod výpočtu jsou všechny potřebné postupy jednodušší.

Dálkový průzkum Země se moderně vyvíjí díky zlepšení metod leteckého průzkumu, vzniku osobních stanic pro získání informací o vesmíru a vzniku geografických informačních systémů (GIS). Pojetí dálkového průzkumu se objevilo v XIX. století po vynálezu fotografie. Astronomie se stala jednou z prvních oblastí, ve které se tato metoda začala používat. Následně se ve vojenské oblasti začalo využívat dálkové snímání, aby se shromažďovaly informace o nepřítelích a strategická rozhodnutí. Po druhé světové válce se pomocí této metody začalo sledovat životní prostředí a posuzoval se vývoj území a také se používala v civilním mapování. V 60. letech 20. století, kdy se objevily vesmírné rakety a satelity, dálkové snímání proniklo do vesmíru. (Pavelka, 2010)

První meteorologická družice byla vypuštěna v USA 1. dubna 1960., a byla použita pro předpovědi počasí, sledování pohybu cyklónů a td. TIROS-1 (Television and Infrared

Observation Satellite) byl první mezi satelity, které byly použity pro pravidelné průzkumy velkých ploch povrchu Země.

První specializovaný satelit byl vypuštěn v roce 1972, a to byl ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite). Byl používán hlavně pro zemědělské účely. V současné době se družice této řady nazývají Landsat.

## **3.2 Metody dálkového průzkumu Země**

Metody DPZ, určené k pořizování dat, lze rozdělit na konvenční a nekonvenční (Svatoňová 2010). Rozdíl mezi nimi však není příliš velký a obě metody vynikají vysokým prostorovým rozlišením.

### **3.2.1 Konvenční metody**

Tato metoda je založená na použití leteckých snímků. K pořizování snímků jsou využity letecké a družicové nosiče. Výsledné snímky vznikají pořizováním na filmový materiál, pomocí centrální produkce a výsledný obraz je dílem jediného okamžiku. (Halounová, 2005)

Kvalitu a informační hodnotu snímků ovlivňuje několik faktorů. Jedním z nich je fotografická komora a její technické parametry. Dále je podstatná i kvalita použitého materiálu, jejich zpracování a citlivost a také to, zda byly černobílé, nebo barevné. K získání výsledného obrazu je využit objektiv letecké fotografické komory, v okamžiku expozice na fotografické vrstvě snímku. Letecké snímky, které lze využít, mají analogovou formu na filmu, nejčastěji pak jsou to kopie na fotografickém papíru. (Svatonová, 2010)

### **3.2.2 Nekonvenční metody**

Jak uvádí Svatoňová (2010), tato metoda využívá měřicí přístroje, díky kterým snímky vznikají postupně- tzv. řádkováním. Průsečíkem řádku a sloupce je vymezen obrazový prvek, pixel. Velikost a rozměr závisí na rozlišovacích možnostech snímacího zařízení.

Elektronická zařízení, která se nacházejí ve snímačích družic, jsou přizpůsobena k tomu, aby registrovaly široký vlnový rozsah. Jedná se o radiometry a snímací rozkladná zařízení, termální skenery a radiolokátory.

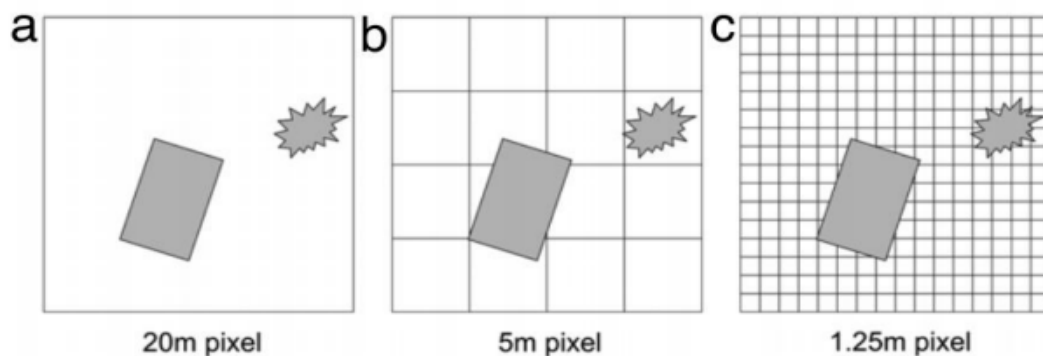
Rozkladová zařízení slouží k záznamu elektromagnetického záření, tento záznam je postupný, po řádcích. Stejně jako u konvenční metody jsou k pořizování snímků využity letecké a družicové nosiče. Tyto snímky tvoří podstatnou část obrazových dat, které jsou v DPZ zpracovávány. (Halounová, 2005)

### 3.3 Geografické analýzy obrazu založené na objektech

Blaschke (2010) se zmiňuje o tom, že dálkový průzkum Země (DPZ) má především konvertovat družicové snímky na konkrétní informaci. S tou je dále možné nakládat buď samostatně, nebo ji lze propojit s jinými prostorovými daty. Dříve, když se velikost snímků v pixelech pohybovala na přibližně stejné úrovni jako zájmový objekt, využívalo se pro geografickou analýzu objektu pixelového přístupu. To se však změnilo tehdy, když se začalo využívat dat s vyšším prostorovým rozlišením (Blaschke, 2010).

Někteří autoři, jako např. Addink, Coillie, & Jong (2012), upozorňují na nedostatky pixelového přístupu, který se podle nich nehodí k využití reprezentace geografických objektů, navíc se ani nejedná o vhodnou prostorovou jednotku k využití analýzy LC. Jestliže v jejím rámci budou použita data s nižším prostorovým rozlišením, vzniknou smíšené pixely, tzv. mixel, v nichž jsou kombinovány hodnoty dvou typů LC. Jestliže však budou aplikována data s vysokým rozlišením, vznikne model, jenž je utvořen z několika různě utvořených ploch s neucelenými informacemi.

Obr. 1 Vztah mezi velikostí objektu a prostorovým rozlišením



Zdroj: Blaschke, 2010

- (a) nízké rozlišení: pixely jsou prokazatelné větší, než objekty (sub-pixelový přístup)
- (b) střední rozlišení: pixely a objekty jsou si podobné (pixelový přístup)
- (c) vysoké rozlišení: pixely jsou prokazatelně menší než objekty (objektový přístup)

Proto také podle několika různých studií, jak dodávají Addink, Coillie, & Jong (2012), není vhodné využívat pixelového přístupu, ale spíše přístupu homogenních objektů. První poznatky o tomto přístupu pocházejí ze 70. let 20. století. Nicméně v praxi byl aplikován až v posledním desetiletí a je spojen s dostupností družicových dat s velmi vysokým rozlišením (VHR) a zpracovatelskými softwary, typu eCognition a ENVI (Feature Extraction modul). Podle Blaschkeho (2010) se za milník rozvoje objektového přístupu považuje rok 2000. Skupina objektově orientovaných technik je souhrnně označována jako OBIA (Object Image Analysis), příp. jako GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis).

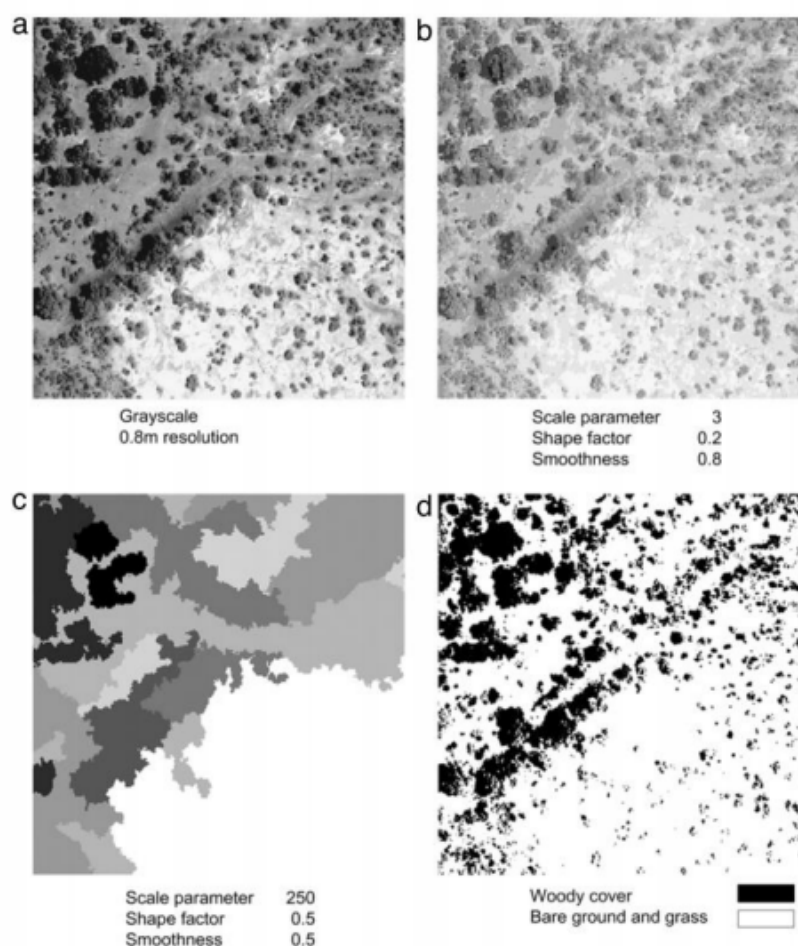
Za základní jednotku OBIA se považuje obrazový objekt, v němž jsou na rozdíl od pixelového přístupu zahrnuty také informace prostorového typu, kam se řadí textura, tvar, typologie nebo prostorová konfigurace (Conchedda, Durieux, & Mayaux, 2008). Blaschke (2010) navíc dodává, že v těchto objektech jsou zahrnuty i prostorové statistiky, jako např. průměr, maximální a minimální hodnoty, rozptyl aj. Addink, Coillie, & Jong (2012) jsou názoru, že objektový přístup umožnil posunout analýzu od původně strojového přístupu k lidskému vnímání prostoru.

Blaschke (2010) každý proces objektové analýzy procesu rozděluje do celkem čtyř etap, a to na segmentaci obrazu, na tvorbu klasifikačního klíče, samotnou klasifikaci a na zhodnocení přesnosti. Nejdříve je nutné podle autorů (Addink, Coillie, & Jong, 2012) extrahovat samotné objekty, což se nejčastěji provádí prostřednictvím segmentačních nástrojů, nebo za pomoci stratifikace snímku s využitím existujících dat (docílit toho lze na základě hranic pozemků, parcel apod.). Tímto jsou definované objekty, které mohou být vstupní jednotkou pro následné CD. K segmentaci obrazu se využívá řada různých technik (Marpu, Neubert, Herold, & Niemeyer, 2010), které mají obraz (pixely) rozdělit do homogenních objektů (segmentů), které mají shodné spektrální a prostorové vlastnosti (Blaschke, 2014).

Získané objekty za pomoci segmentace by se měly co nejvíce podobat skutečným objektům na zemském povrchu. Geometrie objektů je ovlivňována zvoleným výpočetním algoritmem a vstupními prostorovými daty. U snímků se v procesu jejich konverze hodnotí

jejich měřítko, které má vliv na velikost výsledného objektu, a potažmo i na výběr základních parametrů segmentačního algoritmu. Jestliže jsou nesprávně zvoleny, vzniknou chyby projevující se buď nahodnocením, nebo podhodnocením množství objektů, což následně vede k odlišnému zobrazení objektů ve vztahu ke skutečnosti. Jestliže je množství objektů podhodnoceno, vytvořené objekty mají větší velikost, než je daná skutečnost (zahrnuto je více kategorií LC). V případě, že je množství objektů nadhodnoceno, vytvořené objekty jsou menší, než je tomu ve skutečnosti, proto se také slučují. Uvedené varianty nejsou pro CD vhodné a jsou důvodem nepřesnosti analýzy (Addink et al., 2012; Mölller, Lymburner, & Volk, 2007). Jak bylo doposud uvedeno, u malých objektů nebo u vstupních snímků s nízkým rozlišením, je velmi těžké dosáhnout kvalitní segmentace.

Obr. 2 Příklad segmentace letecké fotografie



Zdroj: Blaschke, 2010



- (a) letecká fotografie
- (b) jemná segmentace obrazu
- (c) hrubá segmentace obrazu
- (d) objektová klasifikace lesních porostů

Hussain (2013) uvádí, že segmentační metody mohou být rozděleny do tří skupin, a to na metody vycházející z rozdílnosti nebo podobnosti pixelů, na techniky, jejichž východisko tkví v určení konkrétního threshold. Jakmile jsou extrahovány objekty, využívají se k jejich klasifikaci totožné metody, jako výše. Singh (1989) poukazuje na to, že objektové detekce změn LC (OBCD) navazují na základní principy OBIA. Podle Blaschkeho (2010) se nejvíce objektů zaměřuje na analýzu, která se zabývá studiem lesních porostů a zástaveb. K základním OBCD metodám se podle Hussaina (2013) řadí Direct Object Comparison, Object Classification Comparison a Multi-temporal Object Change Detection.

Direct Object Change Detection (DOCD) je definována jako metoda, která vychází z přímé komparace objektů jednotlivých snímků (Miller, Pikaz, & Averbuch, 2005). Východiskem je analogický přístup, podobně jako u metody pracující s pixely, rozdíl spočívá pouze v tom, že místo pixelů jsou porovnávány celé objekty. U DOCD jsou dále využívány dva přístupy. U prvního dochází k segmentaci jednoho ze snímků, přičemž vytvořené objekty lze použít k hledání změn na snímku druhém. Co se týče druhého přístupu, segmentují se oba snímky, přičemž jsou poté komparovány za pomoci odečtu, podílu apod.

V případě, že je zvoleno několik vstupních proměnných, volí se threshold obtížněji, než je tomu u pixelového přístupu. Výše uvedený první postup má nevýhodu v tom, že v případě vytvoření nového objektu, nebo při změně prostorového uspořádání stávajícího, nedojde k zahrnutí této změny do celkového výsledku. Naopak druhému postupu je vytýkáno, že uváděná poloha často nekoresponduje se skutečností. Předností metody DOCD je její jednoduchost a dobrá interpretovatelnost výsledků. Tato analýza nevede ke kompletní změnové matici, pouze informuje o tom, zda došlo ke změně, či nikoliv (Hussain, 2013).

Classified Objects Change Detection (COCD) je asi nejčastěji využívána OBIA metoda. Jedná se vlastně o metodu post-klasifikačního porovnání, v níž je na rozdíl od pixelového v procesu klasifikace použit objektový přístup. CD je tedy založena na porovnání individuálně klasifikovaných dvojic snímků. Porovnání je provedeno na základě

geometrie a příslušnosti objektu k LC. Přesnost COCD je silně závislá na zvoleném klasifikačním algoritmu, který dále ovlivňuje výběr algoritmu segmentačního. Lze použít stejné klasifikační algoritmy jako u PBCD. Pro CD by měla být použita data vytvořená stejným segmentačním a klasifikačním algoritmem se stejnými vstupními parametry. Nevýhodou COCD je, že spolu často nekorespondují totožné objekty na obou snímcích a při jejich porovnání vzniká řada špatně detekovaných malých změnových objektů a dále její závislost na přesnosti prvotní klasifikace. Výhodou je naopak detailní informace o druhu změny (Hussain, 2013).

Posledním přístupem objektových klasifikací je Multi-temporal Object Change Detection (MTCD), který je založen na sloučení snímků, segmentaci a následné klasifikaci (Conchedda et al., 2008). Při klasifikaci není hodnocen Land Cover, ale už přímo jeho změny. Postup je založen na využití všech dostupných spektrálních, texturálních i různě transformovaných příznaků, jejichž hodnota je za obě období přiřazována jednotlivým objektům (například jako průměrná hodnota, směrodatná odchylka atd.) a následně je statisticky pomocí zvoleného klasifikačního algoritmu identifikováno, kde je a kde není změna. S MTCD jsou v literatuře spojeny spíše pokročilejší algoritmy jako například Decision Tree nebo Support Vector Machine atd. Výhodou této metody je vytvoření prostorově si korespondujících objektů na multi-temporálních snímcích, tedy segmentů s konzistentní velikostí, tvarem a lokalizací. Zapojení pouze jedné klasifikace potenciálně minimalizuje možnou nepřesnost analýzy. Na druhou stranu při ní vlivem například stínů často vznikají špatně určené artefakty a dochází tak k nadhodnocení mapy změn (Hussain, 2013). MTCD byla využita například ve studii zabývající se CD mangrovových porostů v Senegalu (Conchedda, 2008).

### **3.4 Klasifikace družicových snímků**

Umělé družice Země jsou vesmírné lodě, vypuštěné do oběžných drah. Jsou určeny k řešení různých vědeckých a aplikovaných problémů. Družice dělíme na dva typy podle dráhy oběhu kolem Země, a to "geostacionární" a "polární". Výhodou polárních družic je, že sledují většinu zemského povrchu včetně pólů, které geostacionární družice nevidí.

Dostupnost snímků závisí na každém operátoru odpovídajícího satelitu. U komerčních družic se cena za jeden výstřel pohybuje od tisíců do desítek tisíc korun. Ale díky programu Copernicus dochází k postupnému přechodu k otevřené datové politice.

Uživatel, který nemá vysoké prostorové rozlišení, může získat data některých satelitů zdarma.

V České Republice prodávají vybrané družicové data firmy Arcdata Praha nebo Gisat. Kompletní přehled všech družic a jejich senzorů obsahuje katalog CEOS. (Hlaváčová, 2011)

Jednotlivé objekty jsou zařazovány podle určitého klasifikátoru do kategorií. Klasifikátorem rozumíme určitá rozhodovací pravidla, podle kterých se objekty rozdělují. Celý proces je označován jako klasifikace a rozděluje se na řízenou i neřízenou. (Kupková, 2011)

Řízená klasifikace – předem je zvolen typ a počet klasifikovaných tříd a je určen algoritmus, podle kterého jsou pixely v obraze do tříd zařazeny. Řízenou klasifikaci řídí operátor. Pro řízenou klasifikaci je nutné předem vybrat a ohraničit tzv. trénovací množiny. Jsou to skupiny pixelů, přiřazené konkrétním třídám. Klasifikátor následně vyhledává pixely, řazené na základě podobných příznaků do tříd. Výsledkem je obrázek s legendou, která zobrazuje informační třídy, definované na začátku procesu. (Kupková, 2011)

Neřízená klasifikace s trénovacími množinami nepracuje. Není vyžadována ani podrobnější znalost daného území. Pro neřízenou klasifikaci je třeba pouze zadat počet tříd, určených pro klasifikaci a počet opakování algoritmu, které povede k dosažení co nejpřesnějšího výsledku. (Kupková, 2011)

### **3.5 Digitální zpracování obrazu**

K úpravě snímků jsou využívány speciální softwary, které upravují data na jeden typ zkruslení. Díky tomu se tato data přetvářejí informací, které jsou použitelné. (Coufalová, 2006)

Podle Dobrovolného se charakteristika digitálního obrazového záznamu rozděluje do čtyř kategorií: radiometrické, spektrální, prostorové a časové rozlišení. (Dobrovolný, 1998)

Radiometrické rozlišení – toto rozlišení je určené k popisu informačního obsahu obrazu a je schopné rozlišit velmi malé intenzity šíření (odpovídá rozsahu hodnot jasů na daném snímku). Detekce malých rozdílů stoupá s vyšší hodnotou radiometrického rozlišení senzoru. (Kupková, 2010)

K pořízení družicových dat je většinou využívána 11bitová hloubka. (senzory každého pásma jsou schopny rozlišit, až  $2^{11}$  což odpovídá 2048 stupňům jasu). Toto rozlišení je schopno zachytit velmi jemné rozdíly v odrazivosti povrchů a je mnohem větší, než rozlišení lidského oka. Programy většinou nevyužívají 11bitová data, ale 16bitové formáty. (GISAT, 2012)

Spektrální rozlišení – na něm závisí množství a typ tematické informace, získané z družicového snímku. Jde vlastně o to, v jakých částech spektra skener snímá – do jaké míry objekty odrážejí, nebo pohlcují různé vlnové délky elektromagnetického záření.

Existují čtyři typy dat (podle GISAT), které záleží na počtu a rozsahu spektrálních pásem, určených k pořízení dat. Jedná se o panchromatická neboli černobílá data, multispektrální, hyperspektrální data a radarová data.

Panchromatická data - data černobílá. K jejich pořízení je využíván senzor citlivý na světlo v celém rozsahu viditelného a částečně i blízkého infračerveného světla. Senzor slouží k zachycení světla všech barev, které přenáší do jednoho obrazového pásma. Výsledkem je vizualizace panchromatických dat ve snímku s různými stupni šedi, které člověk vidí jako černobílou fotografii. (GISAT, 2012)

Multispektrální data - jsou data barevná. K pořízení těchto snímků jsou zapotřebí oddělená obrazová pásma, do kterých jsou zachycovány různé intervaly vlnových délek. Jednotlivé intervaly vlnových délek jsou vnímány jako určité barvy viditelného optického spektra, nebo jako jejich části. Snímky jednotlivých pásem vznikají samostatně a mají podobu černobílého obrazu. Ke kombinaci jednotlivých pásem se používá tzv. RGB syntéza. R (z angl. Red) se v jednom barevném obraze zobrazí červeně, G (z angl. Green) se zelené pásmo zobrazí zeleně a B (z angl. Blue) se pásmo zobrazí modře. Výsledkem je nový obraz, který má přirozené barvy, velmi podobné těm, které vnímá lidský zrak. Do syntézy mohou být použita i pásma, která mají jiná spektrální centra, než jaké má oblast viditelného spektra. Tím vznikne obraz, ve kterém se člověk těžce orientuje.

Hyperspektrální data. Podle GISATu jde o data, která popisují odrazivost. K tomu je využíváno velké množství velmi úzkých spektrálních pásem - desítky až stovky - díky kterým je možné zaznamenat velmi jemné charakteristiky na zemském povrchu. (GISAT, 2012)

Radarová data. Tato data slouží k zachycení odrazivosti mikrovlnné části elektromagnetického spektra. Jedná se o různé druhy polarizace, nebo měření na větším počtu frekvencí. (GISAT, 2012)

Prostorové rozlišení. K prostorové struktuře obrazu slouží pixely. (Kupková, 2010) Podle GISATu (2012) u prostorového rozlišení závisí na velikosti bodu, který je základní jednotkou jakéhokoliv digitálního obrazu. V současnosti mají všechna družicová data digitální podobu. Pixel je základní a nejmenší jednotkou rastrové grafiky. Rozlišení snímku vychází z maximálního možného počtu pixelů na snímku. (Apple Inc., 2016)

Časové rozlišení je posledním typem rozlišení. Opětné zaznamenání zájmové oblasti satelitem ve stejném úhlu je perioda, která je označována jako absolutní časové rozlišení. Také časové rozlišení ovlivňují různé faktory: především jsou to vlastnosti daného satelitu, kterým je oblast snímána, charakteristika oběžné dráhy, nebo míra překryvu sousedních záběrů. Časové rozlišení slouží k analýze a vyhodnocení určitého území, kde jsou v určitém časovém horizontu nejlépe vidět změny, které na tomto území nastaly. Proto je jedním z nejdůležitějších předpokladů pro využití dat DPZ. Lze jej použít např. při analýze vegetační sezony v určitém období, nebo při vyhodnocování změn vegetačního pokryvu v průběhu let (Kupková, 2010). V současné době je důležité při analýze klimatických změn země, lze ho využít např. při sledování, jakým tempem tají ledovce.

Předzpracování obrazu je nezbytné pro všechny obrazy, které jsou třeba zpracovat, protože zpravidla nejsou pořízeny v požadované kvalitě. Proto je nutné využívat např. úpravu kontrastu, jasu, zaostření, otočení či posun. Předzpracování je soubor základních postupů, které slouží k úpravě obrazu, aby mohla být vyhodnocena informace určitého významu, kterou obraz obsahuje. (Lillesand, 2008)

Zvýraznění obrazu. Ke zlepšení vizuální interpretace slouží vylepšení obrazu. Důležité je, aby při těchto úpravách nebyla změněna zdrojová data, ale úprava obrazu by měla zajistit zvýšení množství informace, kterou lze ze zdrojových dat získat. Zvýraznění obrazu se rozděluje do tří skupin: bodové, prostorové a spektrální. (Plánka, 2007)

K bodové zvýraznění je využíván graf obrazu(histogram), zobrazovací funkce, nebo zobrazovací tabulka. Dále jsou ke zvýraznění používány odstíny šedi. Mezi základní metody bodového zvýraznění patří prahování nebo hustotní řezy.

K prostorovému zvýraznění (tzv. filtraci) jsou zapotřebí filtry s vysokou a nízkou propustností. Ke zpracování pomocí filtrace se nevyužívají složité matematické výpočty, ale zpracování větších snímků je časově náročné.

Při spektrálním zvýraznění dochází ke zvýraznění barev kompozice adiktivním skládáním barev RGB, podstatnými jsou jas, tón a sytost, které ovlivňují transformaci barevného obrazu.

Výsledek digitálního zpracování obrazu je nutné interpretovat. V současnosti je pro vyhodnocení obrazových dat nejčastěji využívána digitální vizualizace, která se provádí na monitoru počítače (GISAT, 2012). Uživatel má možnost si vybrat z velkého množství digitálních nebo mapových podkladů, v různých softwarových prostředích. Avšak tato softwarová prostředí musí být k úpravě obrazových dat přizpůsobena, tzn. že musí obsahovat přinejmenším základní nástroje. Mezi základní nástroje lze zařadit například úpravu jasu, nebo kontrast dat, zoom, změnu barevné RGB kombinace dat atd.

V softwaru se dílí i konečné výsledky ukládají do nových a samostatných vektorových vrstev, které se mohou stát součástí databáze GIS. (Longley, 2011) Využití výsledků je různorodé, ať jde o tvorbu tematických map, nebo o nové analýzy modelů.

Interpretaci výsledků digitálního zpracování obrazu lze provést i analogovým provedením, kterým je tisk výstupu výsledků. Využívají se v situaci, kdy není možné připojit se k internetu, nebo není k dispozici počítač. To je důležité hlavně pro práci v terénu, kdy je využití vytištěných podkladů efektivnější a lépe se s nimi pracuje. (GISAT, 2012)

### **3.6 Softwarové prostředí**

Při analýzách krajinného krytu a využití půdy je již v dnešní době samozřejmostí použití specializovaných počítačových aplikací a softwarů, které práci usnadní, poskytnou prostředí pro řadu analýz a vůbec umožní zpracování některých podkladů. Nejvýraznější úlohu zde hrají prostředky geografických informačních systémů, tedy hlavně software GIS. Takových softwarů, které nabízejí širokou škálu funkcionality, je v dnešní době k dispozici celá řada. Do softwarového řešení GIS lze pak zařadit i produkty, které jsou schopné zpracovat data dálkového průzkumu Země.

Při sledování stavu krajiny a sběru dat lze využít např. programové prostředky GIS do příručních přístrojů, jako PDA, GPS či se připojovat vzdáleně k mapovým serverům a využívat tzv. online GIS nebo jednoduché GIS prohlížečky, nicméně základním prostředek pro správu a zpracování dat a širší analýzy jsou desktopové GIS aplikace.

V dnešní době existuje celá řada desktopových aplikací přes nákladné plně profesionální aplikace až po open -source aplikace, které jsou volně dostupné. Důležité z hlediska zpracování dat o krajinném krytu je, aby aplikace nabízela řešení požadovaných úloh (prostorové analýzy, zpracování topologie, podpora různých formátů atd.). Mezi takové patří např. robustní komerční aplikace společností ESRI (ArcGIS), Mapinfo (Mapinfo

professional), Integraph (Geomedia), Bentley Systems (Bentley map) či Autodesk. Mezi produkty open-source patří např. GRASS GIS, SAGA GIS, Quantum GIS či ILWIS.

Programovým řešením pro zpracování obrazu se zabývá velké množství firem a je k dispozici mnoho různých softwarů, které jsou volně dostupné. Příkladem je software GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), který zpracování dat a obrazu umožňuje, působí na platformě MacOS, Windows i Linux, nebo softwarový balík GeoMedia společnosti Intergraph. K dispozici je také velké množství doplňkových aplikací, např. GeoMedia Webmap, pro práci s mapovými službami nebo GeoMedia Raster a Image Station Raster Utilities.

Software IDRISI, je určen pro práci s vektorovými daty. S jeho pomocí lze vytvořit jak základní, tak pokročilé prostorové analýzy, má k dispozici rozsáhlé modelovací prostředí, analýzy půdy, reliéfu atd. Jednou z jeho předností je také funkce pro automatickou a poloautomatickou klasifikaci snímků.

Software ArcGIS for Desktop je jedním z produktů společnosti Enviromental System Research Information (Esri). Disponuje řadu aplikací, např. ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox a ModelBuilder. Součástí softwaru jsou další nadstavby, např. Spatial Analyst pro prostorové analýzy, Network Analyst pro síťové analýzy nebo 3D Analyst pro analýzu dat ve 3D.

ENVI je software, umožňující práci s družicovými snímky, podporuje většinu družicových systémů. Je to produkt společnosti Exelis Visual Information Solution (Exelis VIS).

V softwaru je celá řada nástrojů pro předzpracování, zobrazování, analýzu a sdílení dat dálkového průzkumu Země. Dále software ENVI disponuje množstvím nadstaveb, např. DEM Extraction Module, která umožňuje tvorbu a úpravu digitálních modelů terénu, SARscape Modules, určený k pokročilé práci s rastrovými daty, nebo Atmospheric Correction Module, který umožňuje ze snímku odstranit vliv atmosférických podmínek.

Vzhledem k potřebě zpracovat a klasifikovat i materiály DPZ, což je úloha do značné míry specifická, je třeba se ve výběru vhodného softwarového vybavení zaměřit i na další aplikace, které se buď přímo specializují na zpracování dat DPZ (fotogrammetrické metody, zpracování obrazu atd.) nebo svou funkcionalitu o takové možnosti rozšiřují. Takových produktů není již tolik, přesto je velký výběr. Mezi nejznámější a funkcionalitou nejvíce vybavené patří produkty společností Leica Geosystems (ERDAS Imagine), ITT Visual Information Solutions (ENVI), PCI Geomatics (Geomata), Clark Labs (IDRISI)

či Definiens (E-cognition). Z opensourcových produktů lze zmínit např. programy Multispec či GRASS.

Pokud je objektem zájmu zpracování dat DPZ je třeba myslet při výběru softwaru na to, aby bylo pomocí něj možno provést všechny kroky k tomu, aby bylo možné získat data s dostatečnou přesností. Materiály DPZ je nejprve třeba předzpracovat, proto je důležité mít nástroje pro radiometrické, atmosférické a geometrické korekce obrazů. Dále je třeba obrazy zpracovat a vyhodnotit s použitím klasifikačních nástrojů. V tomto ohledu lze nalézt celou řadu algoritmů a řešení u různých produktů (např. objektově orientovaná klasifikace u E-cognition či IDRISI).

### **3.7 Aktuální mapová díla a materiály DPZ**

Jak uvádí Žížala a Novák (2011), za účelem analýzy vývoje krajinného krytu je zapotřebí mít k dispozici informace o aktuálním stavu v dané krajině. Tyto poznatky se nejčastěji zjišťují terénním výzkumem, příp. je také možno využít dostupných zdrojů. Je však třeba využívat kvalitní a aktuální dostupné zdroje.

Žížala a Novák (2011) podotýkají, že se z tohoto hlediska využívají zejména podklady z katastru nemovitostí, s ohledem na jejich aktuálnost, ovšem nemusí se vždy jednat o nejvhodnější zdroj. Jak tito autoři podotýkají, v těchto podkladech nemusí být nalezena skutečná realita krajiny, jak bylo autory zjištěno z terénního šetření. Katastry nemovitostí jsou častokrát spojeny s mnoha různými problémy, např. jsou zde nedořešené pozemkové úpravy, používá se zjednodušená evidence, také se neohlašují změny na pozemku, což je však dané ze zákona. Pak dochází k tomu, že podklady z katastru nemovitostí obsahují jiné informace a údaje, než je skutečnost daná v terénu. Východiska podrobných mapových podkladů lze najít v mnohých digitálních databázích dat, kam se řadí zejména ZABAGED (jde o základní mapu ČR) nebo DMU25 (topografické mapy). Tyto databáze se pravidelně, v rozmezí 3-5 let, aktualizují, a to s využitím fotogrammetrických metod. Zanášejí se do nich také údaje z terénu. Co se týče analýzy využití zemědělských půd, nejvhodnějším typem databáze je LPIS. Na její aktuálnost se lze spolehnout, neboť aktuální data se ověřují v návaznosti na výplatu zemědělské dotace. Tato databáze má však nevýhodu spočívající v tom, že půdní bloky, jež jsou zpracované v této databázi, nepokrývají celou zemědělskou plochu. Za účelem analýzy krajinného krytu se využívají různé mapové portály nebo mapové služby, jež se neustále vyvíjejí. Z dalších informačních zdrojů lze



zmínit také mapy, v nichž je zobrazeno menší území, různé tematické mapy, příp. další zdroje (Žížala, Novák, 2011).

Podle Šímy (2011) má periodické letecké snímkování daného území na starosti ČÚZK, přičemž se tato oblast neustále dynamicky rozvíjí. Od roku 2010 se toto snímkování provádí nejenom v barevném, ale také v blízkém infračerveném pásmu, kde rozlišení dosahuje hodnoty 0,2 m/pixel. Snímkování se provádí pomocí digitálních kamer.

Distanční data je možné získat mnoha různými způsoby. Letecké snímky a distanční data nepořizují jenom státní instituce, ale stále častěji také soukromé subjekty, jež mají své vlastní archívy (Struha, 1998). K tomu dále Žížala a Novák (2011) dodávají, že ortofotomapy, mající rozlišení 5 až 20 cm/pixel, jsou vyhotovovány firmou GEODIS Brno, spol. s r.o. K dalším společnostem, které je také vytvářejí, patří např. společnost GEOMETRA Opava, spol. s r.o. nebo GEOREAL spol. s r.o.

Družicové snímky umožňují získat různé snímky, což záleží jak na výběru, tak i na účelu využití a na finančních prostředcích. Nicméně družicové snímky umožňují v dostatečné míře analyzovat krajinný kryt a využití půdního fondu. Družice družice IKONOS, Quickbird, OrbView -3, EROS A, Formosat -2, Cartosat -1, KOMPSAT -2 a další poskytují družicová data s poměrně vysokým rozlišením (Háková, 2007). Snímky mohou být také pořízeny z hyperspektrálních dat, resp. ze senzorů typu Hyperion nebo MODIS, může se také jednat o radarová data (jde o družice Radarsat -2, ALOS nebo Envisat. Další snímky mohou pocházet z archivů, příp. je možné si objednat nasnímání vybrané krajiny (tzv. naprogramovat družici). Jak dále dodává Žížala a Novák (2011), možností je v tomto smyslu celá řada.

## 4 Vlastní práce

Následující kapitola obsahuje dostupná družicová data, jejich parametry a vlastnosti, ze kterých se vychází při výběru aplikace pro dálkový průzkum Země.

Jde především o data z družicových senzorů. Pouze minimum družicových systémů umožňuje získávání hyperspektrálních dat. Letecké senzory jsou uvedeny v samostatné tabulce. Výčet dat je soustředěn na nejrozšířenější komerční a nekomerční družice a systémy velmi vysokého (VHR) a vysokého (HR) rozlišení, které jsou pro aplikace průzkumu Země důležité. Dalším rozhodujícím hlediskem pro hodnocení je finanční dostupnost a technické vybavení.

### 4.1 Základní parametry dat

Základní parametry, které souvisí s prostorovým, spektrálním a temporálním rozlišením a pokryvností, byly využity pro následující tabulky. Funkční družice mají nastavené radiometrické rozlišení na 10 nebo více bitů, což umožňuje zachytit a rozlišit jemné rozdíly v odrazivosti sledovaných povrchů.

- Prostorové rozlišení umožňuje určit velikost detekovatelných objektů
- Spektrální rozlišení (počet kanálů) se projevuje na vzájemném rozlišení typů objektů a povrchů, které je způsobeno různou odrazivostí jednotlivých materiálů.
- Temporální rozlišení s danou periodou snímání stanoví, za jak dlouho může určitá družice území znovu snímat. Pro aplikace, které jsou založené na monitoringu (opakované a dlouhodobé pozorování vybraného jevu) je to klíčový parametr.
- V jednom snímku určuje šíře záběru plochu pokryvnosti. Je obecně známo, že vyšší prostorové, nebo spektrální rozlišení se projeví nižší pokryvností. (Využití optických a radarových dat DPZ v dopravě).

Aplikace zaměřené na detekci a rozlišení objektů a krajinného krytu využívají jeden z dalších parametrů - schopnost detekovat směr kmitání odraženého signálu (tzv. polarizace). Tento parametr závisí na dielektrických vlastnostech a ovlivňuje ho interakce s povrchem.

Tabulka 1 Parametry optických dat DPZ

Družice	Datum zahájení	Perioda snímání (dny)	Šíře záběru (km)	Rozlišení PAN (m)	Rozlišení MS (m)	Prostorové rozlišení	Spektrální rozlišení
Kompsat-2	2006	5	15	1	4	VHR	multispektrální
Kompsat-3	2013	2	16,8	0,7	2,8	VHR	multispektrální
SPOT6	2013	3	60	1,5	6	VHR	multispektrální
Landsat-8	2013	16	185	15	30	HR	superspektrální
WorldView-4	2016		14,5	0,31	1,1	VHR	multispektrální
Formosat-5	2017	2	24	2	4	VHR	multispektrální
Sentinel-2a/2b	2015/2017	5	290	-	10, 20, 60	HR	superspektrální

Zdroj: Vlastní zpracování na základě údajů z GISAT

Pro interferometrické aplikace jsou podstatná radarová data, nasnímaná v tzv. Single Look Complex módu (SLC), pomocí kterého je možné zjistit nejen intenzitu, ale i stadium odraženého signálu.

Pro celkový obraz byla vypracována tabulka (Tabulka 2) s leteckými hyperspektrálními daty. Tato data jsou získávána z hyperspektrální kamery umístěné na letadle. V ČR je v současnosti využíván pouze jeden hyperspektrální letecký skener: AISA Eagle. Data z jiných skenerů mohou být k dispozici pouze na základě objednávky od provozovatelů v zahraničí.

Tabulka 2 Parametry leteckých hyperspektrálních dat

Název senzoru	Kategorie	Šíře záběru (km)	Rozlišení (m)	Spektrální pásma
HyMap	VHR-HR	Nebyly nalezeny vstupní údaje pro výpočet	2-10	128
AVIRIS	VHR-HR	Nebyly nalezeny vstupní údaje pro výpočet	4-20	224
CASI	VHR-HR	Nebyly nalezeny vstupní údaje pro výpočet	0.25-10	288
SFSI	VHR-HR	Nebyly nalezeny vstupní údaje pro výpočet	0.5-10	230
AISA Eagle	VHR	500-4000	0.5-4	492
ProSpecTIR VS	VHR-HR	Nebyly nalezeny vstupní údaje pro výpočet	2-10	256

Zdroj: Vlastní zpracování na základě údajů z GISAT

## 4.2 Technické možnosti využití dat

Z technického hlediska je základním kamenem dostupnosti dat DPZ infrastruktura. Na základě uživatelského požadavku je možné s pomocí infrastruktury efektivní vyhledávání požadovaných dat, výběr, export a kontrola těchto dat, aby vše mohlo být následně zpracováno uživatelem. Jednotlivé standardní požadavky na infrastrukturu jsou uvedeny v následujících tabulkách, jde o skupiny požadavků pro jednotlivé družice.

- Přístupnost katalogu / archivu dat
  - Nutnost přihlášení
  - Online / offline – nutnost instalace
- Vyhledávání
  - Definice data pořízení nebo jejich rozsahů
  - Import / definice uživatelského AOI
  - Definice dalších relevantních parametrů
- Kontrola vhodnosti dat
  - Zobrazení náhledu scény
  - Výběr dle radiometrické kvality

- Výběr dle oblačnosti
- Zobrazení rozsahu scény
- Export výsledků hledání
  - Do formátu, který umožňuje načíst výsledky do geografického informačního systému (GIS)
  - Do strojově zpracovatelného formátu

Tabulka 3 Technická dostupnost optických dat DPZ

Družice	Přístup k datům	Dostupnost v Copernicus	Druh	Vyhledání	Kontrola	Export
Kompsat-2	komerční data	TPM	není	není	není	není
Kompsat-3	komerční data	-	není	není	není	není
SPOT6	komerční data	GCM	online	ano	ano	ano
Landsat-8	nekomerční data	TPM	online	ano	ano	ano
WorldView-4	komerční data	-	online	ano	ano	ano
Formosat-5	komerční data	TPM	není	není	není	není
Sentinel-2a/2b	nekomerční data	GSC	online + offline	ano	ano	ano

Zdroj: Vlastní zpracování na základě údajů z GISAT

Iniciativa na podporu pozorování Země pomocí DPZ je pod vedením Evropské unie, která ji koordinuje. Služby Copernicus mohou přistupovat k družicovým datům v rámci mechanismu a interface GSC-DA, spravovaného Evropskou kosmickou agenturou (ESA). Podle způsobu a podpory přístupu se data rozdělují do následujících skupin:

- GSC – klíčová tzv. vesmírná. Komponenty Copernicus, umožňují plnou operační kapacitu službám Copernicus.
- GCM – GMES Contributing Mission; data, která doplňují GSC: data členských zemí ES, EU+Kanady (případně komerční data), u kterých se předpokládá využití v rámci služeb GMES/Copernicus.

– TPM – Third Party Missions; částečný přístup kapacity družicových misí je možný díky smlouvám mezi provozovateli družic a ESA.

V současnosti většina komerčních i nekomerčních družic umožňuje přístup do online katalogů. Katalogy mají jeden společný rys: všechny nabízejí standardní funkce pro výběr dat a jejich metadat, i když se katalogy odlišují vzhledem, mírou přehlednosti a úpravou dostupných nástrojů. Přístup k datům z družic, které provozuje Evropská kosmická agentura (ESA), nebo i k datům z komerčních družic, které byly získány díky financovaným projektům z prostředků Evropské komise (EC), umožňuje off-line aplikace Eoli-sa. Tato aplikace musí být nainstalována na lokálním PC a není většinou vyžadována registrace uživatele k tomu, aby mohl přímo využít standardní funkce katalogů

Registrovaný uživatel má možnost si ojedinele objednat data přímo z katalogu, avšak většinou je nutné spojit se s prodejcem/ provozovatelem dat v regionu a vypracovat konkrétní seznam družicových identifikátorů.

Abyste mohly být uspokojeny požadavky uživatele- na místo a frekvenci snímání- je podstatná programovatelnost družice. Ta umožňuje manévr, při kterém se senzory vykloní a zaměří na dané místo. Tato schopnost umožňuje krátkou periodu snímání u komerčních VHR družic. Některé aplikace mají nevýhodu (která se však ukazuje jako výhoda pro jiné), kterou je geometrie optického snímku ve vysokých náklonech, kdy dochází ke snímání objektů na povrchu z boku (až s odklonem 45° od svislice), nikoliv shora. Hyperspektrální družice a družice středního rozlišení tuto schopnost postrádají.

Požizování dat a programování každé družice je uskutečňováno na základě operačního akvizičního plánu, který určuje prioritu požadavků v rámci definovaných akvizičních oken. Může to být plán krizový, komerční, rutinní sběr, požadavek spojený s podporou vědeckého programu, atd. U optických dat jde o důležité hledisko, které ovlivňuje pořizování nad oblastí pokrytou oblačností a také v případě rozporů souběžných požadavků na pořízení dat v různých směrech a úhlech snímání na jedné orbitě. Ještě větší důraz tohoto hlediska je v případě radarových družic, které mohou pořizovat snímky ve více akvizičních módech, ale některé z nich nelze souběžně použít pro paralelní snímání. U komerčních družic jsou upřednostňovány urgentní (krizové) požadavky před komerčními.

Evropská radarová družice Sentinel -1, která poskytuje data zdarma, (s výjimkou několika specifických případů), má v nabídce čtyři akviziční módy snímání- ty rozšiřují varianty polarizace. Tyto kombinace umožňují výběr 34 možných operačních sub-módů, přitom některé jsou navzájem exkluzivní pro paralelní snímání z technických důvodů.

- Strip Map (SM) – celkem 6 možných programovatelných incidenčních úhlů
- Interferometric Wide Swath (IW)
- Wave (WV)
- Extra Wide Swath (EW)

Případné konflikty mezi konkurenčními požadavky se snaží řešit vysokoúrovňový operační plán (High Level Operation Plan – HLOP) 1 provozu družic Sentinel, na jehož základě se budou v maximálním možném rozsahu naplňovat požadavky:

- Copernicus služby
- užití pro potřeby jednotlivých členských států EU
- zajištění kontinuity misí ERS / ENVISAT
- požadavky vědecké komunity
- příspěvky mezinárodní spolupráce

Dokument obsahuje strategii, která je věnována optimálnímu využití zdrojů satelitu. Tato strategie se stala základem pro jednotlivé módy, které mají předdefinované operační scénáře pro pořizování dat. Tyto módy mají určenou prioritu -podle typu požadavku, typu snímaného povrchu (souše, moře) a geografické oblasti (oblasti pro rutinní sledování, předdefinované rizikové oblasti).

Česká republika je standardní pevninskou zónou. Nad jejím územím by proto měla být data pořizována duální polarizací, nebo v IW (S) módu se single (HH). Umožňuje to vyvoj celé řady operačních aplikací založených na InSAR, které jsou důležité při monitorování povodní, dále jsou důležité v lesnictví, nebo zemědělství. Avšak tento mód má jednu nevýhodu, kterou je nízké rozlišení.

### **4.3 Finanční možnosti využití dat**

Pro dostupnost družicových dat lze využít i hodnocení z finančního hlediska. Pokud chceme hodnotit pořizovací cenu družicových dat, musíme zohlednit následující aspekty: absolutní ceny za scénu a relativní ceny, přepočtené na 1 km<sup>2</sup>.

Absolutní cenu u komerčních družicových scén ovlivňuje především jejich aktuálnost:

- jedná se o nově pořízenou scénu, vzniklou na základě poptávky programovaného pořízení, nebo zda je její vznik datován před méně než třemi měsíci

- zda se jedná o archivní scénu (starší 3 měsíců).

U archivní scény je cena většinou o cca 50 % menší, než u nové.

Absolutní cenu dat ovlivňují i další faktory, závisí např. na poskytovateli, typu družice, a akvizičním kódu- na něm závisí velikost scény, ale jeho vliv se projevuje i na spektrálním a prostorovém rozlišení. Cena je ovlivněna také tzv. úrovní zpracování, která je dána radiometrickým a geometrickým předzpracováním od provozovatele družice. Čím je vyšší úroveň, tím je vyšší i cena, ale obecně platí, že úroveň zpracování od různých provozovatelů jsou velmi podobné. V našem případě jsme vybrali pro porovnání cen úroveň zpracování L1- tato kategorie vykazuje relativní a absolutní kalibrace, opravy chyb detektorů a šumů a také opravy systémových geometrických a radiometrických zkreslení.

Cena za 1 km<sup>2</sup> je určena pro relativní srovnání. Cena se pohybuje v rozmezí od desítek korun, až po stovky (optická data), tuto cena je stanovena po přepočtu měny na české koruny, podle kurzů v tabulce 3. Nejméně nákladné v relativních cenách jsou snímky z družic VHR s rozlišením 5 – 10 m, snímky z mise Landsat s rozlišením 15 resp. 30 m- ty jsou od roku 2015 zdarma- do této kategorie patří jen scény dostupné přes USGS (cca 70% pořízených dat). Cenu jednoznačně určují samotní poskytovatelé družicových dat a mohou provádět změny. V posledních letech je pozorován nátlak na snížení cen u optických dat, což souvisí s počtem komerčních a nekomerčních družic, které jsou v provozu. Podobná situace je i v radarové oblasti, zde však není tento tlak tak velký.

Tabulka 4 Platné kurzy pro přepočet cen dat na CZK (ke dni 15.02.2020)

1 EUR	24.8 CZK
1 USD	22.9 CZK
1 RUB	0,36 CZK

Zdroj: Vlastní zpracování, 2020

Bude zajímavé pozorovat, jak v optické doméně ovlivní ceny zprovoznění evropské konstelace Sentinel-2. Ta nabídne vysokou prostorovou i časovou pokryvnost v oblasti superspektrálních dat vysokého rozlišení 10 – 30 m a může být impulsem pro snížení cen nových dat, které nabízejí srovnatelné komerční družice. Jestli dojde k podobnému jevu u komerčních dat, které nedisponují podobným ekvivalentem, zůstává pouze předmětem dohadů.



Tabulka 5 Finanční dostupnost optických dat DPZ

DRUŽICE	Min. plocha nová (km <sup>2</sup> )	Min. plocha archiv (km <sup>2</sup> )	CENA - nová (Kč/km <sup>2</sup> )	CENA – archiv (Kč/km <sup>2</sup> )	CENA - nová minim. (Kč)	CENA - archive. minim. (Kč)
Kompsat-2	25	25	183	92	4 575	2 300
Kompsat-3	25	25	366	183	9 150	4 575
SPOT6	-	100	-	60	-	60 000
Landsat-8	25	-	1800	-	45 000	-
WorldView-4	25	25	744	515	18 600	12 875
Formosat-5	-	576	-	56	-	32 256
Sentinel-2a/2b	-	10000	0	0	0	0

Zdroj: Vlastní zpracování na základě údajů z GISAT

V případě absolutní scény je třeba zdůraznit, že se vztahuje pouze k minimální ploše scény, kterou lze objednat a ne k celé ploše. Většinou se jedná o část z celkové plochy scény, která je definovaná a má minimálními rozměry – tyto parametry jsou zaznamenány v poli Min. plocha. Je třeba vzít tyto údaje v potaz při porovnávání absolutní ceny jednotlivých družic, kde je relativní cena a absolutní cena odlišná. Proto je toto hledisko důležité při výběru vhodných dat, kdy je třeba porovnat nejen cenu relativní, ale i absolutní, která by měla odrážet požadavky na pokryvnost zájmového území a minimální plocha je tak podstatným faktorem při tomto výběru.

Je možné se setkat s výraznými slevami, které nabízejí někteří provozovatelé komerčních družic. Tyto slevy mohou být až desítky procent a mají podpořit vědecko-výzkumné a demonstrační aplikace, které vycházejí z jejich dat. Informace o konkrétních podmínkách jsou k dispozici u jednotlivých provozovatelů.

Přístup k datům z družice TerraSAR-X (TSX (TerraSAR-X) Mission) je specifický. Tuto družici provozují společně německé Národní centrum pro aeronautiku a vesmírný výzkum (DLR) a soukromý subjekt ASTRIUM GmbH. DLR zajišťuje přístup k archivním datům, nebo programování nových akvizic pro schválené výzkumné projekty, někdy také demonstraci možností dat TSX, v rámci systému pro vědecké služby (Science Service System). Proto je cena za TSX data velmi nízká – scény jsou poskytovány buď zadarmo,

kdy závisí na druhu projektu, nebo za manipulační poplatek 200 EUR za scénu. Určitou nevýhodou je nízká priorita požadavku na akvizici v rámci operačního plánu, kdy nemusí být scéna pořízena, pokud se objeví požadavek s vyšší prioritou.

#### 4.4 Ekonomický efekt

Pro výpočet skutečného ekonomického efektu použití družicových dat se navrhuje příklad protipožární ochrany. Na lesní požáry se každoročně na světě vynakládají miliardy dolarů.

Data satelitního pozorování jsou velmi důležitá při posuzování šíření lesních požárů, identifikaci jejich ložisek, analýze vývoje kouře z požárů, požárů a identifikace nebezpečí požárů.

Schopnost eliminovat požár na malém území, zejména v podmínkách vysokého nebezpečí požáru, je přímo závislá na rychlosti detekce. Satelity s vysokým radiometrickým rozlišením a vysokou vzorkovací frekvencí (série NOAA a EOS) tedy odpovídají nejvhodnějším požadavkům pro provozní monitorování lesních požárů a požárů rašeliny. K monitorování účinků požáru musí být použity satelity s vysokým rozlišením.

Hlavními úkoly sledování požárů a jejich důsledků by mohly být:

- detekce požáru, stanovení míst zahoření;
- sledování a kontrola vývoje požárů;
- posouzení nebezpečí požáru v sezóně;
- předpovídání rizik požáru v dlouhodobém horizontu;
- posouzení následků požáru. Kombinace obrázků před a po požáru umožňuje identifikovat spáleniny, určit jejich plochu pro aktuální čas a posoudit způsobené škody.

Ekonomické důsledky dopadu lesních požárů na životní prostředí a člověka jsou ztráty dřeva, včetně poškození mladých rostlin, zdroje sekundárního lesního hospodářství; náklady na hašení, čištění spálenišť atd. restaurátorské práce, ztráty v jiných odvětvích: ukončení letecké, železniční, silniční dopravy, lodní dopravy atd.

Kosmické přístroje, jenž umožňují detekci požárů, jsou uvedeny v tabulce 6 (Tabulka 6).

Tabulka 6 Charakteristika kosmických přístrojů

CA / Instrument	TERRA(AQUA)/ MODIS	LANDSAT/ TM (ETM+)	TERRA/ ASTER
Viditelnost, km.	2330	184	60
Radiometric Resolution Bit	12	8	NIR – 8 SWIR – 8 TIR - 12
Prostorové rozlišení,	NIR - 250-1000 SWIR – 500 TIR - 1000	NIR, SWIR – 30 TIR - 60	NIR – 15 SWIR – 30 TIR - 90
Počet spektrálních kanálů v dosahu IR	NIR – 6 SWIR – 3 TIR - 16	NIR – 1 SWIR – 2 TIR - 1	NIR – 1 SWIR – 6 TIR - 5

Zdroj: Vlastní zpracování

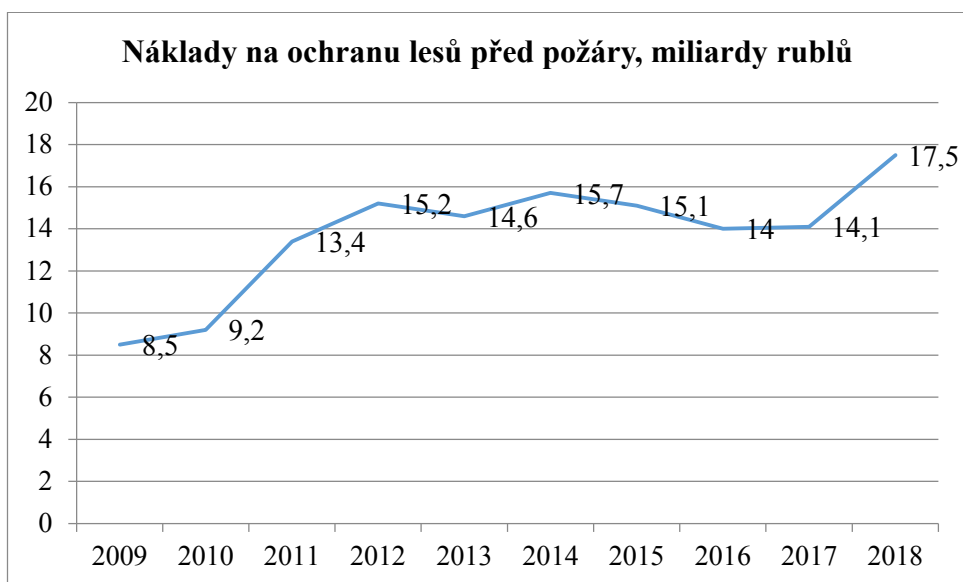
Využívání dat z multispektrálního senzoru MODIS instalovaného na zařízeních Terra a Aqua amerického systému EOS (Earth Observation Satellites) je již zažitým zvykem. Detekuje nejkontrastnější tepelné anomálie na zemském povrchu, včetně včasné detekce ohnisek lesních a stepních požárů. To je na jedné straně převratný mezník své doby (Terra funguje od roku 1999, Aqua - od roku 2002) soubor spektrálních zón (celkem 36, pokrývají rozsah 0,6 až 14  $\mu\text{m}$ ), široké pásmo pokrytí (2330 km), vysoká frekvence fotografických snímků, což je také důležité, otevřený volný přístup pro všechny jednotlivce a organizace a na druhé straně - neexistence skutečné alternativy k nahrazení získaných dat při řešení tohoto problému. Na moderních filmových systémech se středním a vysokým prostorovým rozlišením často neexistuje zařízení pro fotografování ve středním infračerveném a infračerveném pásmu spektra a na systémech kde je (Landsat-5 / TM, Landsat-7 / ETM, Terra / ASTER), se nepoužívá. Rozsah velmi důležitý pro identifikaci zdrojů ohně je 3,5–4 mikrony. Proto i přes všechny nedostatky, například nízké prostorové rozlišení (asi 1 km) ve spektrálních rozsazích 3,5–4 a 8–9  $\mu\text{m}$ , které jsou důležité pro identifikaci zdrojů ohně, dále složitá geometrie, která vyžaduje speciální techniky zpracování; zkreslené okraje obrazů; nízká přesnost orbitálního posuzování, data senzoru MODIS jsou dosud nezbytná při řešení tak důležitého a více než kdy jindy relevantního úkolu sledování a identifikace ložisek lesních požárů.

Technika detekce požáru je založena na porovnání teplot (intenzity vstupního signálu získaného radiometrem MODIS) každého pixelu ve dvou infračervených spektrálních kanálech, 21 kanálech (4  $\mu\text{m}$  T4) a 31 kanálech (11  $\mu\text{m}$  T11). Tato technika je implementována jako součást programu Scanex Modis Processor se schopností interaktivně konfigurovat vstupní a výstupní parametry.

Předpokládá se, že čím je vyšší teplota pixelu v kanálu 21, tím je větší pravděpodobnost požáru. Stejně tak, čím je větší teplotní rozdíl v kanálech, jsou 4  $\mu\text{m}$ . a 11 mikronů. ( $dT_{411}$ ), tím je větší pravděpodobnost požáru.

Na příkladu Ruska odhadujeme náklady na hašení požáru. Zvláštní význam mají opatření na ochranu lesů před požáry. Zahrnují soubor opatření přijatých v lese s cílem: zabránit vzniku požárů; překážky šíření ohně na celém území; detekce vznikajících ložisek v nejkratším možném čase; zajištění rychlého a spolehlivého hašení lesních požárů. Dynamiku hašení požárů za posledních 10 let lze vidět na grafu 1 (Graf 1).

Graf 1 Náklady na ochranu lesů před požáry, miliardy rublů



Zdroj: Vlastní zpracování

V létě roku 2019 původní ohniska vznícení na Krasnojarském území zabírala pouze několik desítek hektarů. Současně byla podle údajů Územní komise pro mimořádné situace provedena analýza požářišť pouze na základě pozorování lovců a zaměstnanců Komise na zemi a inspekci lesních požárů z vrtulníků. Jak dokládají zveřejněná rozhodnutí regionální komise pro mimořádné situace, bylo rozhodnuto je nehasit. Velmi brzy ohně zničily území deset tisíckrát větší, než byla počáteční plocha vzniknuvšího požáru, přičemž kouř z nich zamořil území sto tisíckrát větší.

Hlavním problémem je v tomto případě nedostatečnost a zaostalost analýzy výskytu požárů a nemožnost včasné úplné analýzy situace. Pro zvýšení účinnosti analýzy oblastí

ohrožených požárem se navrhuje použít satelitní datové mapy, které environmentální organizace v Rusku zřídka používají.

Důvodem je skutečnost, že roční škody způsobené požáry v Rusku byly sníženy, jak ukazuje (Graf 2).

Graf 2 Hmotné škody způsobené lesními požáry v Rusku, miliardy rublů

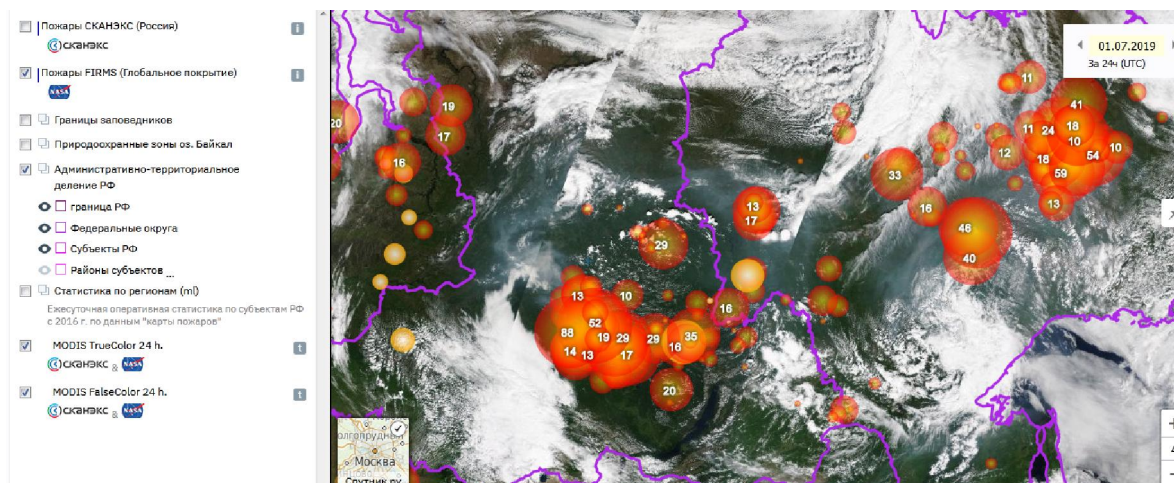


Zdroj: Vlastní zpracování

Proto se dne 4. července 2019 Komise pro mimořádné situace rozhodla odmítnout uhasit 33 požárů v oblasti North Yenisei a Evenkia o celkové rozloze 891 hektarů na základě odhadovaného poškození lesními ztrátami 4,87 milionu rublů (asi 5,5 tisíce rublů/ha) a náklady na hašení požáru 139,1 milionu rublů.

Podle údajů družic pro průzkum požářišť situace vypadala, jak je uvedeno na obrázku 3 (Obr.3).

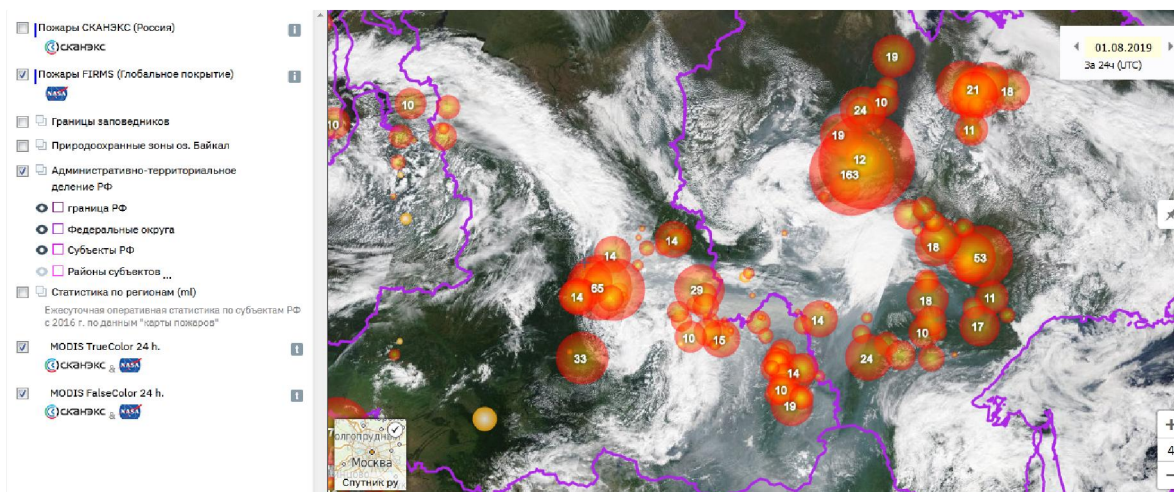
Obr. 3 Situace při lesních požárech v regionu k 1. červenci 2019 podle družicových dat MODES



Zdroj: Fires.ru, 2019

V důsledku nesprávného posouzení situace a nedostatečného úplného monitorování lesních požárů se situace změnila v katastrofální, jak ukazuje (Obrázek 4).

Obr. 4 Situace při lesních požárech v regionu k 1. srpnu 2019 podle družicových dat MODES



Zdroj: Fires.ru, 2019

Výsledkem bylo, že odhad nákladů činil asi 156 tisíc rublů / ha, což je mnohonásobně vyšší částka nákladů, než byla potřeba na hašení lesních požárů v letech 2016–2018. V roce 2016 tedy podle vyslance prezidenta Ruska v sibiřském federálním okrese Sergeje Menyayla náklady na uhašení 1 milionu hektarů lesů činily 1,5 miliardy rublů (neboli 1,5 tisíc rublů/ha). Podle údajů náměstka ředitele Rosleskhoz, Nikolai Krotova, v listopadu 2018, s celkovou plochou hašení lesních požárů v roce 2017 - 1,3 mil. ha, v letech 2018 - 1,7 mil.

ha se náklady na tyto účely vyšplhaly až na 3 miliardy rublů z ruského rozpočtu. To představuje asi pětinu všech výdajů na ochranu lesů, které se v posledních letech pohybují na úrovni 14–18 miliard rublů.

V důsledku toho je možné vyčíslit účinky včasného monitorování lesních požárů pomocí satelitního pozorování.

Tabulka 7 Analýza účinnosti využití satelitů při regulaci lesních požárů

Na 1 hektar lesa	Používání satelitů v roce 2016	Bez použití satelitů v roce 2018
Náklady na hašení lesních požárů	2 000 rublů	156 000 rublů
Poškození lesním požárem	7 000 rublů	16 000 rublů
Náklady na satelitní dohled	0 rublů, pozorování je poskytováno zdarma satelity MODES	0 rublů, pozorování je poskytováno zdarma satelity MODES
Účinnost	$156 / 2 = 78$ krát	

Zdroj: Vlastní zpracování

Úrovně nákladů na 1 ha tedy leží v rozmezí zaokrouhleně od 1,8 tis. do 2,3 tis. Rublů nebo v průměru 2 tis. Rublů / ha. Při převodu uvedených hodnot do cen roku 2019 dostaneme rozmezí 1,6–2,4 tisíc rublů, nebo stejný průměr 2 000 rublů / ha, což je 78 krát méně, než je výše uvedený ukazatel havarijní komise Krasnojarsk.

Na základě výše uvedeného příkladu lze s jistotou konstatovat, že použití systémů dálkového průzkumu Země, jmenovitě satelitů, které neustále fotografují Zemi, lze efektivně využít k minimalizaci nákladů na pozorování zemědělských polí, lesů a jiných přírodních objektů.

Toto pozorování je nákladově efektivní, snižuje náklady na personál, vybavení, benzín, dopravu. Současně je toto pozorování poměrně levné, nebo pro některé satelity zcela zdarma. Příklad ukazuje, jak by včasné sledování pomocí satelitů mohlo zachránit Krasnojarské území miliony rublů výdajů a miliony hektarů lesů.

## 5 Závěr

Člověk už od pradávna pokládal za důležité disponovat aktuálními informacemi o stavu svého okolí, ať už za účelem hledání zdrojů potravy, mapování nebo rekreace. Zpočátku potřebné informace člověk získával pozorováním přímo v terénu jen za použití svých smyslů. Spolu s technologickým rozvojem se však pro lidstvo otevíraly nové možnosti, jak rychleji a přesněji objevovat i rozsáhlejší území zemského povrchu. Významným skokem vpřed při získávání informací o našem životním prostředí byl rozvoj letectví a kosmických letů.

Dálkový průzkum Země s využitím těchto prostředků nachází široké uplatnění v různých odvětvích, jakými jsou například geologie, meteorologie, kartografie, zemědělství a také lesnictví. Právě v různých oblastech lesnictví má využití leteckých a družicových záznamů velký potenciál. Při rozlišování vegetace je možné na základě různého odrazu asimilace orgánů jednotlivých dřevin určit jejich druh a zastoupení. Zdravá vegetace odráží záření odlišně od poškozené, což je možné využít při monitorování zdravotního stavu lesa a rozšíření různých škůdců. Praktický význam má i určování porostních veličin ze snímků dálkového průzkumu Země. Sledování lesních požárů, určení rozsahu kalamit a jejich následného zpracování je značně zjednodušené využitím aktuálních družicových a leteckých záznamů.

Samotné záznamy dálkového průzkumu Země obsahují „syrová“ data a pro běžného pozorovatele by nemusela mít potřebnou vypovídací hodnotu. Z tohoto důvodu je zapotřebí je podrobit důkladné a odborné interpretaci, jejíž výsledky závisí tak na znalostech a zkušenostech interpretátora, jakož i na kvalitě a provedení předmětných snímků. Díky tomu, že záznamy z družicového systému Worldview-2 byly zhotoveny v různých částech spektra elektromagnetického záření, je možné tyto pásma různé překrývat a vytvářet tak barevné syntézy.

Ovšem snímky z dálkového průzkumu Země je možné využívat i v dalších oborech. Tím je např. letectví. Zde je možné si přínos dálkového průzkumu Země uvědomit nejlépe. Nasazení leteckého simulátoru nové generace do výcviku přináší mnoho úspor. Simulátor nahradí až několik desítek strojů pro základní a udržovací výcvik. Komerčně se využívá i pro účely v oblasti klimatologie, zemědělství, ekologie a při zhodnocování ekologických faktorů jakož i environmentálních dopadů na krajinu.



Dnešní možnosti získávání aktuálních dat z dálkového průzkumu Země nám dovolují v podstatě v reálném čase sledovat a mapovat změny země i v problémových oblastech s vysokou koncentrací průmyslu (zejména rozšiřování průmyslových parků a jiných velkých staveb), čemuž jsme se v praktické části bakalářské práce také věnovali.

V praktické části bakalářské práce byl vypočítán ekonomický efekt využití satelitů pro vzdálené Země průzkumy.

Situace byla analyzována na příkladu Krasnojarského území Ruska, když v létě roku 2019 došlo k závažným lesním požárům. Analýza ukázala, že včasné a správné využití satelitního dohledu může ušetřit spoustu peněz a vyřešit situaci v čase, což se bez včasného monitorování může stát mimořádným stavem.

## 6 Seznam použitých zdrojů

APPLE INC. iPhoto, *Aperture: Definice související s velikostí obrázků* [online]. 2016 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT202719>

Climate-ADAPT. *GMES Geoland2 (2012)* [online]. [cit. 2020-13-03] Dostupné z: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/portals/gmes-geoland2>

COPERNICUS. *Dálkový průzkum Země* [online]. 2012 [cit. 2018-12-10] Dostupné z: <http://copernicus.gov.cz/dalkovy-pruzkum-zeme>

COUFALOVÁ, O., LUKÁŠ, V., KŘEN, J. *Multispectral images of cereal crops* [online] (PDF) [cit. 2018-11-17] Dostupné z: <https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2006/articles/fyto/coufalova.pdf>

DOBROVOLNÝ, P. *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1998. 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

DOBROVOLNÝ, P. *Digitální zpracování materiálů DPZ* [online]. [cit. 2020-13-03]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/5921399/>

eoPortal . *TSX (TerraSAR-X) Mission* [online]. [cit. 2020-16-03] Dostupné z: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x>

GISAT. *Vyhodnocení dat* [online]. 2012 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/sluzby/zpracovani-dat/vyhodnoceni-dat>

GISAT. *Nová podrobná data z optických i radarových družic* [online]. [cit. 2020-13-03]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/druzicova-data/seminare-and-prezentace/nova-podrobna-data-z-optickyh-i-radarovyh-druzic>

HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. 192 s. ISBN 80-01-03124-7.

HLAVÁČOVÁ, I., HALOUNOVÁ L., KNECHTLOVÁ B. *Sledování poklesů na výsypce v severních Čechách Metodou radarové interferometrie, Geodetický a kartografický obzor*. 2011, roč. 57, č. 10, s. 241-243.

Innoter. *Подбор архивных данных ДЗЗ* [online]. [cit. 2020-15-03] *Podbor archivů dat DPZ*. Dostupné z: <https://innoter.com/services/dannye-dzz/podbor-arkhivnykh-dannykh/>

Innoter. *Спутники ДЗЗ* [online]. [cit. 2020-12-03]. *Družice DPZ*. Dostupné z: <https://innoter.com/sputniki/>

JAKUBCOVÁ, T. Docplayer, *Satelitní snímky při monitoring u změn vegetačního pokryvu ve vybrané části CHKO Žďárské vrchy*, 2016 [online]. [cit. 2018-11-18] Dostupné z: <http://docplayer.cz/23806275-Univerzita-pardubice-fakulta-ekonomicko-spravni.html>

JENSEN, J. R., 2007. *Remote Sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective*. Pearson Education, Inc., 2007, pp. 592, ISBN 0-13-188950-8.

KOLEJKA, J. *Nauka o krajině: geografický pohled a východiska*. 1. vyd. Praha: Academia, 2013. 439 s. ISBN 978-80-200-2201-1

KUPKOVÁ, L., KRÁL, L. *Země očima satelitů: vzdělávací modul Geografie: výukový a metodický text*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství P3K s. r. o., 2011. 51 s. ISBN 978-80-87186-55-8.

KUPKOVÁ, L. *Země z nadhledu – dálkový průzkum Země* [online]. 2010 (PDF) [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <http://geography.cz/geograficke-rozhledy/wp-content/uploads/2010/02/10-11.pdf>

KUPKOVÁ, L. *Země z nadhledu (3. část): charakteristiky dat DPZ* [online]. 2010 (PDF) [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <http://geography.cz/geograficke-rozhledy/wpcontent/uploads/2010/06/12-13.pdf>

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W., CHIPMAN, J. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6 th ed. Hoboken: Wiley, 2008. 758 s. ISBN 978-0-470-05245-7.

LONGLEY, P. A. et al. *Geographic Information Systems and Science*. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2011. 539 s. ISBN 978-0-470-72144-5.

Mapexpert. *Мониторинг пожаров и их последствий с помощью ДЗЗ* [online]. [cit. 2020-16-03]. Monitorování požárů a jejich důsledků pomocí dálkového průzkumu Země. Dostupné z: [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=25&table=news](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=25&table=news)

Monitoring Alpine Transportation Infrastructures using Space Techniques, [online]. [cit. 2018-15-10]. Dostupné z: <http://iap.esa.int/iap/projects/transport/MATIST>

PAVELKA, K. *Dálkový průzkum Země - družicové systémy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010. ISBN 978-80-01-04628-9

PORFIRIEV, B. *Fire by order*. The Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences DPZ [online]. 19.08.2019 [cit. 2020-16-03] Dostupné z: <https://ecfor.ru/publication/lesnoj-pozhar-sibir-ekonomika/>

Rusachka. *ИСЗ — искусственные спутники планеты Земля* [online]. [cit. 2018-12-10]. *Umělé satelity planety Země*, Dostupné z: <http://rusachka.ru/razlichnoe/iskusstvennye-sputniki-zemli-isz.html>

SVATOŇOVÁ, H., LAUERMANN, L. *Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací*. Brno: Masarykova univerzita, 2010. ISBN 978-80-210-5162-1

VŠB, Technická univerzita Ostrava. Geologie: *Dálkový průzkum Země* [online]. [cit. 2018-12-10] Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/kap08.htm>

USGS, Geological Survey. *Landsat Missions* [online]. [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://landsat.usgs.gov/>

Карта пожаров [online]. [cit. 2020-16-03] *Požární mapa*. Dostupné z: <https://fires.ru/>