

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA PROSTOROVÝCH VĚD



**Potenciál databáze Esri 2020 Land Cover v analýzách
change detection**

The potential of the Esri 2020 Land Cover database in change
detection analyzes

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Lágner, Ph.D.

Bakalant: Vratislav Beran

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vratislav Beran

Geografické informační systémy a dálkový průzkum Země v životním prostředí

Název práce

Potenciál databáze Esri 2020 Land Cover v analýzách change detection

Název anglicky

The potential of the Esri 2020 Land Cover database in change detection analyzes

Cíle práce

Hlavní náplní práce je porovnání spektrálních změn zájmové oblasti z databáze ESRI 2020. Cílem je popsat jednotlivě zvolené spektrální indexy a hodnotit jejich výsledky s referenčními daty. Na základě porovnání dat určit jejich kvalitu a potencionální využití v aplikaci Land Cover changes pro databázi ESRI 2020.

Metodika

Autor vypracuje literární rešerši zaměřenou na ESRI 2020 databázi, jakými způsoby je databáze ESRI 2020 využívána, proč a jak je tato databáze využívána v Land Cover changes. Dále se autor v rešerši věnuje fungování Land Cover changes a jeho moderním trendům využití.

V praktické části porovnává spektrální změny zájmové oblasti. Spektrální změny budou zkoumány pomocí spektrálních indexů (NDVI, BSI, NDWI atd.) popřípadě pomocí transformace Tasselated cap. Jednotlivé spektrální indexy budou doplněny o literární rešerši. Budou využity snímky stažené z databáze ESRI 2020, pořízené družicí Sentinel 2.

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stránek

Klíčová slova

Land Cover, Esri, Geodatabase, change detection

Doporučené zdroje informací

- Alexakis, D.D.; Grillakis, M.G.; Koutroulis, A.G.; Agapiou, A.; Themistocleous, K.; Tsanis, I.K.; Michaelides, S.; Pashiardis, S.; Demetriou, C.; Aristeidou, K.; et al. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: The case study of Yialias basin in Cyprus. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2014, 14, 413–426.
- Ansari, A.; Golabi, M.H. Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands—A case study: Meighan Wetland, Iran. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 2019, 7, 64–70.
- Green, K, Kempka, D and Lackey, L. 1994. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60: 331–337.
- Chaves, M.E.D.; Picoli, M.C.A.; Sanches, I.D. Recent Applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for Land Use and Land Cover Mapping: A Systematic Review. *Remote Sens.* 2020, 12, 3062.
- Mancino, G.; Nolè, A.; Ripullone, F.; Ferrara, A. Landsat TM imagery and NDVI differencing to detect vegetation change: Assessing natural forest expansion in Basilicata, southern Italy. *iForest Biogeosci. For.* 2014, 7, 75–84.
- Mohamed, E. K., Hossam, E. S. & Khaled, M. D. Land cover/use change analysis and mapping of Borg El-Arab City, Egypt. *Arab. J. Geosci.* 13, 1123 (2020)
- Pruhniewski, J. A. Esri Releases New 2020 Global Land Cover Map, 2021. ESRI.
- Rawat, J.S.; Kumar, M. Monitoring land user/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district AlMora, Uttarakhand, India. *Egypt. J. Rem. Sens. Space Sci.* 2015, 18, 77–84.
- Raziq A, Xu A, Li Y, Zhao Q (2016) Monitoring of Land Use/Land Cover Changes and Urban Sprawl in Peshawar City in Khyber Pakhtunkhwa: An Application of Geo-Information Techniques Using of Multi-Temporal Satellite Data. *J Remote Sensing & GIS* 5: 174.
- Sadiq Khan, M.; Sun, T.; Ulhan, S.; Chen, L.; UR Rehman, A. Land-Use/Land-Cover Changes and Its Contribution to Urban Heat Island: A Case Study of Islamabad, Pakistan. *MPCI*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3861> (accessed May 09, 2020).
-

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Ondřej Lagner, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 28. 2. 2023

doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 04. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Potenciál databáze Esri 2020 Land Cover v analýzách change detection vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V dne.....

.....

Vratislav Beran

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřejovi Lágnerovi, Ph.D. za vstřícné vedení, spolupráci, trpělivost při zpracování mé práce. Dále bych rád poděkoval rodině, přítelkyni a přátelům za jejich trpělivost a podporu.

.....

Vratislav Beran

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce bylo sledování změn krajinného pokryvu. Změny byly sledovány na územích nacházející se i nedaleko města Seč a Bohdalov. Byla použita data z databáze Esri Land Cover. Práce je rozdělena na literární rešerši a metodickou část.

Literární rešerše je zaměřena na pozorování změn krajinného pokryvu a jejich detekci pomocí dálkového průzkumu Země. Metodická část se zabývá zpracováním dat z databáze Esri Land Cover pomocí nástrojů softwaru ArcMap. Porovnávány byly snímky pořízené z družicových misí Landsat 8/9 a data z databáze Corine Land Cover, která obsahuje informace o krajinném pokryvu a využití půdy na území Evropy. Změny byly hodnoceny v dvouletém intervalu v letech 2018, 2020 a 2022.

Na základě provedených analýz byly porovnány výsledné hodnoty jednotlivých krajinných kategorií ze vstupních databází. Jejich průběh doplněný o hodnoty jednotlivých kategorií krajinného pokryvu je uveden v kapitole výsledků v této bakalářské práci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Land Cover, Esri, Geodatabase, Change detection, Remote sensing

ABSTRACT

The subject of this bachelor's thesis was the monitoring of changes in landscape cover. The changes were monitored in territories located near the town of Seč and Bohdalov. Data from the Esri Land Cover database was used. The work is divided into a literary reshuffle and a methodical part.

The literary research is aimed at observing changes in the landscape cover and detecting them by remote sensing of the Earth. The methodology part deals with data processing from the Esri Land Cover database using ArcMap software tools. Images taken from Landsat 8/9 satellite missions and data from the Corine Land Cover database, which contains information on land cover and land use across Europe, were compared. The changes were assessed over a two-year interval in 2018, 2020 and 2022.

Based on the analyses carried out, the resulting values of the individual landscape categories from the input databases were compared. Their progress, supplemented by the values of each category of land cover, is given in the chapter of results in this Bachelor thesis.

KEYWORDS

Land Cover, Esri, Geodatabase, Change detection, Remote sensing

Obsah

1	ÚVOD	13
2	CÍLE PRÁCE.....	14
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	15
3.1	ESRI	15
3.1.1	Historie	15
3.2	Geodatabáze ESRI.....	16
3.3	CORINE Land Cover	17
3.4	ArcČR 500	18
3.5	Change detection	18
3.6	Change Detection z dat pořízených dálkovým průzkumem Země.....	19
3.7	Land Cover.....	19
3.8	Dálkový průzkum Země	20
3.8.1	Program Copernicus	20
3.8.2	Družice Copernicus.....	21
3.8.3	Program Landsat.....	24
3.8.4	Družice Landsat	25
3.8.5	Datové produkty Landsat	30
4	CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ.....	31
5	METODIKA	34
5.1	Získání dat.....	34
5.1.1	Data z databáze Esri Land Cover	34
5.1.2	Data z družice Landsat - 8.....	34
5.1.3	Data z databáze Corine Land Cover.....	35
5.2	Zpracování dat.....	35
5.2.1	Esri Land Cover	35
5.2.2	Landsat 8/9.....	36
5.2.3	CORINE Land Cover	36
6	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	37
7	VÝSLEDKY	38
7.1	Zájmového území poblíž městyso Bohdalov z databáze Esri Land Cover – Sentinel 2	38

7.2	Zájmového území poblíž městysu Bohdalov z databáze snímků Landsat 8 a 9	42
7.3	Zájmového území poblíž města Seč z databáze Esri Land Cover – Sentinel 2.....	45
7.4	Výstupy zájmového území poblíž města Seč z databáze snímků Landsat 8 a 9	48
8	DISKUSE	54
9	ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE	55
10	PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	56

PŘEHLED ZKRATEK

ALS	Airborne laser scanning
CD	Change Detecion
CLC	Corine Land Cover
CORINE	CooRdination of Information on the Environment
ČSÚ	Český statistický úřad
DN	Directory number
DPZ	Dálkový průzkum Země
EEA	European Enviroment Agency
EMSA	European Maritime Safety Agency
ERTS-1	Earth Resources Technology Satellite
ESA	Evropská kosmická agentura
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
EW	Extra široký záběr
FB	Farmářský blok
GIS	Geografický informační systém
GMES	Global Monitoring for Enviroment and Security

IW	Interferometrický široký záběr
LC	Land Cover
LPIS	Land Parcel Identification System
MMU	Minimální mapovací jednotka
MSS	Multispektrální skener
MWR	Microwave Radiometer
NASA	Národní úřad pro letectví a vesmír
NOAA	Národní úřad pro oceán a atmosféru
OBIA	Object based image analysis
OLCI	Land Color Instrument
OLI	Operational Land Imager
OLI-2	Operational Land Imager 2
PIOS	Polygon Information Overlay Systém
RBV	Návratový paprsek vidicon
SAR	Synthetic Aperture Radar
SLC	Korektor skenovací linky
SLSTR	Sea and Land Surface Temperature Radiometer
SRAL	Synthetic Aperture Radar Altimeter
TIRS	Thermal Infrared Sensor

TIRS-2	Thermal Infrared Sensor 2
TM	Tematický mapovač
TROPOMI	Tropospheric Monitoring Instrument
USGS	United States Geological Survey
UVNS	Visible Near-infrared Spectrometer
ZÚ	Zeměměřický úřad

1 ÚVOD

Krajinný pokryv, nebo také soubor všech typů přírodního i lidského prostředí pokrývající zemský povrch, je důležitým aspektem pro mnoho odvětví lidské činnosti. Příkladem může být zemědělství, lesnictví či ochrana přírody nebo urbanismus a plánování městských oblastí. Změny v krajinném pokryvu mohou mít výrazný vliv na životní prostředí, ekonomiku a společnost jako celek.

Databáze Esri Land Cover poskytuje detailní informace o krajinném pokryvu v různých regionech a časech. Obsahuje data získaná z různých zdrojů, jako jsou družice a letecké snímky. Tato data jsou klasifikována do jednotlivých kategorií, kterými jsou lesy, zemědělská půda, vodní plochy, městské oblasti nebo pastviny. Z této databáze můžeme získat informace o současném stavu krajinného pokryvu a sledovat jeho změny v čase. Tyto informace mohou být využity pro mnohé účely. Například monitorování změn v oblastech s vysokou úrovní lidské činnosti, sledování změn v přírodních oblastech a stanovení opatření na ochranu životního prostředí a udržitelný rozvoj.

Databáze Esri Land Cover tak představuje cenný nástroj pro plánování a správu krajiny, který může pomoci chránit přírodní zdroje, zlepšovat kvalitu životního prostředí a podporovat udržitelný rozvoj po celém světě.

2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem mé bakalářské práce je poskytnout ucelený přehled o změnách krajinného pokryvu a jejich příčinách. Data pocházejí z databáze Esti Land Cover – Sentinel 2. Změny krajinného pokryvu budou hodnoceny v letech 2018, 2020 a 2022.

Změny krajinného pokryvu daného zájmového území budou identifikovány a analyzovány pomocí nástrojů softwaru ArcGIS Desktop. Výsledné hodnoty z databáze Esri Land Cover budou porovnány s daty zpracovaných z vesmírného programu Landsat a geografickou databází pro území Evropy Corine Land Cover.

Rozdíly mezi jednotlivými výstupy budou prezentovány tematickou mapou pro každou ze vstupních databází pro jednotlivé roky. Závěr bude doplněn o grafy znázorňující zastoupení kategorií krajinného pokryvu pro zájmové území a hodnocení kvality jednotlivých databází.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 ESRI

Environmental Systems Research Institute (ESRI) je soukromá softwarová společnost zaměřující se na rozvoj geografických informačních systémů (GIS). Společnost ESRI se pyšní svojí finanční nezávislostí a bez dlužnou historií (ESRI, 2023). Svoje služby nabízí ve 220 zemích po celém světě. Uživatelé využívající služby ESRI spadají do všech odvětví a zahrnují všechny stupně státní správy a podnikání. Mezi tyto uživatele se řadí například všechny pobočky americké armády, Ústřední zpravodajská služba, Ministerstva vnitřní bezpečnosti, nemocnice a zdravotnické organizace a mnoho dalších (Advameg, Inc., 2018).

3.1.1 Historie

Za vznikem ESRI stojí Jack Dangermond, narozen ve městě Redlands v Kalifornii. Dosáhl magisterského titulu v oboru územního plánování na University of Minnesota a následně magisterského titulu v oboru krajinné architektury na Harvard School of Design (URCGIS, 2012). Při studiu se začal více zajímat o počítače a softwarové nástroje za cílem zobrazení dat vizuálním způsobem. Za pomoci přizvaných matematiků vyvíjel softwarový program na slučování dat s mapami v digitální podobě. Tento program byl obrovským krokem ke zrodu ESRI.

V roce 1969 Jack Dangermond a jeho manželka Laura založili Environmental Systems Research Institute (ESRI) z vlastních úspor se sídlem v Kalifornii ve městě Redlands (Parecki, Aron, 2013).

Společnost ESRI se ze začátku zaměřovala na uspořádání a analýzu geografických informací. Ve svém prvním roce se ESRI podílela na rozvoji mezistátní komunikace z Milwaukee do Green Bay ve Wisconsinu (Advameg, Inc., 2018).

Během 70. let se společnost ESRI podílela na realizaci celé řady zajímavých projektů s vládními agenturami na místní, státní a federální úrovni. V roce 1970 si okres San Diego v Kalifornii vybral společnost pro vývoj systému Polygon Information Overlay System (PIOS). Následující rok se společnost ESRI podílela na návrhu systému územního plánování a řízení

ve městě Los Angeles (Gamal Gaafar, H., 2015). Díky těmto projektům společnost ESRI dostávala více lukrativních zakázek. Například zakázku s cílem vytvoření Marylandského automatizovaného, prvního komerčně vyvinutého celostátního geografického informačního systému (GIS). V polovině 70. let 20. století byla společnost ESRI průkopníkem informačního systému sloužícího k řízení vodních zdrojů v Delaware. Kromě toho společnost dosáhla ocenění od US Army Corps of Engineers jako jediného amerického obstaravatele dat, schopného splnit technické specifikace pro využití půdy podložené environmentálními studiemi (Advameg, Inc., 2018).

ESRI posunula svou úroveň softwarových aplikací zas o něco výš, když v roce 1981 vydala svoji první komerční GIS aplikaci, která nesla název ARC/INFO. Tato aplikace kombinovala body, linie, polygony s nástrojem pro správu databází. Technologie se přesunula na UNIX a později na operační systémy Windows (GISGeography, 2022). Díky tomu bylo umožněno uživatelům softwaru ESRI uplatnit principy distribuovaného zpracování a správy dat. O 5 let později od vzniku ARC/INFO přišla ESRI s druhým produktem pod názvem PC ARC/INFO, software určený pro jednotlivé osobní počítačové sestavy. Během 90. let docházelo k vylepšování dosavadních aplikací a vzniku nových. Mezi ně patřil ArcCAD a také nový desktopový mapovací program ArcView. Následovalo představení nového programu pod názvem ArcData GIS, ten se později přejmenoval na Geography Network (Packt Subscription, 2015).

Díky neustálým inovacím, velkým investicím do vývoje a výzkumu se stala společnost ESRI světově největší v oblasti počítačových programů GIS a mapování. V současnosti má společnost 49 poboček po celém světě včetně výzkumných a vývojových center. Zaměstnává více jak 5000 zaměstnanců ze 73 zemí (Advameg, Inc., 2018).

3.2 Geodatabáze ESRI

Databáze ESRI označuje geodatabázi vytvořenou a spravovanou pomocí softwaru poskytovaného společností ESRI. Databáze je určena k ukládání a správě geografických dat, jako jsou mapy, obrázky či prostorová data.

ESRI nabízí několik různých typů geodatabází, včetně osobních, souborových a podnikových. Osobní geodatabáze jsou navrženy pro použití jednotlivci nebo malými

pracovními skupinami. Jsou uloženy v databázovém souboru Microsoft Access (ESRI, 2009). Souborové geodatabáze jsou naproti tomu navrženy pro použití v síťovém prostředí a může k nim přistupovat více uživatelů současně. Podnikové geodatabáze slouží pro použití ve velkých organizacích a jsou obvykle hostovány v systému správy databází, jako je Oracle nebo SQL Server.

Technologie geodatabáze ESRI poskytuje výkonnou platformu pro ukládání a správu prostorových dat, stejně jako pro provádění komplexní prostorové analýzy a modelování. Kromě technologie geodatabáze nabízí ESRI širokou škálu softwarových nástrojů a řešení pro vytváření, správu a analýzu geografických dat. Například ArcGIS Desktop, ArcGIS Online a ArcGIS Server.

Databázová technologie ESRI je široce využívána v různých průmyslových odvětvích a aplikacích, včetně environmentálního managementu, městského plánování, dopravy, správy přírodních zdrojů, obrany a zpravodajství. Poskytuje robustní a spolehlivou platformu pro správu komplexních prostorových dat a provádění sofistikovaných analýz a modelování. (ESRI, 2009).

3.3 CORINE Land Cover

Coordination of Information on the Environment (CORINE) Land Cover (CLC) je celoevropský program specializovaný na sběr informací o zemském krajinném pokryvu. Je součástí programu Evropské unie Copernicus, který je zaměřený na rozvoj evropských informačních služeb založených na družicovém sledování Země. Nabízí data ohledně informací o krajinném pokryvu z pěti časových období, konkrétně z let 1990, 2000, 2006, 2012 a 2018 (Thépaut, J. N. et al, 2014).

Databáze jednotlivých časových období vznikaly s vizuální interpretací z podkladových dat pro Evropu v měřítku 1 : 100 000. Minimální mapovací jednotka (MMU) je u všech vrstev krajinného pokryvu 25 ha a minimální šířkou 100 m pro liniové jevy. Časové řady jsou doplněny vrstvami změn, které zdůrazňují změny krajinného pokryvu s nejmenší mapovací jednotkou o ploše 5 ha (EEA, 1995).

Krajinný pokryv je klasifikován do 44 tříd uspořádaných do pěti kategorií. Těmi jsou urbanizovaná území, zemědělské plochy, lesy s polovičně přírodními, mokřady a vodní plochy. Z toho se na území ČR vyskytuje 29 tříd a data jsou dostupná na Národním geoportálu INSPIRE na webové stránce geoportal.gov.cz (Bašistová, J., 2014).

3.4 ArcČR 500

ArcČR 500 je digitální vektorovou geografickou databází České republiky v měřítku 1:500 000. Za jejím vznikem stojí tři společnosti, Zeměměřický úřad (ZÚ), ARCDATA PRAHA, s.r.o. a Český statistický úřad (ČSÚ). Databáze je tvořena základními geografickými prvky a klady listů státních mapových děl a administrativního členění České republiky (ARCDATA PRAHA s.r.o., 2000).

3.5 Change detection

Change Detection (CD) je aplikace prezentující proces změn krajinného zemského pokryvu. Prezentuje stavy objektů či jevů na Zemi za určité časové období (Sadiq Khan et al. 2020). Tyto stavy jsou velmi důležité pro pochopení vzájemného ovlivňování lidské populace s životním prostředím. V přírodě se změny z časových vlivů dělí na dva druhy. Prvním druhem jsou změny krátkodobé neboli okamžité (Ponocná et Hejná, 2019). Ty jsou způsobeny například přírodní katastrofou nebo podnebím. Změny dlouhodobé, jinak zvané kontinuální jsou v přírodě běžným jevem, který se odehrává přirozeně a probíhá po celou dobu existence planety Země. Některé z těchto změn jsou způsobeny přírodními procesy, jako jsou pohyby zemských desek, vulkanická aktivita, zemětřesení, eroze.

Výsledkem CD jsou tematické mapy reprezentující rozdíly mezi krajinným pokryvem se změnou a beze změny. Cílem CD je pochopení daných změn a jejich následné řešení (Coppin et al, 2004).

3.6 Change Detection z dat pořízených dálkovým průzkumem Země

Detekce změn (Change Detection) z dat získaných dálkovým průzkumem Země je proces, při kterém se srovnávají dva nebo více snímků téhož území získaných v různých časech a zjišťují se rozdíly mezi nimi. Tato metoda umožňuje zjistit a analyzovat změny v krajině, jako jsou změny v pokryvu půdy, vodních tocích, lesích, městských oblastech a dalších druzích krajinného pokryvu (Green et al, 1994).

Pro detekci změn mohou být použity různé typy dat, včetně optických a radarových dat. Optická data jsou získávána ze satelitů nebo letadel a zahrnují obrazy viditelného světla, blízkého infračerveného a dalších spektrálních pásem. Radarová data jsou získávána ze satelitů nebo letadel, využívají elektromagnetické vlny a umožňují získávat data v jakémkoliv počasí, dokonce i v noci. Pro detekci změn se používají různé algoritmy, včetně algoritmů porovnávání pixelů, segmentace obrazu, klasifikace obrazu atd. Výsledkem může být mapa, která ukazuje oblasti, kde se vyskytly změny a jaké byly jejich charakteristiky.

Detekce změn může být užitečná pro mnoho aplikací, jako jsou monitorování změn v krajině, zjišťování škod po přírodních katastrofách, sledování rozvoje městských oblastí, ochrana přírody a další. (Sreedhar et al, 2016).

3.7 Land Cover

Krajinný pokryv jinak zvaný Land Cover (LC) je tvořen krajinnými třídami, které se skládají z krajinných plošek (Lausch et al, 2002). Ty jsou klasifikovány do předem stanovených tříd dle jejich druhu využití.

Souborem, kde nalezneme už klasifikované třídy je například program CORINE Land Cover pro Evropu, pro území České republiky databáze LPIS (Land Parcel Identification System) nebo celosvětově využívanou databázi Esri Land Cover – Sentinel 2. Výsledkem klasifikace LC je tematická mapa reprezentující rozložení jeho jednotlivých tříd.

3.8 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (DPZ) je technika sběru informací o povrchu Země z dálky pomocí různých senzorů, jako jsou například družice, letadla, balóny a další. Princip dálkového průzkumu země spočívá v získávání dat pomocí elektromagnetického záření v různých spektrálních oblastech, které jsou následně zpracovávána a interpretována.

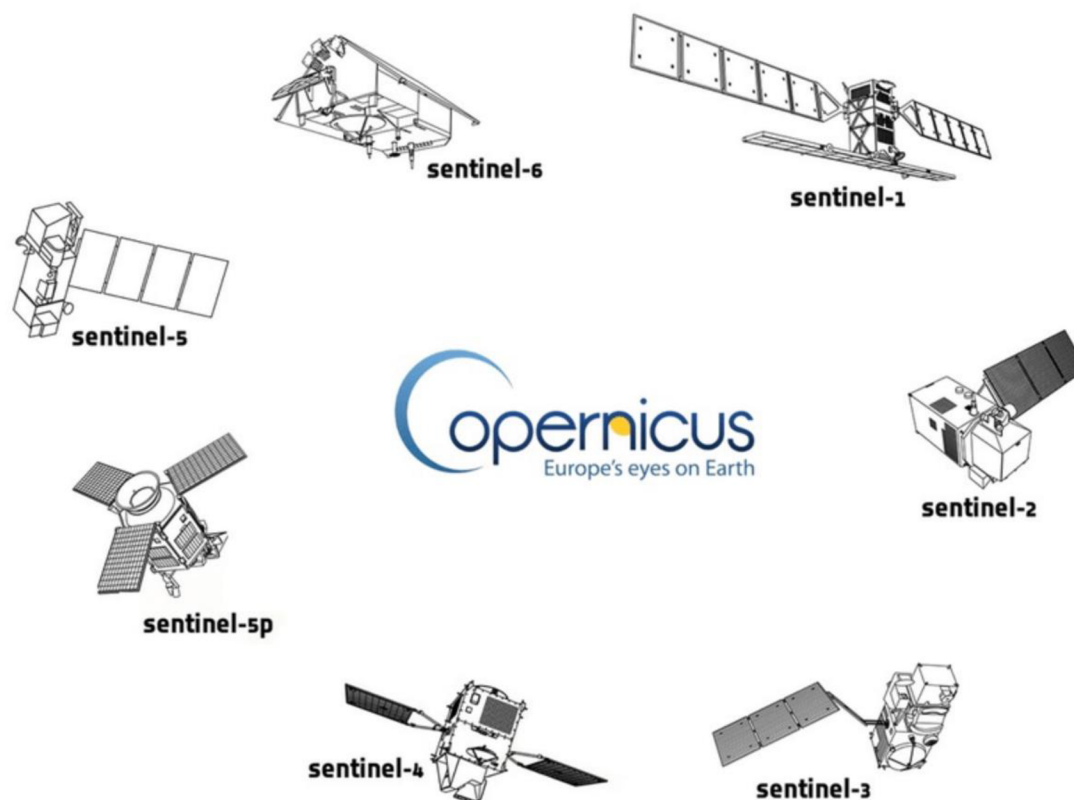
Základní princip DPZ spočívá v tom, že energie elektromagnetického záření, které je vysíláno ze zdroje (např. družice), proniká skrz atmosféru a dopadá na povrch Země. Tento signál interaguje s různými objekty na povrchu Země, jako jsou vegetace, voda, budovy a další, a část energie se odráží zpět k senzoru. Senzor zachycuje tento odražený signál a zaznamenává ho jako digitální data (Lu et al, 2004).

Data získaná dálkovým průzkumem země mohou být zpracovávána různými způsoby, včetně obrazového zpracování, spektrální analýzy a dalších technik. Tato data jsou poté interpretována, aby se získaly informace o různých charakteristikách povrchu Země, jako jsou pokryv půdy, vodní zdroje, změny v krajině, stavba a další. Dálkový průzkum země se používá v mnoha oblastech, včetně geologie, ekologie, zemědělství, lesnictví, geografie, urbanismu a dalších. Díky této technice lze získávat informace o velkých oblastech v krátkém čase a na velkou vzdálenost, což umožňuje lépe porozumět a řídit procesy, které ovlivňují naši planet (Chaves et al, 2020).

3.8.1 Program Copernicus

V roce 2001 byl Evropskou komisí schválen program Evropské unie Global Monitoring for Environment and Security (GMES), k jeho přejmenování na Copernicus došlo v roce 2012. Program byl vyvinut, pro poskytování pravidelných prostorových informací o životním prostředí. Tyto informace se používají jako vhodný základ při řešení nejrůznorodějších krizových situací, kterými mohou být přírodní katastrofy nebo škody způsobené člověkem. Kromě Evropské unie se na programu Copernicus podílí Evropská vesmírná agentura European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), European Environment Agency (EEA), European Maritime Safety Agency (EMSA) a mnoho dalších organizací (Nereus, 2017). Získaná data jsou k dispozici ve vysokém rozlišení zdarma

skrže prostředí Copernicus Open Access Hub nebo prostřednictvím řady komerčních poskytovatelů dat (Thépaut et al, 2014).



Obrázek 1: Copernicus Missions (https://www.researchgate.net/publication/335255638_Evaluation_of_Sentinel-3A_OLCI_Products_Derived_Using_the_Case-2_Regional_CoastColour_Processor_over_the_Baltic_Sea)

3.8.2 Družice Copernicus

3.8.2.1 Mise Sentinel 1

Ta se skládá z dvou radarových zobrazovacích satelitů v pásmu C, které poskytují nepřetržité snímky zemského povrchu za každého počasí v jakýkoliv čas. Hlavním úkolem Sentinel-1 je poskytovat radarové snímky pro širokou škálu aplikací jako například monitorování katastrof, námořní monitorování, mapování využití půdy a krajinného pokryvu a monitorování životního prostředí. Radarová data získaná Sentinelem-1 jsou zvláště užitečná

pro aplikace, kde by oblačnost nebo tma jinak bránila pořizování optických satelitních snímků (Karamat et al, 2019).

Družice Sentinel-1 jsou vybaveny přístrojem Synthetic Aperture Radar (SAR), který může pracovat v několika režimech zobrazování, včetně interferometrického širokého záběru (IW), extra širokého záběru (EW).

3.8.2.2 Mise Sentinel 2

Systém Sentinel-2 se skládá ze dvou družic, které se pohybují po polární slunečně synchronní oběžné dráze ve výšce 786 km nad Zemí s posunem 180° a inklinací 98,5° . Družice se využívá pro sledování využití ploch na Zemi, monitorování krajinného pokryvu a detekci změn za určité časové období. Jedna družice poskytne snímky ze stejného místa nad rovníkem jednou za dobu 10 dní s rozlišením 10-60 m. Pro oblasti středních zeměpisných šířek jako je například Evropa či Kanada je časové rozlišení obou družic v rozmezí jednou za dva až tři dny (Soni et al, 2021).

Družice systému Sentinel-2 snímají povrch planety od 84° severní šířky až po 56° jižní šířky. Družice snímají ostrovy větší než 100 km², malé ostrovy, které nejsou vzdálenější než 20 km od pevniny, ostrovy patřící zemím Evropské unie, uzavřená moře jako například Kaspické moře, vnitrozemské vodní plochy a celé Středozemní moře (Mishra, 2019).

První družice pod označením Sentinel-2A byla vypuštěna 23. června 2015, následně o dva roky později 7. března byla vypuštěna druhá družice pod označením Sentinel-2B. Sentinel-2 vyniká v pořizování multispektrálních snímků s velkou šířkou záběru o velikosti 290 km (Mishra, 2019). Takto vysoké prostorové rozlišení zajišťuje co nejpodrobnější snímky, a to i v globálním měřítku.

3.8.2.3 Mise Sentinel 3

Tato mise používá radarový i multispektrální senzor středního rozlišení pro sledování moří, pevnin a ledu. Mise se zaměřuje na monitorování zemských oceánů, povrchů pevniny a atmosféry pomocí sady pokročilých přístrojů.

Mise Sentinel-3 se skládá ze dvou identických satelitů, které každé dva dny zajišťují globální pokrytí zemského povrchu. Satelity jsou vybaveny několika přístroji, včetně Ocean and Land Color Instrument (OLCI), Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR), Synthetic Aperture Radar Altimeter (SRAL) a Microwave Radiometer (MWR). Nástroj OLCI poskytuje viditelné a blízké infračervené snímky s vysokým rozlišením pevninských a oceánských útvarů, včetně vegetace, pobřežních zón a kvality vody. Přístroj SLSTR zaměřuje teplotu zemského povrchu a mořského povrchu a poskytuje důležitá data pro monitorování klimatu a předpověď počasí. Výšku hladiny moře zjišťuje SRAL, tu lze použít ke studiu oceánských proudů, vzestupu hladiny moře a změny klimatu. Přístroj MWR je zaměřen na vlhkost zemské atmosféry, což je důležité pro předpověď počasí a monitorování klimatu (Francisco et al, 2018).

3.8.2.4 Mise Sentinel 4

Tato Mise se věnuje monitorování složení zemské atmosféry se zaměřením na distribuci klíčových znečišťujících látek a stopových plynů, které ovlivňují kvalitu ovzduší. Mise Sentinel-4 se bude skládat z jediné geostacionární družice, která bude umístěna nad Evropou. Vypuštěna by měla být v roce 2023. Družice bude vybavena nejmodernějším ultrafialovým, viditelným a infračerveným spektrometrem, známým jako Sentinel-4 Ultraviolet Visible Near-infrared Spectrometer (UVNS), který bude měřit koncentraci řady látek znečišťujících ovzduší, jako je oxid dusičitý, ozón, oxid siřičitý, formaldehyd a oxid uhelnatý.

Přístroj Sentinel-4 UVNS bude poskytovat kontinuální měření složení atmosféry nad Evropou s vysokým rozlišením s prostorovým rozlišením přibližně 8 km. Údaje generované tímto nástrojem budou použity k monitorování kvality ovzduší, sledování distribuce znečišťujících látek a stopových plynů a ke zlepšení našeho chápání dopadu znečištění ovzduší na lidské zdraví a životní prostředí (Courreges-Lacoste et al, 2017).

3.8.2.5 Mise Sentinel 5

Ta se věnuje monitorování složení zemské atmosféry v globálním měřítku se zaměřením na distribuci klíčových znečišťujících látek a stopových plynů, které ovlivňují kvalitu ovzduší a klima. Skládá se z jediného satelitu vybaveného Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI), nejmodernějším přístrojem, který dokáže měřit koncentraci řady látek znečišťujících ovzduší, jako je oxid dusičitý, ozón, oxid siřičitý nebo oxid uhelnatý. Přístroj TROPOMI poskytuje měření složení atmosféry ve vysokém rozlišení s prostorovým rozlišením až 7 km, což umožňuje detekci lokálních zdrojů znečištění a monitorování městských oblastí, průmyslových objektů nebo dopravních sítí (Gühne et al, 2017).

3.8.2.6 Mise Sentinel 6

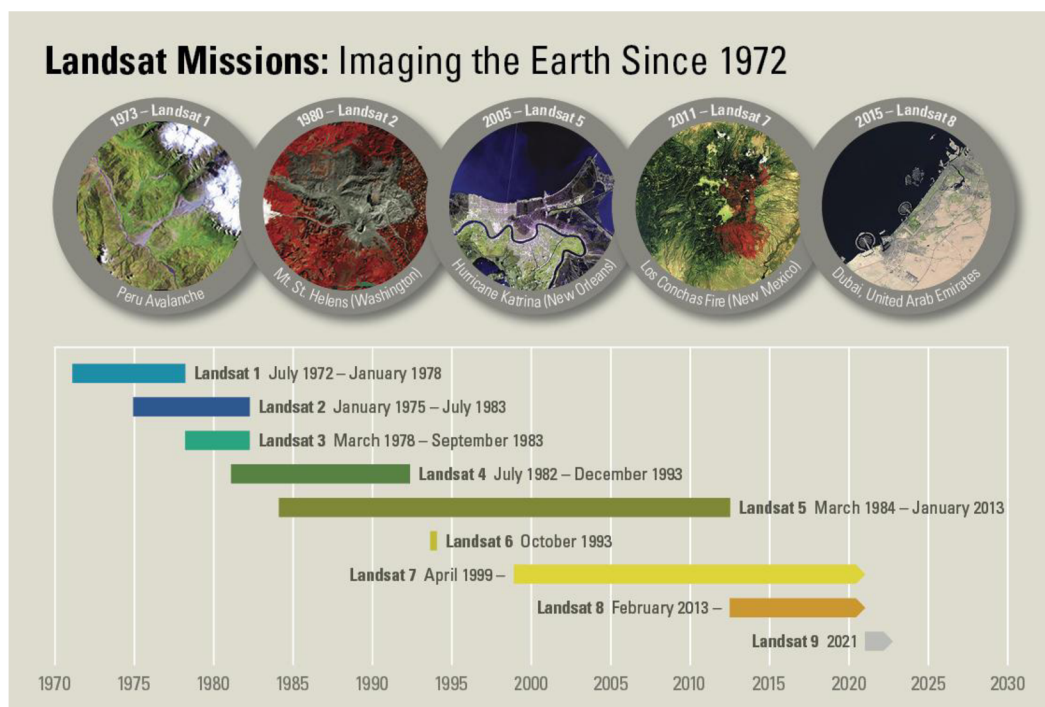
To je satelitní mise vyvinutá Evropskou kosmickou agenturou (ESA) ve spolupráci s Evropskou organizací pro využívání meteorologických satelitů (EUMETSAT), Národním úřadem pro letectví a vesmír (NASA) a Národním úřadem pro oceán a atmosféru (NOAA).

Mise se věnuje monitorování vzestupu hladiny moří a schopnosti změn zemských oceánů. Skládá se ze dvou identických satelitů, Sentinel-6A, které byla vypuštěna v roce 2020 a Sentinel-6B, ta bude vypuštěna v roce 2025. Satelity nesou pokročilé radarové výškoměry, které měří výšku hladiny oceánu s nebyvalou přesností a budou poskytovat podrobné informace o vzestupu hladiny moře, cirkulaci oceánů, teplotě a slanosti oceánů (Liu et al, 2022).

3.8.3 Program Landsat

Landsat je řada družic pro pozorování Země provozovaná United States Geological Survey (USGS). Program Landsat poskytuje množství informací o zemském povrchu, včetně informací o využití půdy a krajinném pokryvu, zdraví vegetace, vodních zdrojích a změnách v čase. Tyto informace se získávají z družic, které obíhají Zem v pravidelných intervalech. Každá z družic má své specifické vlastnosti, jako je prostorové rozlišení, typ dráhy družice, doba oběhu okolo Země, velikost záběru atd. Do momentální doby bylo v rámci programu Landsat vysláno devět družic. Snímky pořízené družicemi programu Landsat se používají pro

širokou škálu aplikací, včetně zemědělství, lesnictví, městského plánování a řízení přírodních zdrojů. Data pořízena za posledních 50 let jsou archivovaná. Snímky využívají i vědci a výzkumníci po celém světě ke studiu zemského povrchu a toho, jak se v čase mění (Wulder et al, 2022).



Obrázek 2.: Landsat Missions (<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>)

3.8.4 Družice Landsat

Družice programu Landsat položily základy civilnímu DPZ. Sbírají data nepřetržitě již od roku 1972, kdy byl na oběžnou dráhu vyslán Landsat 1 na nosné raketě Delta 900. Rozsah scény družice Landsat je 170 x 185 km (Zhu et al, 2019). Data pořízená družicemi Landsat reprezentují nejdlejší řadu družicových dat. Obrazová data jsou uložena v archivu a pomocí aplikací volně dostupná ke stažení. Do roku 2008 byla poskytována pouze za poplatek v hodnotě pohybující se okolo 600 dolarů za snímek. V tomtéž zmíněném roce se naprosto změnil přístup k analýze a používání dat. Zrušením zpoplatnění došlo k obrovskému nárůstu využívání dat Landsat. Kvůli tomu bylo nutné zaručit kontinuitu dat, které je dosahováno díky předběžnému zpracování. K tomu využívané metody se liší podle stupně předzpracování

konkrétních dat, ale většinou zahrnují prostorové zarovnání, geolokaci a radiometrickou kalibraci a atmosférické korekce (Wulder et al, 2022).

Pro lepší organizovanost archivu jsou data rozdělena do dvou kolekcí: Landsat Collection 1 a Landsat Collection 2. Landsat Collection 2 představuje vylepšení datových produktů. Její primární charakteristikou je zlepšení geometrické přesnosti a výškopisu. Kolekce se skládají z dat rozdělených do kategorií Tier 1, Tier 2 a Real – Time. Do Tier 1 spadají data splňující všechna kritéria kvality, $RMSE \leq 12$ m. Naopak do Tier 2 spadají data, která nesplňují kritéria kvality, $RMSE > 12$ m, mají výraznou oblačnost atd. Real – Time jsou data ihned po pořízení, je u nich nutné přepracování a zařazení (Zhu et al, 2019).

3.8.4.1 Mise Landsat 1

Landsat 1 byla první družice vypuštěná v rámci programu Landsat, což je řada družic pro pozorování Země provozovaná organizací United States Geological Survey (USGS). Byla vypuštěna 23. července 1972 a původně byla známá jako družice Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1), než byla v roce 1975 přejmenována na Landsat 1. Družice nesla dvě kamery, multispektrální skener (MSS) a kameru s návratovým paprskem vidikonu (RBV), které byly použity k zachycení snímků zemského povrchu. MSS měla čtyři pásma, která mohla zachytit záření ve viditelné, blízké infračervené a střední infračervené oblasti elektromagnetického spektra, zatímco RBV kamera zachycovala snímky ve viditelné oblasti spektra. Landsat 1 obíhal Zemi ve výšce 917 kilometrů a měl čas opětovné návštěvy 18 dní. Fungoval do 6. ledna 1978, kdy byl po více než 1400 obletech vyřazen z provozu (Markham et al, 2004).

3.8.4.2 Mise Landsat 2

Následovníkem ve výzkumu mise Landsat 1 byla mise Landsat 2. Družice této mise byla vypuštěná NASA 22. ledna 1975. Jejím úkolem byl sběr dat o přírodních zdrojích a životním prostředí. Byla vybavena multispektrálním skenerem (MSS) a kamerou s návratovým paprskem vidicon (RBV). Tyto přístroje umožňovaly shromažďování snímků v několika spektrálních pásmech, ty byly použity např. ke studiu vegetace, krajinného pokryvu a dalších

proměnných prostředí (Markham et al, 2004). Program pokračoval v provozu až do 25. února 1982, kdy porucha v elektrickém napájecím systému satelitu způsobila předčasné ukončení mise.

3.8.4.3 Mise Landsat 3

Landsat 3 byla družicová mise vypuštěná NASA 5. března 1978. Mise byla navržena k pokračování ve sběru dat a výzkumu zahájeném misemi Landsat 1 a Landsat 2. Stejně jako předešlé družice byla družice Landsat 3 vybavena multispektrálním skenerem (MSS) a kamerou s návratovým paprskem vidicon (RBV).

Program pokračoval v provozu až do března 1983, kdy porucha stejně jako u předešlých družic způsobila předčasné ukončení mise (Heric et al, 1994). Navzdory tomu byl Landsat 3 významným přispěvatelem k rozvoji technologie dálkového průzkumu Země a ke studiu prostředí Země.

3.8.4.4 Mise Landsat 4

Landsat 4 byla čtvrtá družice vypuštěná v rámci programu Landsat. Vypuštěn byl 16. července 1982 (Egorov et al, 2019). Landsat 4 nesl dvě kamery, multispektrální skener (MSS) a tematický mapovač (TM), které sloužily k pořizování snímků zemského povrchu. MSS měla čtyři pásma, která mohla zachytit záření ve viditelné, blízké infračervené a střední infračervené oblasti elektromagnetického spektra. TM měla sedm pásem, která mohla zachytit záření ve viditelné, blízké infračervené, střední infračervené a termální infračervené oblasti. Landsat 4 obíhal Zemi ve výšce 705 kilometrů a čas opětovné návštěvy byl 16 dní (Markham et al, 2004).

Fungoval více než osm let až do prosince 1993, během kterého poskytoval cenný zdroj dat z pozorování Země pro vědecký výzkum, řízení zdrojů a mnoho dalších aplikací. Landsat 4 byl nakonec vyřazen z provozu kvůli technickým problémům, ale program pokračoval s několika následnými satelity.

3.8.4.5 Mise Landsat 5

Satelitní mise Landsat 5 byla provozovaná NASA a US Geological Survey (USGS) za cílem zachytit a poskytnout data dálkového průzkumu Země (DPZ). Družice Landsat 5 byla vypuštěna 1. března 1984 a zůstala v provozu přes 28 let, až do svého vyřazení 5. června 2013. Během své provozní doby pořídil Landsat 5 více než 2,5 milionu snímků zemského povrchu a poskytl tak cenná data pro širokou škálu aplikací, jako je zemědělství, lesnictví, územní plánování, hospodaření s vodními zdroji a monitorování přírodních katastrof (Egorov et al, 2019). Landsat 5 nesl dva hlavní nástroje, jeden Thematic Mapper (TM) a jeden Multispectral Scanner (MSS). Přístroj TM zachytil data v sedmi spektrálních pásmech s prostorovým rozlišením 30 metrů. Naopak přístroj MSS zachytil data ve čtyřech spektrálních pásmech s prostorovým rozlišením 80 metrů (Chander et al, 2007). Přestože Landsat 5 již není v provozu, jeho datový archiv zůstává důležitým zdrojem pro vědce, výzkumníky, kteří se zajímají o studium zemského povrchu a jeho změn v čase.

3.8.4.6 Mise Landsat 6

Landsat 6 byla satelitní mise, která měla pokračovat ve sběru dat programu Landsat z dálkového průzkumu Země. Družice byla vypuštěna 5. října 1993 NASA, ale bohužel se mu nepodařilo dosáhnout oběžné dráhy kvůli poruše kapotáže užitečného zatížení rakety. V důsledku toho byl Landsat 6 ztracen a nebyla z něj shromážděna žádná data. Družice Landsat 6 měla nést nástroj Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), který by byl upgradem nástroje Thematic Mapper (TM). Přístroj ETM+ měl vylepšené možnosti pro zachycování dat ve viditelné, blízké infračervené a tepelné infračervené oblasti elektromagnetického spektra (Mowle et al, 1991). Ztráta Landsatu 6 byla významnou překážkou pro program Landsat, který se spoléhal na nepřetržitý proud dat pro sledování a pochopení změn na zemském povrchu. Program Landsat však pokračoval uvedením programu Landsat 7.

3.8.4.7 Mise Landsat 7

Landsat 7 je satelitní mise provozovaná NASA a US Geological Survey (USGS) za účelem shromažďování dat ze zemského povrchu. Byl spuštěn 15. dubna 1999. Funkční je dodnes, poskytuje cenná data pro širokou škálu aplikací, jako je územní plánování, zemědělství, lesnictví anebo správa přírodních zdrojů (Scaramuzza et al, 2012). Družice nese

nástroj Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), který zachycuje data v osmi spektrálních pásmech s prostorovým rozlišením 30 metrů pro viditelné a blízké infračervené pásmo a 60 metrů pro tepelně-infračervená pásma. Přístroj ETM+ má ve srovnání s jeho předchůdcem na Landsat 5 vylepšené možnosti pro zachycování dat ve viditelné, blízké infračervené a tepelné infračervené oblasti elektromagnetického spektra (Egorov et al, 2019). Bohužel v roce 2003 došlo k poruše hardwaru, ta způsobila ztrátu dat z přístroje pro korektor skenovací linky (SLC), který je zodpovědný za korekci obrazu kvůli zkreslení způsobenému pohybem satelitu. Výsledkem je, že snímky shromážděné po 31. květnu 2003 mají černé pruhy kvůli chybějícím datům. Data shromážděná jinými přístroji na Landsat 7 jsou však stále cenná pro mnoho aplikací a bylo vynaloženo úsilí na kompenzaci selhání SLC při zpracování obrazu (Markham et al, 2004).

3.8.4.8 Mise Landsat 8

Satelitní mise provozovaná NASA a US Geological Survey (USGS), která shromažďuje data zemského povrchu. Program byl spuštěn 11. února 2013 jako nástupce Landsat 7 a funguje dodnes. Landsat 8 nese nástroje Operational Land Imager (OLI) a Thermal Infrared Sensor (TIRS). Přístroj OLI zachycuje data v devíti spektrálních pásmech s prostorovým rozlišením 30 metrů pro viditelné a blízké infračervené pásmo a 15 metrů pro panchromatické pásmo. Přístroj TIRS zachycuje data ve dvou spektrálních pásmech s prostorovým rozlišením 100 metrů pro tepelné infračervené pásmo (Knight et al, 2014). Získaná data se používají pro širokou škálu aplikací, včetně zemědělství, lesnictví, změn ve využívání půdy, urbanizace a hospodaření s vodními zdroji. Jednou z jedinečných vlastností Landsatu 8 je jeho schopnost zachytit data v různých denních dobách a za různých atmosférických podmínek, což z něj činí cenný zdroj pro sledování změn zemského povrchu v průběhu času.

3.8.4.9 Mise Landsat 9

Jedná se o nejnovější satelitní misi v programu Landsat s cílem shromáždit data zemského povrchu. Vypuštěn byl 27. září 2021 jako nástupce Landsat 8 a v provozu bude minimálně pět let. Mise nese dva hlavní přístroje: Operational Land Imager 2 (OLI-2) a Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS-2). Přístroj OLI-2 zachycuje data v devíti spektrálních pásmech s

prostorovým rozlišením 30 metrů pro viditelné a blízké infračervené pásmo a 15 metrů pro panchromatické pásmo, zatímco přístroj TIRS-2 snímá data ve dvou spektrálních pásmech s prostorovým rozlišením 100 metrů pro termální infračervená pásma (Greene, Richmond, 2021). Jednou z jedinečných vlastností Landsatu 9 je jeho schopnost zachytit data vyšší rychlostí než jeho předchůdci, se schopností shromáždit až 780 scén za den. Tato zvýšená rychlost sběru dat umožní častější pozorování zemského povrchu, což umožní vědcům a výzkumníkům blíže sledovat změny v životním prostředí.

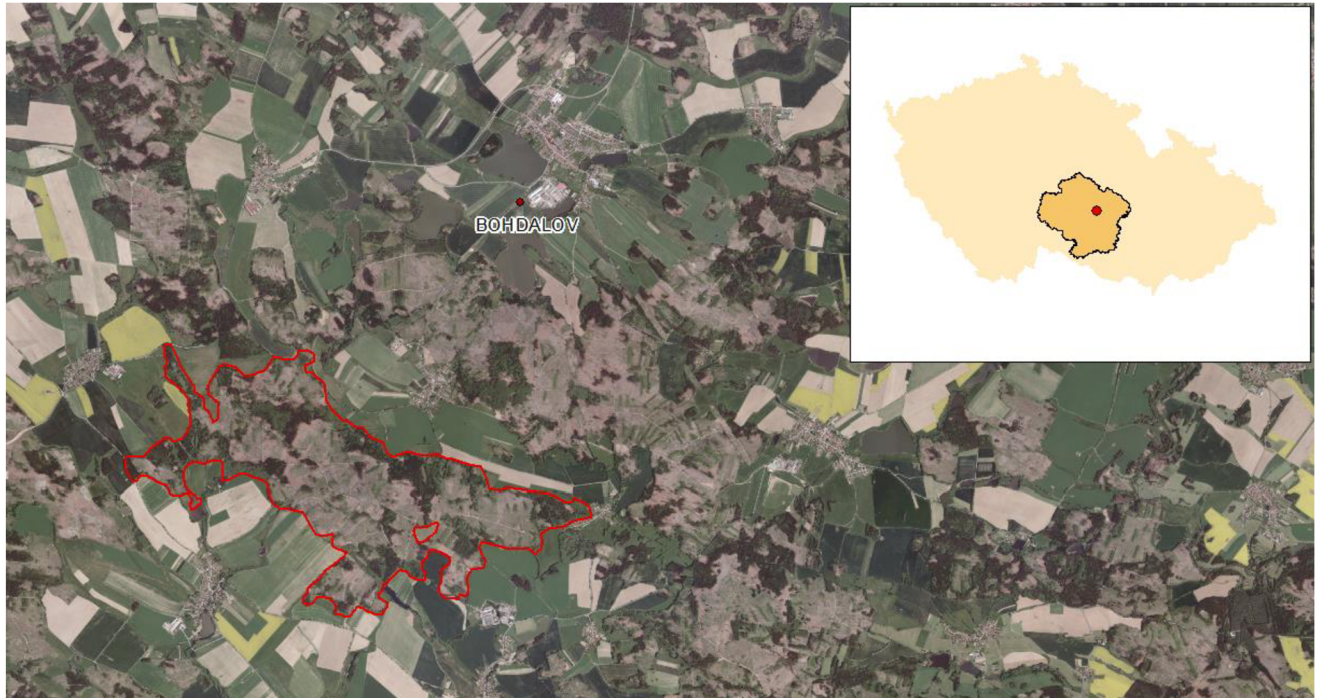
Program bude pokračovat v 50letém dědictví programu Landsat, který poskytl množství dat pro širokou škálu aplikací, včetně územního plánování, řízení přírodních zdrojů, reakce na katastrofy a klimatických studií (Blumberg, 2020). Díky vylepšeným schopnostem a vysoké míře sběru dat bude Landsat 9 v nadcházejících letech důležitým nástrojem pro pochopení a správu zdrojů Země.

3.8.5 Datové produkty Landsat

V současné době je obvyklým poskytovaným datovým formátem Landsat Level - 1. Jedná se o kalibrovaná digitální čísla (DN). Data jsou konzistentní ve zpracování a kvalitě. Jsou vhodná například pro analýzu časových řad. Každý datový produkt datového formátu obsahuje samostatné soubory spektrálních pásem, metadata a další doplňkové soubory (Dwyer et al, 2018).

Dalšími poskytovanými formáty, jsou produkty pro vědecké účely. Těmi jsou formáty Level - 2 a Level – 3. Ty jsou zpracovány tak, aby obsahovaly atmosférické korekce, povrchovou teplotu, povrchovou odrazivost a biofyzikální vlastnosti zemského povrchu. Díky těmto obsáhlým informacím se předpokládá, že tyto produkty v budoucnu nahradí v současné době obvyklý formát Level – 1 (Texeira et al, 2020).

4 CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ

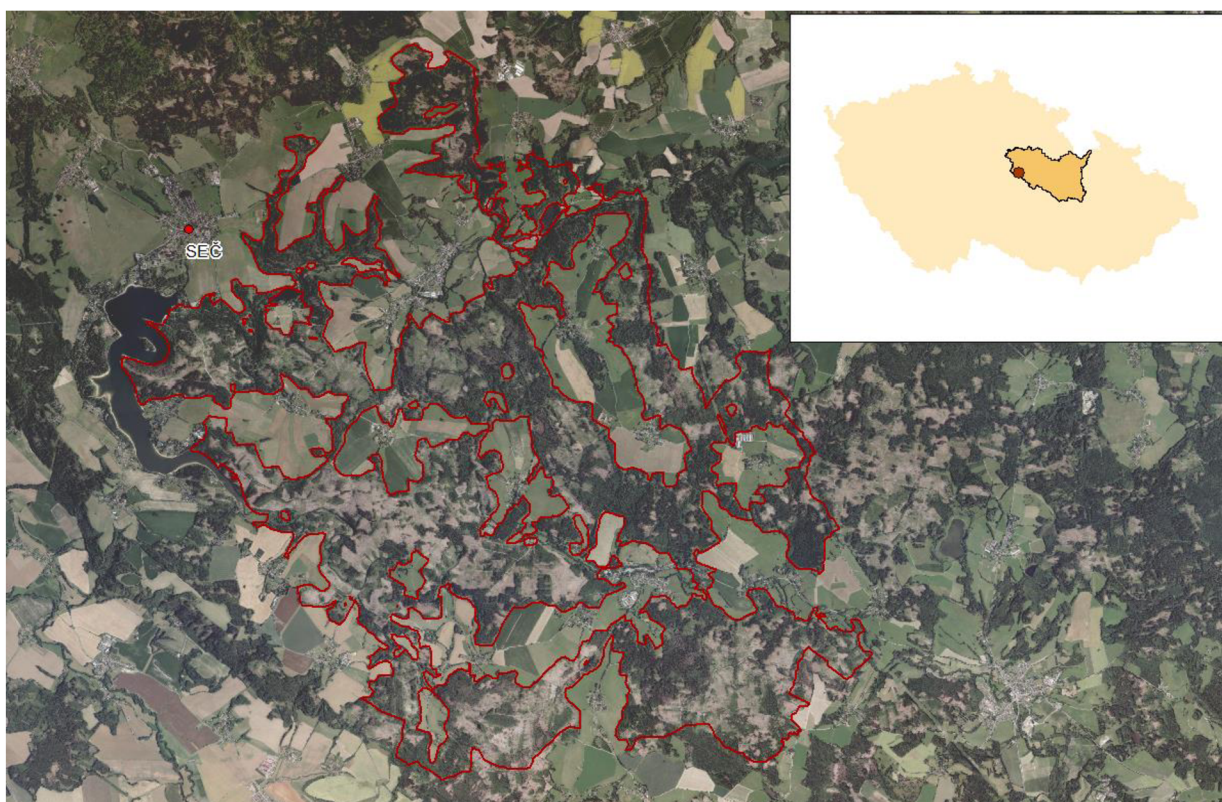


Obrázek 3: Vizualizace zájmového území poblíž městyse Bohdalov

První oblast (viz obrázek) se nachází v kraji Vysočina, okres Žďár nad Sázavou, v okolí městyse Bohdalov. Jedná se o les smíšený nacházející se v nadmořské výšce okolo 500 až 600 m.n.m. Převažují zde smrky, borovice a duby. Les v okolí Bohdalova je vystaven střeoevropskému mírnému klimatu, což ovlivňuje růstové podmínky lesních porostů. Zimy bývají poměrně chladné a sněhové, léta jsou teplá a vlhká (Knotková, 2023). V polesní době dochází k velkému úbytku lesů kvůli intenzivnímu zemědělství a těžbě dřeva z důvodu napadení stromů kůrovcem (viz obrázek 4 a 5).



Obrázek 4 a Obrázek 5: Momentální stav zájmového území poblíž městyse Bohdalov



Obrázek 6: Vizualizace zájmového území poblíž města Seč

Druhá zájmová oblast se nachází v Pardubickém kraji, okrese Chrudim, nedaleko přehrady Seč (viz obrázek). Les zde je smíšený, skládá se z různých druhů stromů, jako jsou borovice, smrky, břízy, dub, lípy a další. Les se rozkládá v kopcovitém terénu ve výšce kolem 500 až 600 m.n.m. Terén zde je tvořen převážně pískovci a jíly. Lesy v okolí Seče jsou důležitou součástí Chráněné krajinné oblasti Železné hory. Lesy v okolí Seče se vyskytují jak s hustým, tak řidším porostem. Zdejší úbytek lesů má na svědomí několik faktorů jako je rozvoj zemědělství, kácení stromů za cílem výstavby obytných oblastí, klimatické změny (Kopecký, 2019). Největším faktorem v posledních letech je, že se lesy v okolí Seče staly terčem kůrovce, což vede k odumírání stromů a snižování rozlohy lesů (viz obrázek 7 a 8).



Obrázek 7 a Obrázek 8: Momentální stav zájmového území poblíž města Seč

5 METODIKA

K vyhodnocení cílů uvedených v úvodu bakalářské práce jsem pracoval v softwaru ArcMap 10.8.2. V práci jsem pracoval s daty krajinného pokryvu, které byly staženy z databáze Corine Land Cover pro rok 2018, databáze Esri Land Cover a družicovými snímky programu Landsat pro rok 2018, 2020 a 2022. Pracoval jsem se zájmovými územími, které byly za poslední 4 roky výrazně napadeny kůrovcem. Vybral jsme si proto zalesněná území v okolí přehrady Seč a vesnice Chroustov. Data byla stažena z období 2018, 2020 a 2022.

5.1 Získání dat

5.1.1 Data z databáze Esri Land Cover

Konkrétní data, která jsou k dispozici v databázi Esri Land Cover, zahrnují různé typy pokrytí země, jako jsou zemědělské plochy, lesy, travnaté plochy, vodní plochy, oblasti městského rozvoje a další. Každá oblast je klasifikována podle kódu, který odpovídá určitému typu pokrytí země. Databáze je poměrně nová, data lze stáhnout v rozmezí od roku 2017 do roku 2022. Tyto data jsou získána družicí Sentinel – 2 a lze je zdarma stáhnout z webové aplikace <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/>.

5.1.2 Data z družice Landsat - 8

K porovnání byly staženy multispektrální snímky z družice Landsat - 8. Program Landsat je pro monitoring vegetačního stavu v rámci časové řady vhodný. Snímky jsou volně dostupné s dostatečným prostorovým rozlišením skrze webovou aplikaci, <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Stáhl jsem snímky ze stejných časových období jako data stažená z databáze Esri Land Cover. Snímky jsou uloženy v archivu Landsat Collection 2 US Level – 1. Datové produkty úrovně 1 se skládají z kalibrovaných, geolokovaných a ortorektifikovaných snímků. Jsou zpracovány tak, aby korigovaly deformace způsobené rotací Země a oběžnou dráhou, stejně jako atmosférické efekty, jako je opar a mraky. Pro co nejlepší výsledky jsem se snažil vybrat snímky s co nejmenší oblačností a snímky pořízené ve stejný měsíc.

5.1.3 Data z databáze Corine Land Cover

Pracoval jsem i s daty od Evropské agentury pro životní prostředí (EEA), která spolupracuje s členskými státy Evropské unie. Nevýhodou těchto dat je, že poslední možné jsou z roku 2018. Rozhodl jsem se, že tyto data využiji jako doplňková a porovnáám je jen se snímky Landsat – 8 a daty z databáze Esri Land Cover pro rok 2018. Stejně jako u zmíněných dat jsou i tyto volně přístupné, lze je stáhnout na webové aplikaci <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.

5.2 Zpracování dat

5.2.1 Esri Land Cover

Vstupní stažená data za jednotlivá období z portálu Esri Sentinel – 2 Land Cover Explorer. Ty byla následně v softwaru ArcMap 10.8.2 společně se zájmovým územím, které bylo ve vektorovém formátu Shapefile. Stažená rastrová grafická data ve formátu TIFF byla pro lepší manipulaci oříznuta o vektorovou vrstvu zájmového území pomocí funkce Clip. Ta umožňuje extrahovat podmnožiny dat z větší datové sady na základě zadané hranice zájmového území. Vše bylo prováděno v souřadnicovém systému WGS – 1984. Po dokončení operace funkce Clip vznikla nová vrstva obsahující oříznutá data. Následně byla vrstva podrobena reklasifikaci. To je proces změny hodnot rastrových dat. Používá se v k přiřazení nových hodnot k rastru na základě zadané sady pravidel nebo kritérií. Tento proces lze použít ke zjednodušení dat a jejich přijatelnosti pro konkrétní analýzu nebo zobrazení.

Výsledné hodnoty byly popsány dle reprezentovaného krajinného pokryvu a byly k nim přiřazeny vhodné barevné označení dle legendy dohledatelné na prohlížeči Esri Sentinel – 2 Land Cover Explorer. Nakonec bylo nutno vypočítat jednotlivé zastoupení vrstev krajinného pokryvu na zájmovém území v jednotkách ha. K tomu se došlo pomocí funkce Field Calculator v atributové tabulce dané vrstvy zájmové oblasti. V atributové tabulce se vzala hodnota Count, která reprezentuje počet objektů na mapě pro danou třídu, vynásobila se o velikost pixelu dané vrstvy (100 m * 100 m) a následně byla hodnota vydělena sumou 10 000 m² (1 Ha).

5.2.2 Landsat 8/9

Z portálu Earthexplorer (usgs.gov) byly staženy družicové snímky za určitá období v úrovni zpracování Landsat collection 2, level 1, Landsat 8–9 OLI/TIRS C2 L1, Cloud cover range 0-30 %. Pro následný pre-processing a zpracování byl použit software ArcMap 10.8.3. Ze stažených dat byly využity panchromatická pásma (Band) 1 až 7. Tyto pásma byly sjednoceny dohromady pomocí nástroje Composite Bands k vytvoření sjednoceného výstupu ve falešných barvách, které mohou pomoci identifikovat různé typy krajinného pokryvu a využití půdy.

Výstup byl oříznut o vektorovou vrstvu zájmového území pomocí techniky prostorové analýzy Extract by Mask. Dalším krokem byla klasifikace snímku skrze přiřazování kategorií krajinného pokryvu nebo využití území k pixelům/objektům na vytvořeném výstupu. Toho se dosáhlo použitím nástroje Training Sample Manager, ke každému druhu krajinného pokryvu bylo z výstupu přiřazeno deset vzorků. Následně byla použita statistická metoda, pro přiřazení každého pixelu jedné z několika předdefinovaných tříd. Algoritmus Maximum Likelihood Classification vypočítal pravděpodobnost, že pixel spadá do každé z předdefinovaných tříd na základě spektrálních charakteristik pixelu, a poté pixel přiřadil do třídy s nejvyšší pravděpodobností. Algoritmus používá střední vektor a kovarianční matici pro každou třídu k výpočtu pravděpodobnosti, že daný pixel přísluší do této třídy (Richman, 2016). Výsledný rastr reprezentující jednotlivé kategorie krajinného pokryvu byl transformován na polygonovou vrstvu pomocí Konverzního nástroje Raster to Polygon. Posledním krokem byl výpočet geometrií, tedy zastoupení jednotlivých kategorií krajinného pokryvu v ha.

5.2.3 CORINE Land Cover

Pro rok 2018 byla stažena data z portálu Land Copernicus v rastrovém formátu GeoTIFF. K docílení mapového výstupu byl použit jako u předešlých mapových výstupů ze zmíněných databází software ArcMap 10.8.3. Vstupní data byla oříznuta pomocí nástroje Clip o vektorovou vrstvu zájmového území. Vše bylo prováděno ve stejném souřadnicovém systému. Následně byla ke každé z kategorií krajinného pokryvu přiřazena reprezentativní barva podle hodnoty VALUE. Pokryv, který jednotlivé hodnoty reprezentují lze zjistit z tabulky č. X. Tyto hodnoty jsou volně dohledatelné a zpřístupněné na stránkách Land Copernicus. Nakonec se vypočítaly jednotlivé zastoupení kategorií krajinného pokryvu na zájmovém území

v jednotkách ha. K výsledkům se došlo pomocí funkce Field Calculator v atributové tabulce dané vrstvy zájmové oblasti. V atributové tabulce se vzala hodnota Count, vynásobila se o velikost pixelu dané datové vrstvy (100 m * 100 m) a následně byla vydělena hodnotou o velikosti 10 000 m² (1 Ha).

Value	Color	Code	Label	Value	Color	Code	Label	Value	Color	Code	Label
1	#e6004d	111	Continuous	16	#f2a64d	222	Fruit trees and berry	31	#cccccc	332	Bare rocks
2	#ff0000	112	Discontinuous	17	#e6a600	223	Olive groves	32	#ccffcc	333	Sparsely vegetated
3	#cc4df2	121	Industrial or	18	#e6e64d	231	Pastures	33	#000000	334	Burnt areas
4	#cc0000	122	Road and rail	19	#ffe6a6	241	Annual crops	34	#a6e6cc	335	Glaciers and
5	#e6cccc	123	Port areas	20	#ffe64d	242	Complex cultivation	35	#a6a6ff	411	Inland marshes
6	#e6cce6	124	Airports	21	#e6cc4d	243	Land principally	36	#4d4dff	412	Peat bogs
7	#a600cc	131	Mineral	22	#f2cca6	244	Agro-forestry areas	37	#ccccff	421	Salt marshes
8	#a64d00	132	Dump sites	23	#80ff00	311	Broad-leaved forest	38	#e6e6ff	422	Salines
9	#ff4dff	133	Construction	24	#00a600	312	Coniferous forest	39	#a6a6e6	423	Intertidal flats
10	#ffa6ff	141	Green urban	25	#4dff00	313	Mixed forest	40	#00ccf2	511	Water courses
11	#ffe6ff	142	Sport and	26	#ccf24d	321	Natural grasslands	41	#80f2e6	512	Water bodies
12	#ffffa8	211	Non-irrigated	27	#a6ff80	322	Moors and	42	#00ffa6	521	Coastal lagoons
13	#ffff00	212	Permanently	28	#a6e64d	323	Sclerophyllous	43	#a6ffe6	522	Estuaries
14	#e6e600	213	Rice fields	29	#a6f200	324	Transitional	44	#e6f2ff	523	Sea and ocean
15	#e68000	221	Vineyards	30	#e6e6e6	331	Beaches - dunes -	48	#ffffff	999	NODATA

Tabulka 1: Rozpis kódů jednotlivých druhů krajinného pokryvu z databáze CORINE Land Cover, stažené z atributové tabulky, otevřené v softwaru ArcGIS Desktop

6 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V současné době se napadení lesů kůrovcem řadí jako jedna z prioritních oblastí ochrany přírody. Kůrovec je brouk, který se živí borkou stromů a může způsobit významné škody na lesních porostech, zejména v oblastech, kde jsou lesy oslabeny suchem, větrem, kůrovcovou kalamitou nebo jinými faktory.

V posledních letech je situace v České republice velmi vážná. Už v roce 2018 bylo v rámci kůrovcové kalamity napadených téměř 2,5 milionu kubíků dřeva, což je nejvíce za posledních 30 let. V současné době se v České republice intenzivně provádí kůrovcová kalamita a probíhají rozsáhlé kácení napadených stromů. Současně se také věnuje pozornost prevenci a ochraně lesů před kůrovcem, například výsadbou méně náchylných druhů stromů, vodohospodářskými opatřeními nebo monitorováním lesů (Zahradník et al, 2019).

Jednou z možností monitorování lesů je pomocí dat z databáze ESRI Land Cover Sentinel – 2, ta obsahuje informace o typu a pokryvu povrchu v různých oblastech. Využití

ESRI Land Cover pro monitorování výskytu kůrovce by spočívalo v analýze změn v lesním pokryvu v čase. Pokud by bylo zaznamenáno zvýšení počtu mrtvých stromů, což je jeden z příznaků kůrovcové kalamity, mohlo by to být způsobeno napadením kůrovcem. Dále by bylo možné použít ESRI Land Cover ke sledování rozsahu kůrovcové kalamity v určité oblasti. Pokud by bylo zaznamenáno zvýšení počtu mrtvých stromů v určitém období a v určité oblasti, mohlo by to naznačovat rozsáhlé napadení kůrovcem (Venter et al, 2022).

Je však důležité poznamenat, že ESRI Land Cover není určen speciálně k monitorování kůrovce, a proto by bylo třeba kombinovat tuto databázi s dalšími zdroji dat, jako jsou například letecké snímky Landsat 8 a 9, terénní průzkumy a další technologie, aby bylo možné získat co nejpřesnější informace o výskytu kůrovce v dané oblasti.

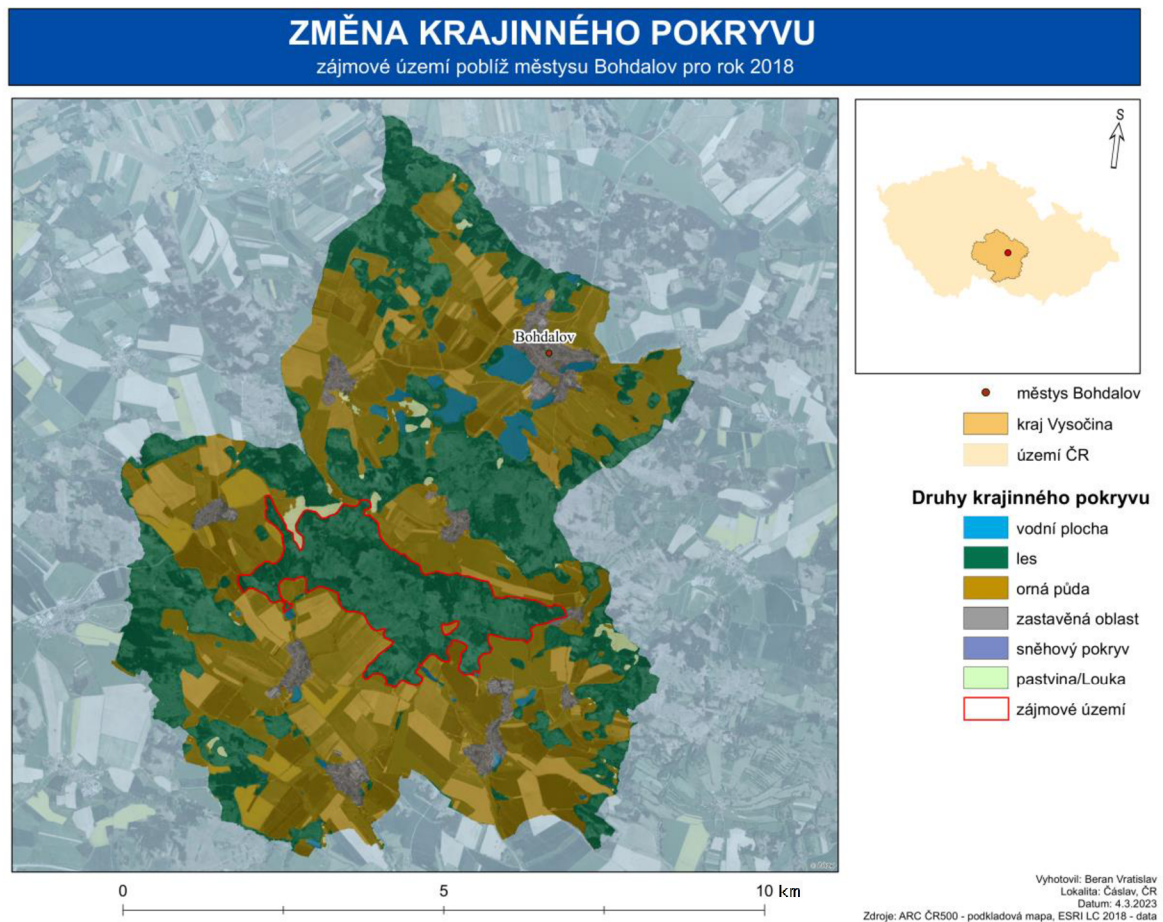
7 VÝSLEDKY

V této kapitole jsou porovnány mapové výstupy z odlišných vstupních dat za jednotlivá časová období. Mapové výstupy jsou doplněny o tabulku reprezentující jednotlivé zastoupení kategorií krajinného pokryvu zájmového území.

7.1 Zájmového území poblíž městysu Bohdalov z databáze Esri Land Cover – Sentinel 2

Na mapovém výstupu (viz obrázek 9) je vyobrazené zájmové území a jeho okolí pro rok 2018. Reprezentuje dané zájmové území před kůrovcovou kalamitou a dalšími faktory, které změnily charakteristiku krajinného pokryvu pro následovné období. Díky rozlišení 10 m vstupních dat vznikl pomocí nástrojů softwaru ArcGIS Desktop kvalitní mapový výstup reprezentující kategorie krajinného pokryvu. Ty jsou vyjádřeny přiřazenými barvami, zájmové území je doplněno o plošné hodnoty (viz tabulka 2) vyjadřující zastoupení jednotlivých

krajinných kategorií v plošných jednotkách ha. V roce 2018 bylo zájmové území o velikosti 554.76 ha pokryto lesy.

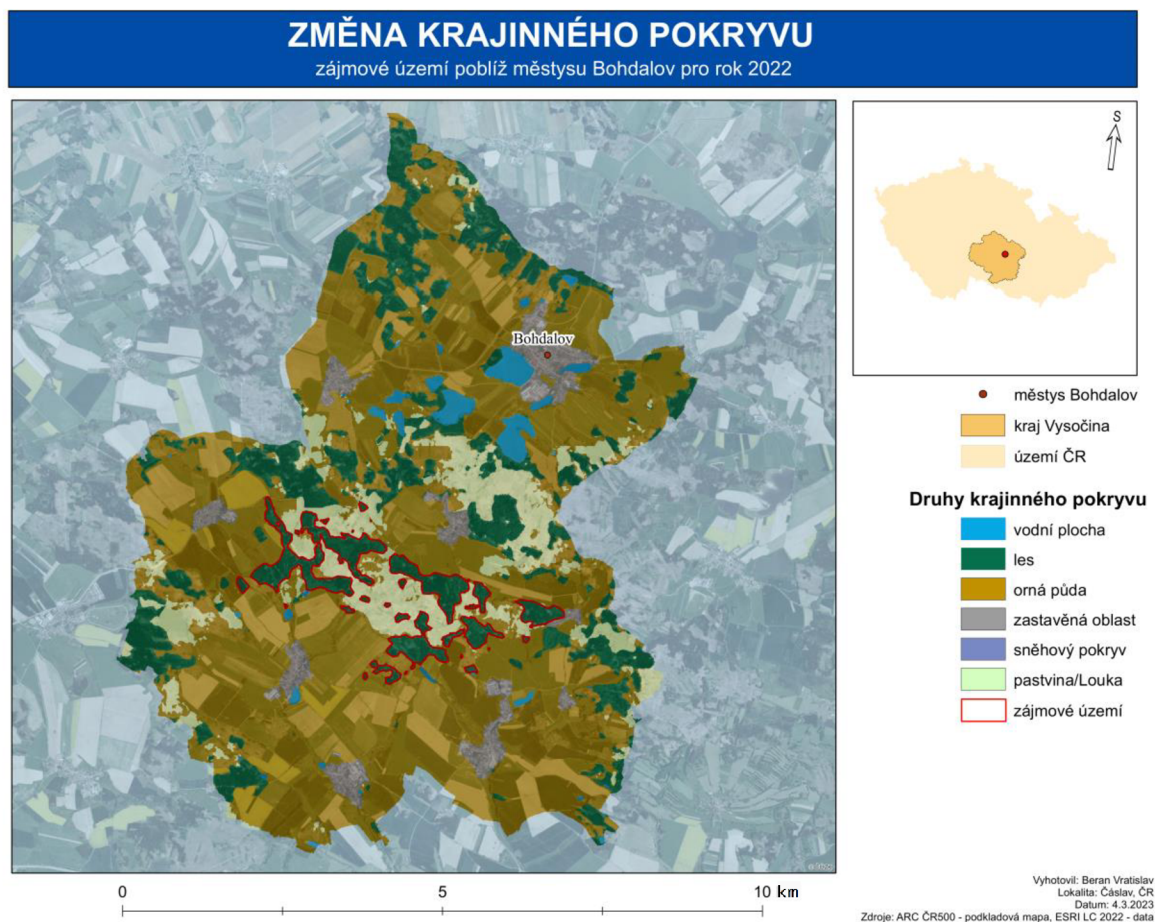


Obrázek 9: Mapový výstup zájmového území ze vstupních dat ESRI LC pro rok 2018 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněhový pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	0	554,76	0	0	0	0	554,76

Tabulka 2: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat ESRI LC pro rok 2018

Na mapovém výstupu (viz obrázek 11) je vyobrazena zájmová oblast za období 2022. Ta byla zasažena další vlnou kůrovcové kalamity, suchem a silnými větry. Oproti roku 2018 je rozloha lesa v zájmovém území více jak poloviční (viz tabulka 4), les je rozprostřen na 235,74 ha. Zbytek území je zastoupen ze 190,86 ha pastvinami či loukami a ze 128,07 ha ornou půdou.



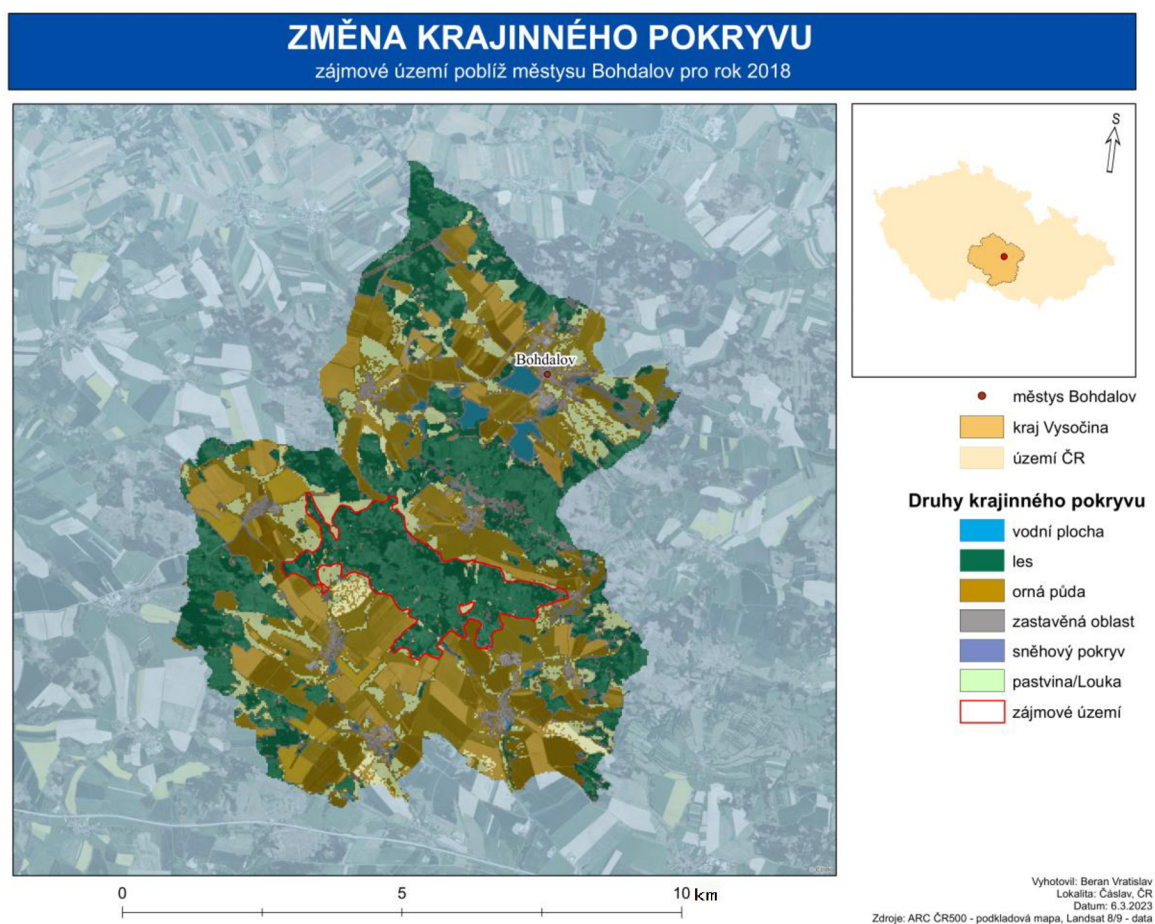
Obrázek 11: Mapový výstup zájmového území ze vstupních dat ESRI LC pro rok 2022 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněžný pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	0	235,74	128,07	0	0	190,86	554,67

Tabulka 4: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území dat ESRI LC pro rok 2022

7.2 Zájmového území poblíž městyso Bohdalov z databáze snímků Landsat 8 a 9

Na mapovém výstupu (viz obrázek 12) jsou vyobrazeny druhy krajinného pokryvu rok 2018 ze vstupních dat Landsat 8. Výsledné hodnoty se neshodují s výslednými daty z databáze ESRI Land Cover – Sentinel 2. Kvůli horšímu rozlišení dat (30 m) nebyly některé z pixelů správně klasifikovány. Zájmové území se skládá (viz tabulka 5) z 433 ha lesní plochy, 17 ha vodních ploch, 80 ha orné půdy a 22 ha pastvin.

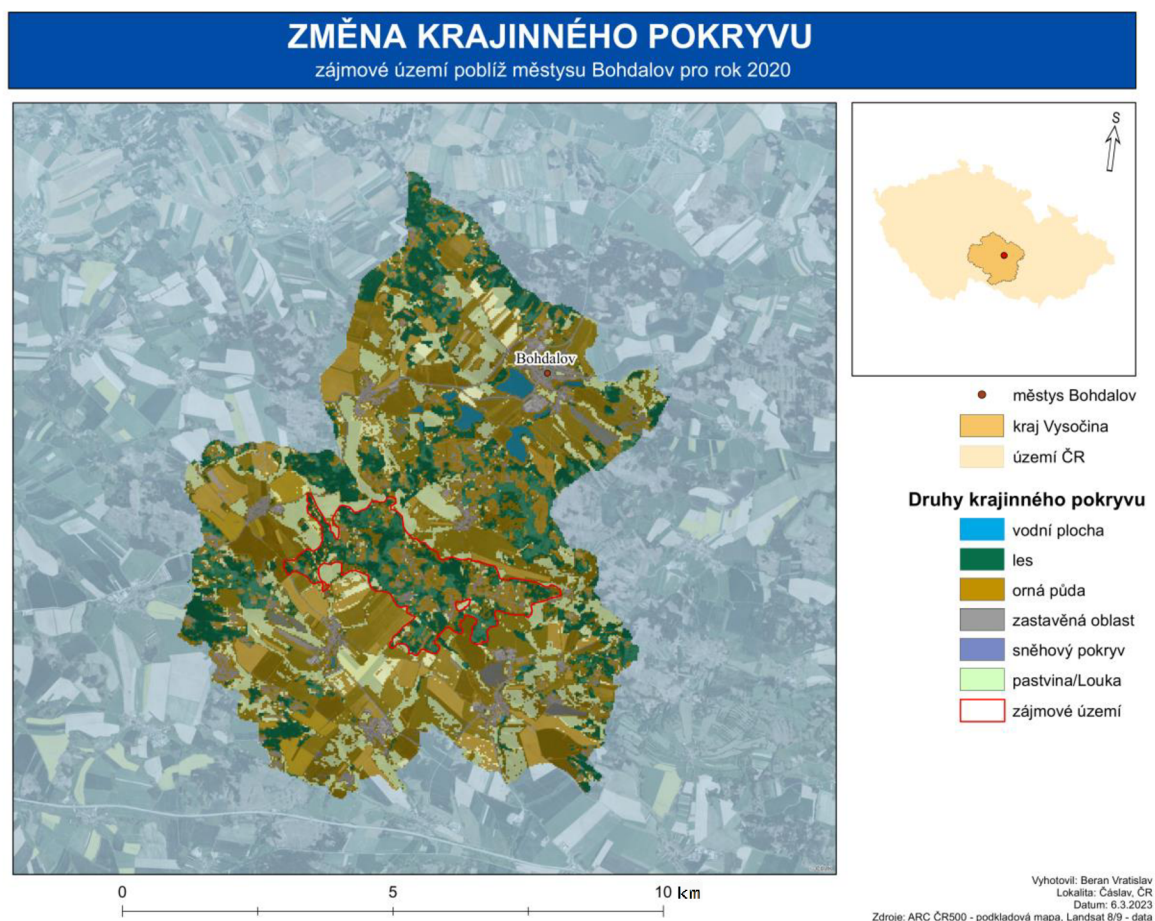


Obrázek 12: Mapový výstup zájmového území z dat LS-8 pro rok 2018 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněžný pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	17	433	80	0	0	22	552

Tabulka 5: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové ze vstupních dat LS-8 pro rok 2018

Na následném mapovém výstupu (viz obrázek 13) došlo k úbytku vodních ploch a orné půdy, naopak přibylo o 22,68 ha pastvin (viz tabulka 6). Lesy pokrývají 435,16 ha zájmového území. K úbytku vodních ploch došlo lepší klasifikací jednotlivých pixelů snímku, ale i přesto se výsledky neshodují s daty pro rok 2020 z databáze ESRI Land Cover – Sentinel 2.

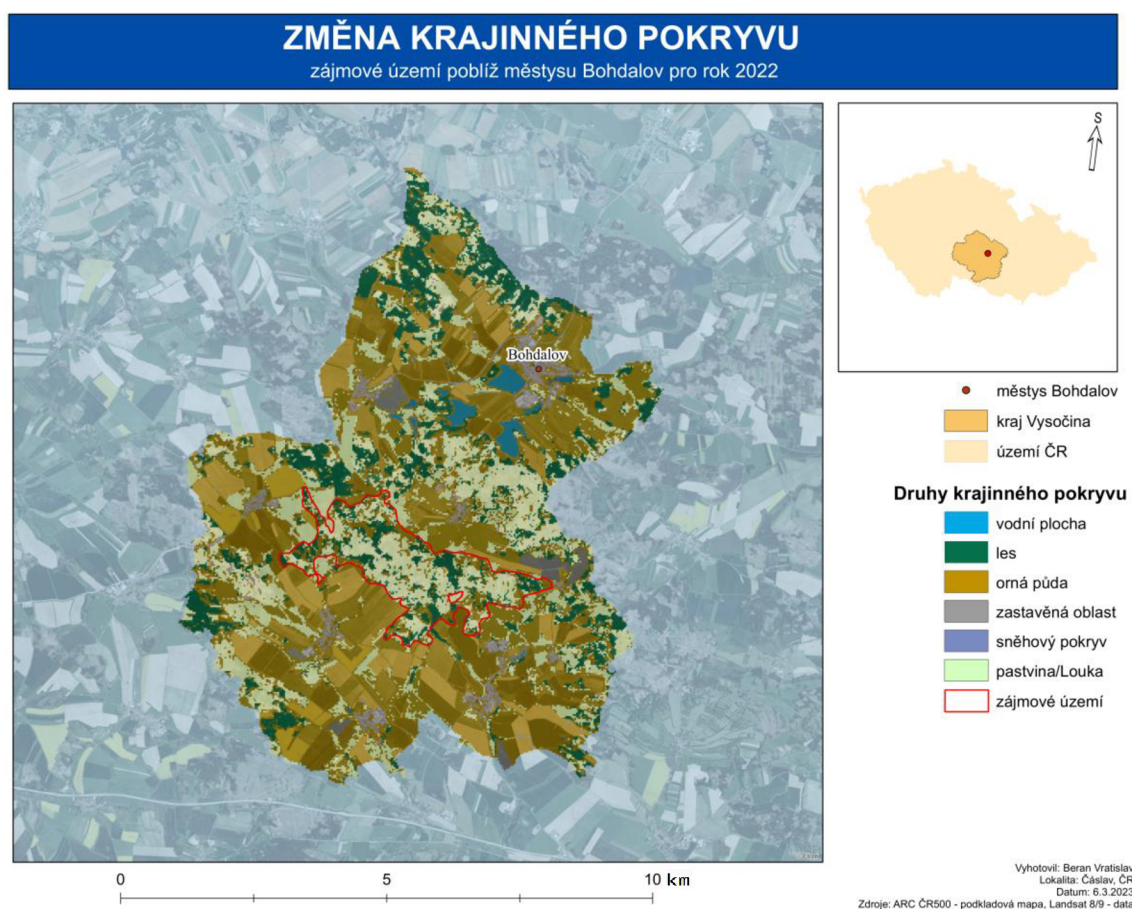


Obrázek 13: Mapový výstup zájmového území ze vstupních dat LS-8 pro rok 2020 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněžný pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	0	435,16	73,89	0	0	42,68	551,73

Tabulka 6: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat LS-8 pro rok 2020

Ze stažených snímků databáze Landsat 9 z roku 2022, byl vytvořen mapový výstup zájmové oblasti poblíž městyso Bohdalov (viz obrázek 14). Z výstupu lze poznat, že došlo k velké změně krajinného pokryvu, ale hodnoty (viz tabulka 7) jeho kategorií se opět neztotožňují s výstupem z databáze ESRI Land Cover – Sentinel 2 (viz obrázek). Nedošlo ke správné klasifikaci pixelů. Zájmové území je zastoupeno z 267,39 ha pastvinami či loukami, 150,03 ha ornou půdou a 138,06 ha lesy.



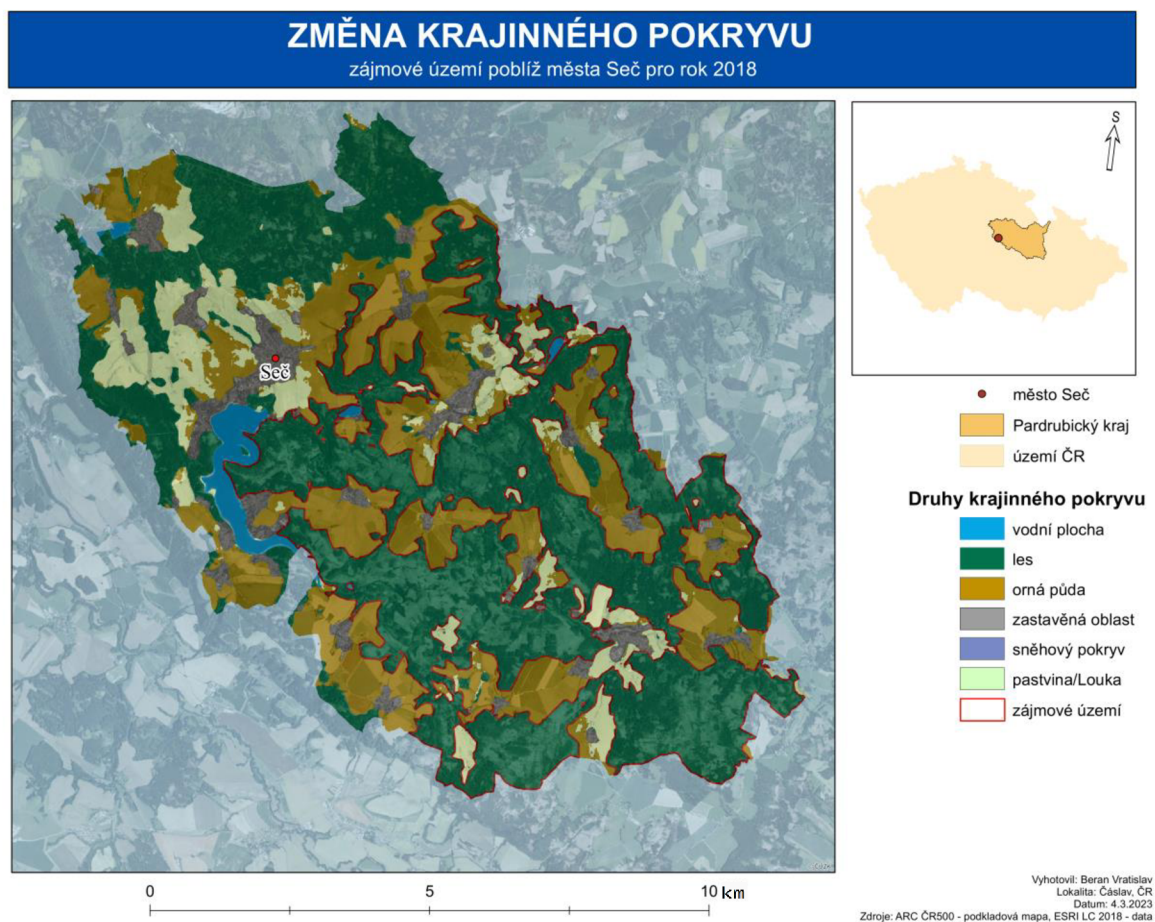
Obrázek 14: Mapový výstup zájmového území ze vstupních dat LS-9 pro rok 2022 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněžný pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	0	138,06	150,03	0,99	0	267,39	556,47

Tabulka 7: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat LS-9 pro rok 2022

7.3 Zájmového území poblíž města Seč z databáze Esri Land Cover – Sentinel 2

Na mapovém výstupu (viz obrázek 15) je reprezentováno dané zájmové území před kůrovcovou kalamitou a dalšími faktory. Druhy krajinného pokryvu jsou vyjádřeny přiřazenými barvami, zájmové území je doplněno o plošné hodnoty (viz tabulka 8) vyjadřující zastoupení jednotlivých krajinných kategorií v plošných jednotkách ha. V roce 2018 bylo zájmové území o velikosti 3596,87 ha pokryto lesy.

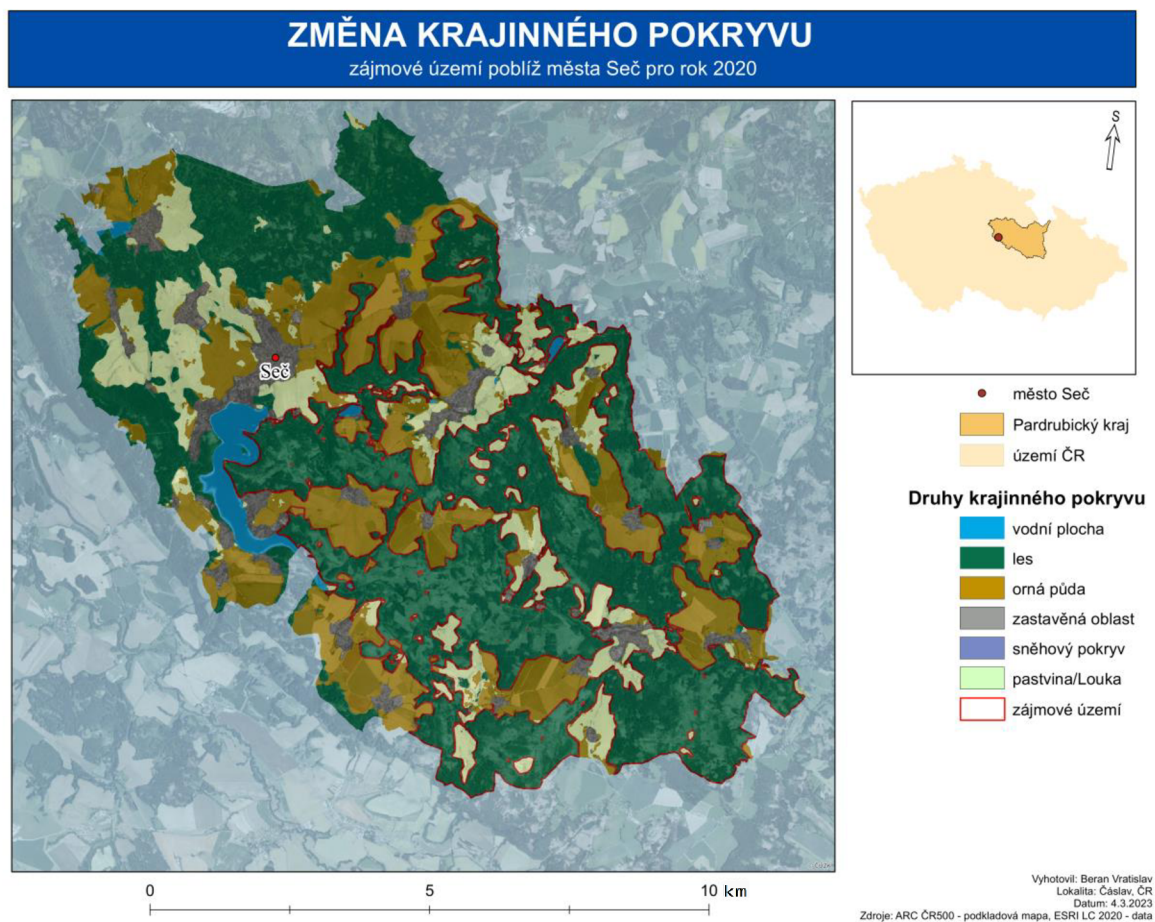


Obrázek 15: Mapový výstup zájmového území dat ESRI LC pro rok 2018 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněhový pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	0	3596,87	0	0	0	0	3596,87

Tabulka 8: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat ESRI LC pro rok 2018

Mapový výstup popisuje vystavení dané zájmové oblasti kůrovcové kalamitě (viz obrázek 16). Ta k roku 2020 poznamenala území o rozloze 139,59 ha. Část ze zasažené oblasti se začala využívat pro zemědělské účely, konkrétně (viz tabulka 9) 57,64 ha jako orná půda a 73,71 jako louky či pastviny a část o velikosti 8,24 ha byla zastavěná. Les pokrýval 3457,22 ha zájmového území.

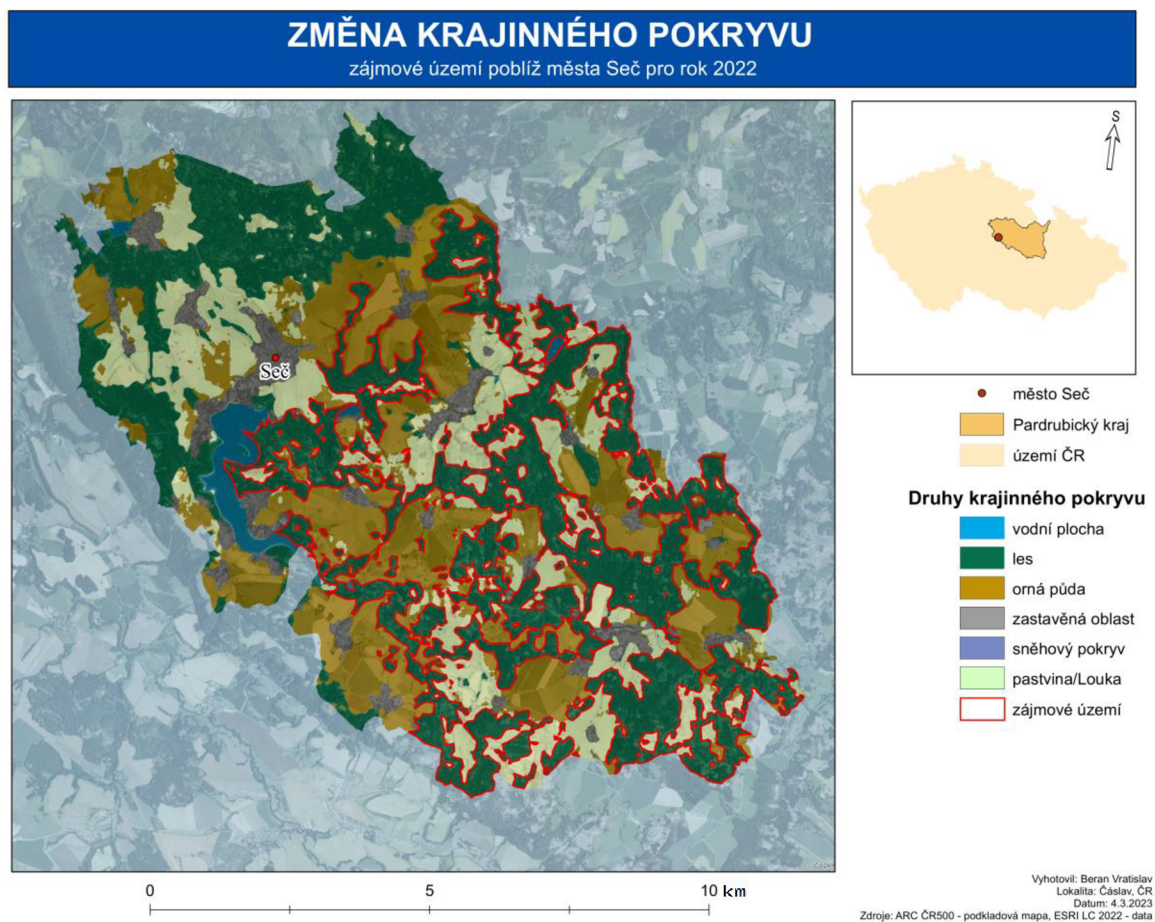


Obrázek 16: Mapový výstup zájmového území ze vstupních dat ESRI LC pro rok 2020 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněhový pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	0	3457,22	57,64	8,24	0	73,71	3596,81

Tabulka 9: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat ESRI LC pro rok 2020

Na mapovém výstupu (viz obrázek 17) je vyobrazena zájmová oblast za období 2022. Ta byla zasažena velkou vlnou kůrovcové kalamity. Oproti roku 2018 je rozloha lesa v zájmovém území o 944,87 ha menší (viz tabulka 10), pokrývá 2650 ha zájmového území. Zbytek území je zastoupen ze 480 ha pastvinami či loukami, 449 ha ornou půdou a třemi ha vodních ploch.



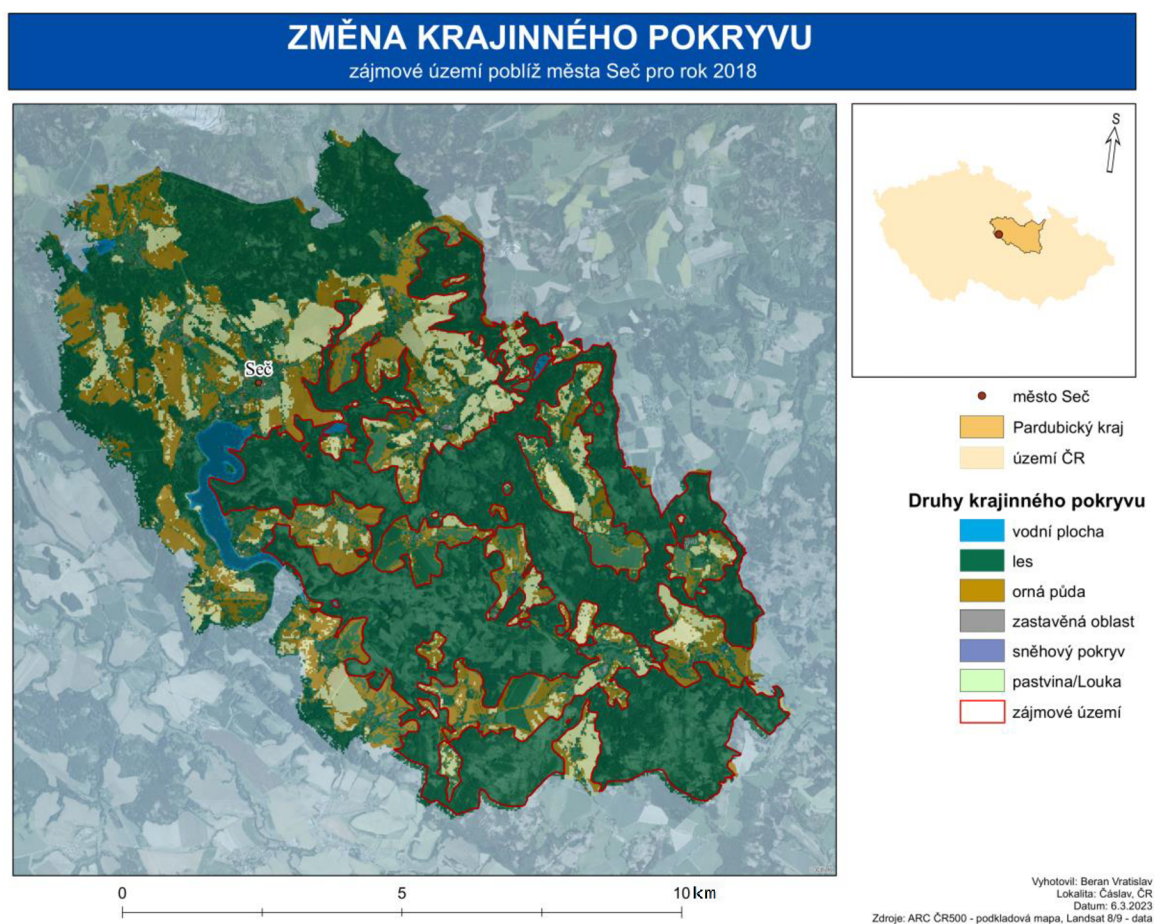
Obrázek 17: Mapový výstup zájmového území ze vstupních dat ESRI LC pro rok 2022 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněhový pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	3	2650	449	14	0	480	3596

Tabulka 10: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat ESRI LC pro rok 2022

7.4 Výstupy zájmového území poblíž města Seč z databáze snímků Landsat 8 a 9

Z podkladových dat z databáze snímků Landsat 8 byl vyhotoven prostřednictvím softwaru ArcGIS Desktop mapový výstup (viz obrázek 18). Z důvodu použití vstupních dat s horším rozlišením (30 m) oproti datům z databáze ESRI Land Cover – Sentinel 2 nebyly některé z pixelů správně klasifikovány. Zájmové území se skládá (viz tabulka 11) z 3299,63 ha lesní plochy, 161,53 ha zastavěné oblasti a 138,64 ha pastvin.

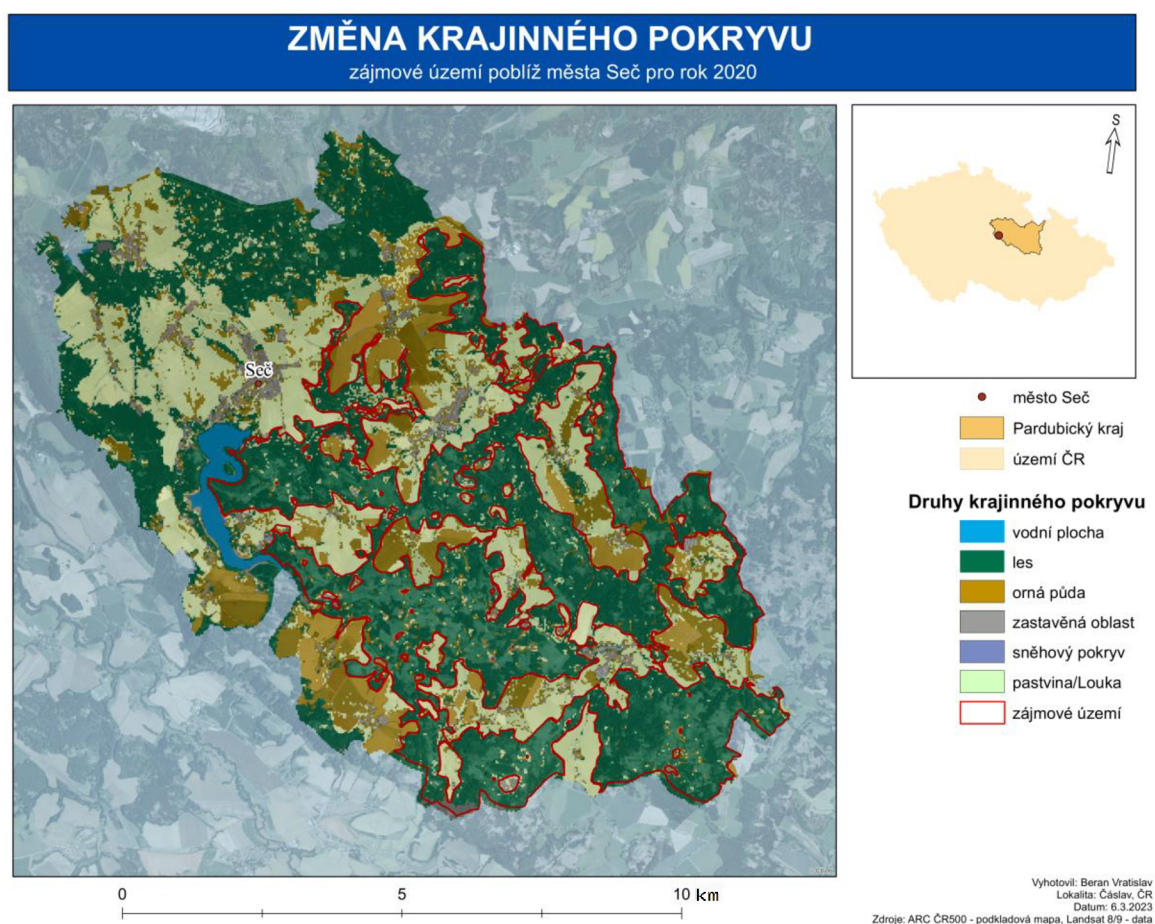


Obrázek 18: Mapový výstup zájmového území ze vstupních dat LS-8 pro rok 2018 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněhový pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	0	3299,63	0	161,53	0	138,64	3599,8

Tabulka 11: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat LS-8 pro rok 2018

Ze zpracování vstupních dat Landsat 8 z roku 2020 vznikl mapový výstup (viz obrázek 19), na kterém došlo k úbytku plochy lesa a zastavěné oblasti, naopak přibylo o 269,21 ha pastvin (viz tabulka 12). Lesy pokrývají 2972,78 ha zájmového území, 299,07 pokrývají pastviny a 52,83 zastavěná oblast. K úbytku zastavěné oblasti došlo lepší klasifikací jednotlivých pixelů snímku, ale i přesto se výsledky neshodují s daty pro rok 2020 z databáze ESRI Land Cover – Sentinel 2.

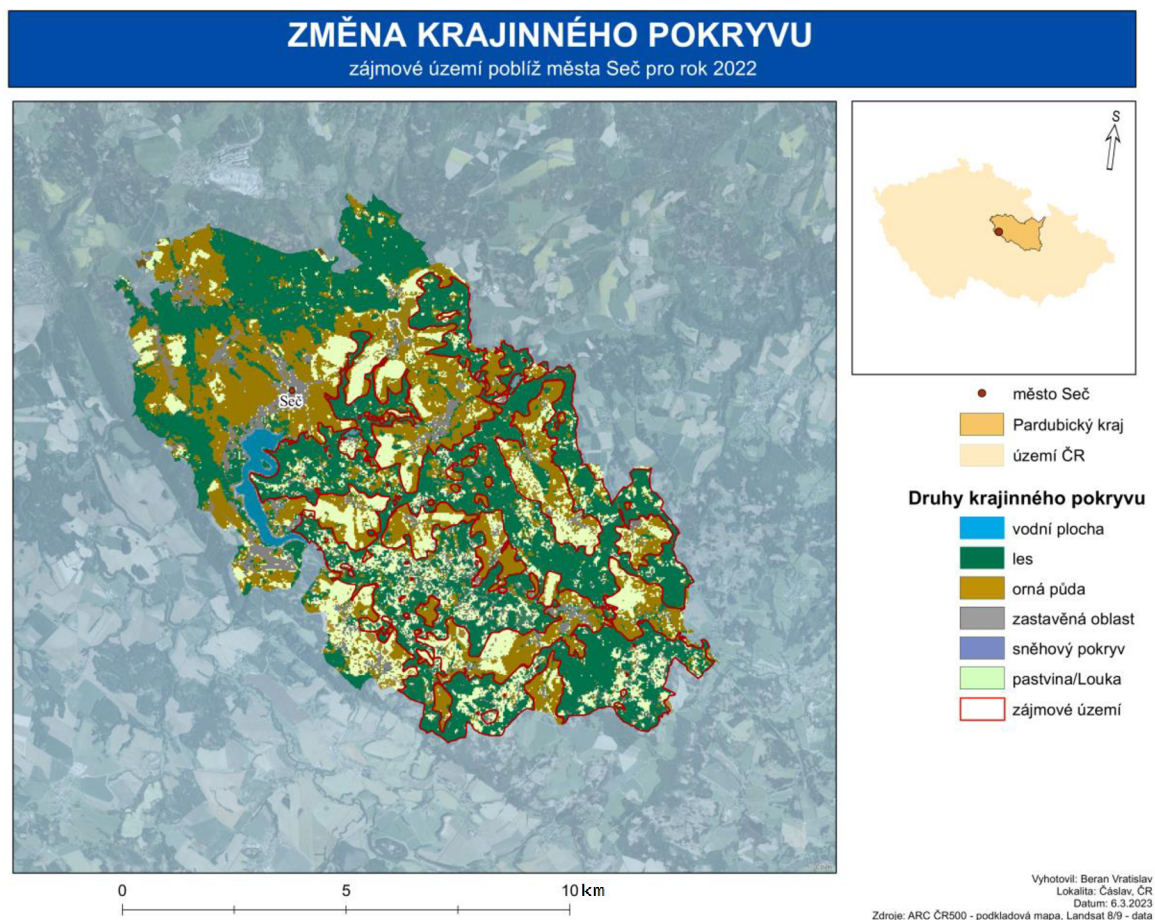


Obrázek 19: Mapový výstup zájmového území ze vstupních dat LS-8 pro rok 2020 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněžný pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	0	2972,78	269,21	52,83	0	299,07	3593,89

Tabulka 12: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat LS-8 pro rok 2020

Na mapovém výstupu (viz obrázek 20) jsou vyobrazeny druhy krajinného pokryvu pro rok 2022 ze vstupních dat Landsat 9. Kvůli horšímu rozlišení dat (30 m) nebyly některé z pixelů správně klasifikovány a výsledné hodnoty (viz tabulka 13) se neztotožňují a výsledky databáze Esri Land Cover – Sentinel 2. Zájmové území se skládá z 2513,97 ha lesní plochy, 1011,24 ha orné půdy a 74,61 ha pastvin.

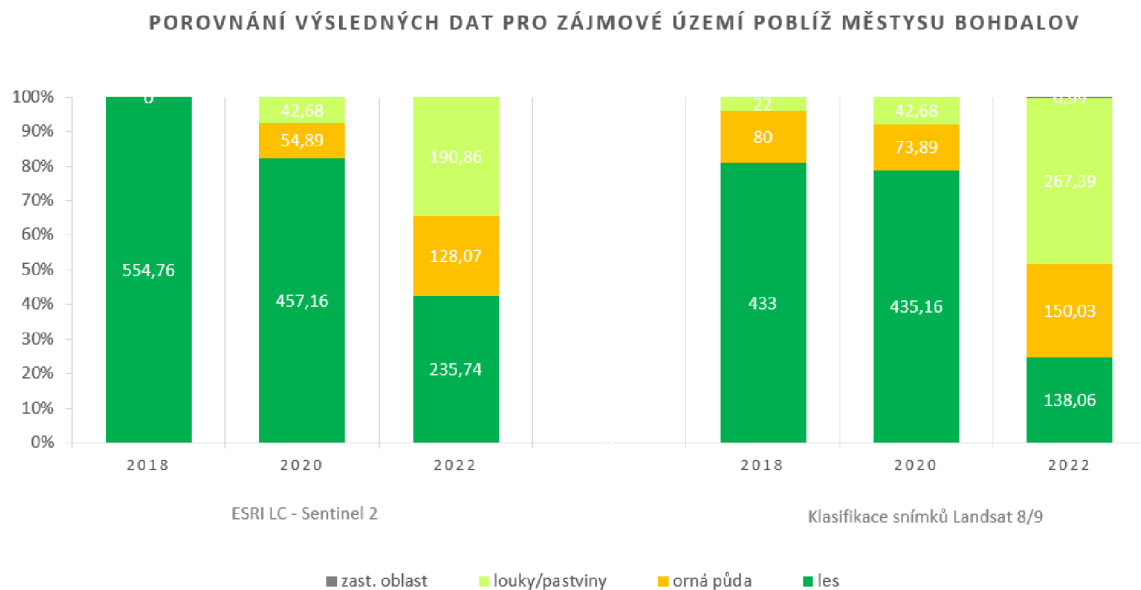


Obrázek 20: Mapový výstup zájmového území ze vstupních dat LS-9 pro rok 2022 v softwaru ArcGIS Desktop

Kategorie krajinného pokryvu	Vodní plocha	Les	Orná půda	Zastavěná oblast	Sněžný pokryv	Pastvina/Louka	Celkem
Zastoupení v ha	0	2513,97	1011,24	0	0	74,61	3599,82

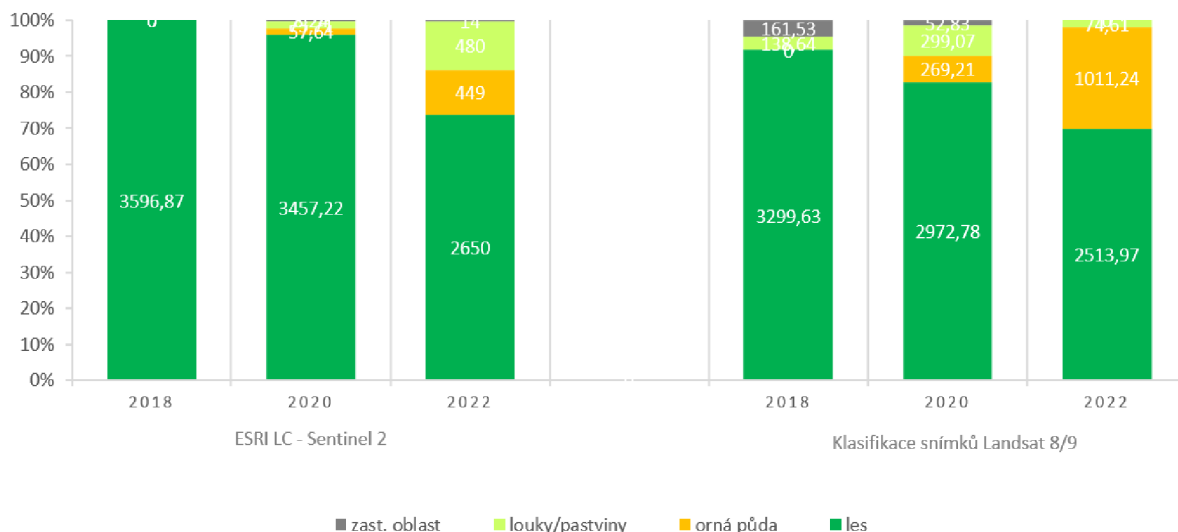
Tabulka 13: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat LS-9 pro rok 2022

Výsledné hodnoty zájmových území z databází ESRI Land Cover – Sentinel 2 a snímků Landsat 8/9 byly mezi sebou porovnány a vyjádřeny formou grafů (viz graf 1 a graf 2). Na prvním grafu, který popisuje zastoupení jednotlivých kategorií krajinného pokryvu zájmové oblasti poblíž městyso Bohdalov si lze všimnout, že data ze snímků Landsat 8/9 se neztotožňují s daty ESRI LC – Sentinel 2. Na grafu 1 je vidno, že nesedí počáteční souhrn krajinného pokryvu lesa pro rok 2018 u zájmového území. To může být způsobené spektrální signaturou některých tříd. Jsou si tak příliš podobné a mohou vést k nesprávné klasifikaci. Další možností je nepřesnost způsobená rozlišením. Landsat 8/9 poskytuje data s rozlišením pixelů o velikosti 30 metrů, což může vést k nesprávné klasifikaci objektů, které jsou menší než tento pixelový rozměr. Stejně chyby ovlivnily výsledky pro další dvě studované období. Tyto stejné nepřesnosti lze vyvodit i z grafu 2, který popisuje zájmové území poblíž města Seč.



Graf 1: Grafické znázornění krajinného pokryvu pro zájmové území poblíž městyso Bohdalov

POROVNÁNÍ VÝSLEDNÝCH DAT PRO ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ POBLÍŽ MĚSTA SEČ



Graf 2: Grafické znázornění krajinného pokryvu pro zájmové území poblíž městysu Bohdalov

Pro rok 2018 byla stažena data z databáze CORINE Land Cover. Po zpracování dat byly výsledné hodnoty krajinného pokryvu zapsány do tabulky (viz tabulka 14) a znázorněny formou grafu (viz graf 3) pro obě zájmové území.

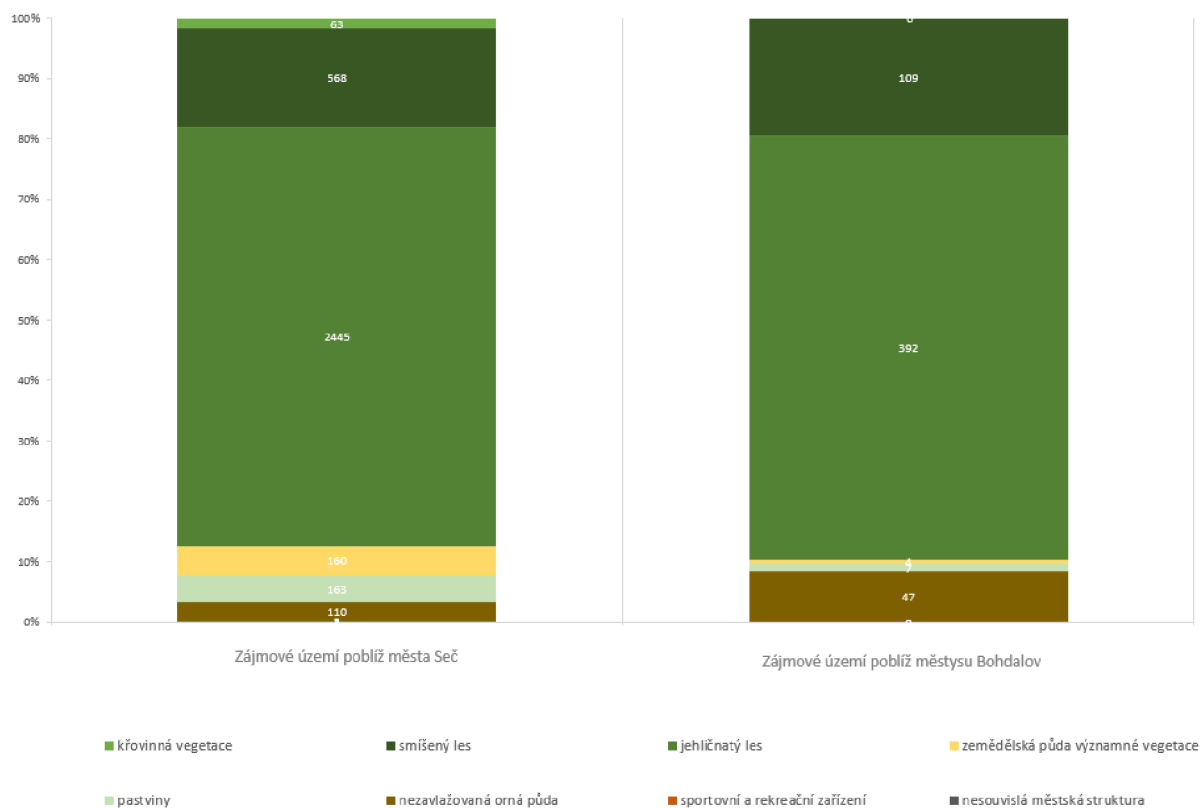
Kategorie krajinného pokryvu (ha)	Zájmové území u města Seč	Zájmové území u městysu Bohdalov
nesouvislá městská struktura	3	0
sportovní a rekreační zařízení	3	0
nezavlažovaná orná půda	110	47
pastviny	163	7
zemědělská půda významné vegetace	160	4
jehličnatý les	2445	392
smíšený les	568	109
křovinná vegetace	63	0
CELKEM (ha)	3515	559

Tabulka 13: Zastoupení jednotlivých kategorií pro zájmové území ze vstupních dat CORINE Land Cover pro rok 2018

První rozdíl v databázích je v kategorizaci krajinných ploch. CLC má rozsáhlejší kategorizaci, každý krajinný pokryv je v atributové tabulce vyjádřen přiřazenou hodnotou (viz tabulka 1). Pro porovnání jednotlivých kategorií jsem přiřadil smíšený, jehličnatý les a křovinnou vegetaci do kategorie les. Nesouvislou městskou strukturu, sportovní a rekreační

zařízení jsem zařadil do kategorie zastavěná oblast. Dále byla zařazena nezavlažovaná orná půda a zem. půda významné vegetace do kategorie orná půda a zbylé pastviny do kategorie louky/pastviny. Dalším rozdílem mezi databázemi je ve výsledných hodnotách jednotlivých druhů krajinného pokryvu. Ty se dost odlišují od databáze společnosti ESRI (tabulky 2 a 8), důvodem může být horší rozlišení snímků (100 m) nebo aktualizací dat. Databáze CLC je aktualizována jednou za 6 let, nemusí tedy pro rok 2018 zahrnovat změny krytí povrchu v některých oblastech jako například databáze ESRI LC – Sentinel 2, která se aktualizuje každý 3 roky.

VÝSLEDKY KRAJINNÉHO POKRYVU ZÁJMOVÝCH ÚZEMÍ Z DATABÁZE CORINE LAND COVER PRO ROK 2018



Graf 3: Grafické znázornění krajinného pokryvu pro rok 2018 z databáze CORINE Land Cover

8 DISKUSE

V práci byla hodnocena databáze ESRI Land Cover Sentinel – 2. Na základě zdrojové literatury byla hodnocena daná databáze v aplikaci change detection s databází snímků Landsat 8/9 v období za roky 2018, 2020 a 2022. Závěrem jsem porovnal výsledné hodnoty krajinného pokryvu databáze ESRI LC Sentinel – 2 s evropskou databází Land Cover pro rok 2018. Z důvodu dostupnosti dat Corine Land Cover, které jsou pouze dostupné za rok 2018 byla přesnost modelů hodnocena pomocí vizualizace a vypočítaných jednotlivých druhů krajinného pokryvu.

Jako první jsem se zaměřil na detekci změn krajinného pokryvu z databáze ESRI Land Cover – Sentinel 2. Ke změnám bylo dosaženo s využitím nástrojů softwarového programu ArcMap 10.8.3. Použitá databáze primárně vzniká z vysoko rozlišených snímků družice Sentinel 2, ale i jiných vstupních zdrojů, jako například aerofotogrammetrie nebo GIS. Tato data jsou následně zpracována pomocí sofistikovaných algoritmů a technologií, které umožňují vytvořit detailní mapu pokryvu Země s rozlišením až do 1 metru. Pokryv je rozdělen do 16 kategorií.

Data družic Landsat 8 a 9 poskytují širokospektrální informace o zemském povrchu v různých vlnových délkách. Jsou následně zpracovány pomocí různých klasifikačních metod. Jedna z nich je klasifikace na základě pixelů, která byla využita i v této práci, protože k ní nejsou potřeba další vstupní data. Tato klasifikace umožňuje rozdělit obrazovou scénu do různých kategorií pokryvu Země.

Další možností je doplnit snímky Landsat o data mračen bodů leteckého laserového skenování (ALS). Tato klasifikační metoda byla použita ve studii od Szostak et al. v roce 2014. Docílili výsledků pomocí přístupu objektové obrázkové analýzy (OBIA), která klasifikuje pixelové segmenty do kategorií krajinného pokryvu definovány uživatelem. Vytvořené kategorie byly následně rozlišeny do vegetačních a nevegetačních tříd pomocí spektrálních informací. Posouzením této informace se vstupními daty ze snímku družice Landsat vznikl přesný model hranic vegetace. Tento postup poskytuje lepší výsledky, než mnou využitá metodika. Naopak nevýhodou k této metody může být komplikovanější dostupnost vstupních dat

9 ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE

ESRI Land Cover – Sentinel 2 databáze má významný přínos v oblasti monitorování a analýzy změn v krytí povrchu země. V práci byly použity moderní nástroje a technologie GIS a analýzy dat, aby bylo možné detekovat změny v krytí povrchu v různých oblastech v průběhu času. Hlavním cílem práce bylo ověřit metodu pro detekci změn krajinného pokryvu v ESRI Land Cover – Sentinel 2 za období 2018/2020/2022. Tento cíl byl splněn pomocí analýzy rastrových dat a využití nástrojů GIS, jako je například ArcGIS. Výsledků se dosáhlo porovnáním dat ESRI LC – Sentinel 2 s výslednými daty z databáze snímků Sentinel 8 a 9. Pro doplnění přesnosti byla databáze porovnána s databází programu Evropské unie CORINE Land Cover pro období 2018. Výsledkem práce bylo zjištění, že metoda ESRI LC – Sentinel 2 je schopna detekovat změny krytí povrchu s vysokou přesností a spolehlivostí. Tento zdroj dat může být využit pro monitorování a řízení změn krajinného povrchu v různých oblastech, například pro plánování územního rozvoje, řízení využívání půdy a ochranu životního prostředí.

10 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

Bašistová, J., 2014: CORINE LAND COVER (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://docplayer.cz/3653265-Corine-land-cover-jana-basistova-cenia-ceska-informacni-agentura-zivotniho-prostredi-3-ceske-uzivatelske-forum-copernicus.html>>.

Bazalgette Courrèges-Lacoste, G., Sallusti, M., Balsa, G., Bagnasco, G., Veihelmann, B., Riedl, S., Smith, D. J., Maurer, R., 2017: The Copernicus Sentinel 4 mission: a geostationary imaging UVN spectrometer for air quality (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://doi.org/10.1117/12.2282158>>.

Blumberg, S., 2020: Landsat 9: The Pieces Come Together (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/landsat-9-the-pieces-come-together>>.

Copernicus, ©2022: A History of Copernicus (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.copernicus.eu/en/news/news/observer-history-copernicus>>.

Coppin, P.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B., 2004: Digital change detection methods in ecosystem monitoring (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<http://csr.ufmg.br/modelagem/selecao/Digital%20change%20detection%20methods%20in%20ecosystem%20monitoring.pdf>>.

eAGRI, ©2023: O aplikaci Registr půdy (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS/>>.

Egorov, A.V., Roy, D.P., Zhang, H.K., Li, Z., Yan, L., Huang, H., 2019: Landsat 4, 5 and 7 (1982 to 2017) Analysis Ready Data (ARD) Observation Coverage over the Conterminous United States and Implications for Terrestrial Monitoring (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.mdpi.com/2072-4292/11/4/447>>.

ESRI, ©2009: The Geodatabase: Modeling and Managing Spatial Data (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.esri.com/news/arcnews/winter0809articles/the-geodatabase.html>>.

ESRI, ©2013: History Up Close (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<http://www.esri.com/about-esri/history/history-more>>.

Francisco, T., Trollope, E., Ventimiglia, L., Montero, D., 2018: What it has been like to fly and operate Europe's ocean and land watcher, Copernicus Sentinel 3 (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2018-2416>>.

Gamal Gaafar, H., 2015: Get to know Esri \ Esri NeA (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.slideshare.net/HeshamGamal3/get-to-know-esri-esri-nea>>.

GISGeography, ©2022: The Remarkable History of GIS (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://gisgeography.com/history-of-gis/>>.

Gühne, T., Keim, C., Bartsch, P., Weiß, S., Melf, M., Seefelder, W., 2017: Sentinel-5 instrument: status of design, performance, and development (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://doi.org/10.1117/12.2278564>>.

Chander, G., Markham, B. L., Barsi, J. A., 2007: Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4271443>>.

Karamat, A., Muhammad, N., Ali Imam, M., Muhammad Rahat, J., Ali, A., Muhammad Ayyaz, Fareeha, A., 2019: "Step-by-Step Processing of Sentinel-1 data for Estimation of Rice Area (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <https://www.researchgate.net/publication/333013578_Step-by-Step_Processing_of_Sentinel-1_data_for_Estimation_of_Rice_Area>.

Knight, E.J., Kvaran, G., 2014: Landsat-8 Operational Land Imager Design, Characterization and Performance (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://doi.org/10.3390/rs61110286>>.

Knotková, S., 2023: V lesích na Vysočině ubylo kůrovce (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://nasregion.cz/v-lesich-na-vysocine-ubylo-kurovce-318453/>>.

Kopecký, J., 2019: Sežrané lesy. Kůrovcová kalamita svírá Pardubický kraj (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://pardubice.rozhlas.cz/sezrane-lesy-kurovcova-kalamita-svira-pardubicky-kraj-8122974>>.

Liu, X., Kong, W., Sun, H., Xu, Y., Lu, Y., 2022: An Improved Altimeter in-Orbit Range Noise-Level Estimation Approach Based on Along-Track Differential Method, *Remote Sensing* (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.mdpi.com/2072-4292/14/24/6250>>.

Lu, D.; Masuel, P.; S. Brondízio, E.; Moran, E., 2004: International Journal of Remote Sensing. (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <https://www.researchgate.net/publication/235245895_Change_Detection_Techniques>.

Markham, B. L., Storey, J. C., Williams, D. L., Irons, J. R., 2004: Landsat sensor performance: history and current status (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1369366>>.

Mishra, D., 2019: Derivation of Magnitude of Crop Diversity Through NDVI Composite Index Using Sentinel-2 Satellite Imagery (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <https://www.researchgate.net/publication/331027876_Derivation_of_Magnitude_of_Crop_Diversity_Through_NDVI_Composite_Index_Using_Sentinel-2_Satellite_Imagery>.

Mowle, E. W., Dennehy, C. J., 1991: The Landsat-6 satellite: an overview (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.eoportal.org/satellite-missions/landsat-6>>.

Nereus, ©2017: Improving Copernicus take up among Local and Regional Authorities (LRAs) (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<http://www.nereus-regions.eu/wp-content/uploads/2017/11/Analysis.pdf>>.

Packt Subscription, ©2015: Advance your knowledge in tech (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://subscription.packtpub.com/book/programming/9781782175209/1/ch01lv1sec08/the-history-of-arcgis>>.

Parecki, A., 2013: Esri in 1969 (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.flickr.com/photos/aaronpk/9570322487/in/photostream/>>.

Ponocná, T. et Hejná, L., 2019: Vývoj krajinného pokryvu (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.cenia.cz/wp->

content/uploads/2019/04/Vyvoj_krajneho_pokryvu_CORINE_Land_Cover_CR_1990-2012.pdf>.

Reference of Business, ©2018: Inc. Environmental Systems Research Institute Inc. (ESRI) (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.referenceforbusiness.com/history2/64/Environmental-Systems-Research-Institute-Inc-ESRI.html>>.

Richman, R., 2016: Classifying Images in ArcGIS for Desktop 10.4 (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://community.esri.com/t5/esri-technical-support-blog/classifying-images-in-arcgis-for-desktop-10-4/ba-p/901086>>.

Sadiq Khan, M.; Sun, T.; Ulhan, S.; Chen, L.; UR Rehman, A., 2020: Land-Use/Land-Cover Changes and Its Contribution to Urban Heat Island: A Case Study of Islamabad, Pakistan. (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3861>>.

Scaramuzza, P. L., Bouchard, M. A., Dwyer, J. L., 2012: Development of the Landsat Data Continuity Mission Cloud-Cover Assessment Algorithms (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425716300220>>.

Soni, P. K., Rajpal, N., Mehta, R., Mishra, V. K., 2021: Urban land cover and land use classification using multispectral sentinel-2 imagery (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <https://www.researchgate.net/publication/351558121_Urban_land_cover_and_land_use_classification_using_multispectral_sentinal-2_imagery>.

Teixeira Pinto, C.; Jing, X.; Leigh, L., 2020: Evaluation Analysis of Landsat Level-1 and Level-2 Data Products Using In Situ Measurements. *Remote Sens.* (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://doi.org/10.3390/rs12162597>>.

Thépaut, J. N., Dee, D., Engelen, R. Pinty, B., 2018: The Copernicus Programme and its Climate Change Service (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <10.1109/IGARSS.2018.8518067>.

Tylar Greene, Jake Richmond, 2021: "NASA Unveils New Interactive Website Ahead of Landsat 9 Launch (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-unveils-new-interactive-website-ahead-of-landsat-9-launch>>.

URGIS, ©2012: Jack Dangermond (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.ucgis.org/jack-dangermond>>.

Wulder, M. A., Roy, D. P., Radeloff, C. V., Loveland, T. R., Anderson, M. C., Johnson, D. M., Healey, S., Zhu, Z., Scambos, T. A., Pahlevan, N., Hansen, M., Gorelick, N., Crawford, C. J., Masek, J. G., Hermosilla, T., White, J. C., Belward, A. S., Schaaf, C., Woodcock, C. E., Huntington, L. J., Lymburner, L., Hostert, P., Gao, F., Lyapustin, A., Pekel, J., Strobl, P., Bruce D., 2022: Cook, Fifty years of Landsat science and impacts, Remote Sensing of Environment, Volume (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425722003054>>.

Zahradník, P., Zahradníková, M., 2019: Lýkožrout smrkový a české lesy I. - Historie a současnost (online) [cit. 2023.03.23] dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/lykozrout-smrkovy-a-ceske-lesy-i-historie-a-soucasnost>>.

PŘEHLED LITERATURY

Alexakis, D.D., Grillakis, M.G., Koutroulis, A.G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Tsanis, I.K., Michaelides, S., Pashiardis, S., Demetriou, C., Aristeidou, K., 2014: GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: The case study of Yialias basin in Cyprus. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 14: 413–426.

Ansari, A., Golabi, M.H., 2019: Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands—A case study: Meighan Wetland, Iran. Int. Soil Water Conserv. Res. 7: 64–70.

Dwyer, J. L., Roy, D. P., Sauer, B., Jenkerson, C. B., Zhang, H. K., Lymburner, L., 2018: Analysis ready data: Enabling analysis of the landsat archive 10: 1–19.

Green, K., Kempka, D., Lackey, L., 1994: Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60: 331–337.

Heric, M., Middleton, A., 1994: Image quality: An analysis of improvements and degradations in a digitally-processed large format camera photograph, *Geocarto International* 9: 15-20

Chaves, M.E.D., Picoli, M.C.A., Sanches, I.D., 2020: Recent Applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for Land Use and Land Cover Mapping: A Systematic Review. *Remote Sens.* 12: 3062.

Lausch, A. et Herzog, F., 2002: Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: Issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*: 3-15.

Pruchniewski, J. A. Esri Releases New 2020 Global Land Cover Map, 2021. ESRI.

Rawat, J.S., Kumar, M., 2015: Monitoring land user/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *Egypt. J. Rem. Sens. Space Sci.* 18: 77–84.

Sreedhar, Y., 2016: An Appraisal of Land Use/Land Cover Change Scenario of Tummalapalle. In: Nagaraju, A. and Murali Krishna, G.: *Advances in Remote Sensing*. Cuddapah Region, *India*. 232-245.

Szostak, M., Wezyk, P., Tompalski, P., 2014: Aerial orthophoto and aerial laser scanning as tools for monitoring land cover dynamics: A case study from the Milicz Forest District (Poland) *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 171: 857-866

Venter, Z.S., Barton, D.N., Chakraborty, T., Simensen, T., Singh, G., 2022: Global 10 m Land Use Land Cover Datasets: A Comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover. *Remote Sens.* 14: 4101.

Zhu, Z., Wulder, M. A., Roy, D. P., Woodcock, C. E., Hansen, M. C., Radeloff, V. C., Healey, S. P., Schaaf, C., Hostert, P., Strobl, P., Pekel, J., Lymburner, L., Pahlevan, N., Scambos, T. A., 2019: Benefits of the free and open Landsat data policy, *Remote Sensing of Environment*, Volume 224: 382-385.

