

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)

Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



Bc. Michaela ŠAFFOVÁ

**AKTUALIZACE DAT LAND USE KATASTRÁLNÍ EVIDENCE
S VYUŽITÍM DRUŽICOVÝCH DAT SENTINEL-2**

**UPDATING OF LAND USE CADASTRAL RECORDS USING SATELLITE
DATA SENTINEL-2**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Praha, 2019

Zadání diplomové práce

pro Bc. Michaelu Šaffovou
obor Kartografie a geoinformatika

Název tématu: Aktualizace dat land use katastrální evidence s využitím družicových dat Sentinel-2

Zásady pro vypracování

S dynamickým rozvojem dat a metod dálkového průzkumu Země (DPZ) je hojně diskutovaným tématem aktualizace dat land use katastrální evidence pomocí družicových dat, viz. např. projekt LISA – Land Information System Austria (Banko et al., 2012). Data katastrální evidence jsou hojně užívanými podklady pro studie hodnocení stavu a změn land use (Bičík et al. 2015), výzkum aktuálnosti dat v katastrální evidenci je tedy vysoce relevantním tématem, viz např. Pazúr et al. (2017) či Ali et al. (2012).

Cílem diplomové práce je posoudit možnosti družicových dat Sentinel-2 pro účely aktualizace údajů land use katastrální evidence. S ohledem na definici tříd land use katastrální evidence a na základě prostorového a temporálního rozlišení dat Sentinel-2 bude vytvořen metodický postup, který bude klasifikovat vybrané třídy land use s požadovanou přesností vyšší než 80 %. Klasifikace tříd zemědělské půdy - orná půda, trvalé travní porosty, sady a vinice - bude řešena v této práci pomocí multitemporálních dat Sentinel-2 s využitím metod objektové klasifikace (OBIA). Navržený klasifikační systém bude ctít definici land use tříd katastrální evidence.

Diplomové práce by měla podat odpovědi na tyto následující výzkumné otázky:

1. Je možné využít družicová data Sentinel-2 pro klasifikaci land use dle klasifikačního systému katastrální evidence, tzn. dle definice tříd a prostorového vymezení parcel?
2. Je možné docílit relativně vysokou přesnost klasifikace (přes 80 %) pouze s využitím pásem dat Sentinel-2 s prostorovým rozlišením 10 metrů?

Ambicí navrženého metodického postupu nebude tvorba automatické aktualizace katastrální evidence, nýbrž postupu, který bude schopen klasifikovat vybrané land use kategorie dle definice katastrální evidence a detekovat tak potenciální rozpory mezi současným stavem v krajině a záznamem v katastrální evidenci dané plochy/parcely. Ve výsledku půjde tedy o určení, která vylepšená temporální a prostorová vlastnosti volně stažitelných dat Sentinel-2 jsou užitečná v řešení problému aktualizace katastrálních dat a pro jaké land use kategorie lze tato data aplikovat.

Hlavním výstupem bude klasifikační algoritmus/báze s využitím metod objektové klasifikace, která umožní klasifikaci vybraných tříd zemědělské půdy - orná půda, trvalé travní porosty, sady a vinice. Hlavním datovým zdrojem klasifikace budou multitemporální data Sentinel-2 z let 2017 a 2018. Diplomová práce bude řešena ve dvou modelových územích.

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50–80 stran

Seznam odborné literatury:

- ALI, Z., TULANDHAR, A., ZEVENBERGEN, J. (2012): An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 18, s. 386-398.
- BANKO, G., MANSBERGER, R., GALLAUN, H., GRILLMAYER, R., PRÜLLER, R., RIEDL, M., STEMBERGER, W., STEINNOCHER, K., WALLI, A. (2012): Land Use & land cover mapping in Europe: Current practice, trends and future. Examples from national approaches: LISA – the Austrian approach. In: Springer-Verlag, "Land Use & land cover mapping in Europe: Current practice, trends and future". Editors: Dr. Matthias Braun and Dr. Ioannis Manakos, Annual Book Series „Remote Sensing and Digital Image Processing“. Volume 18, Chapter 15, s. 237-255.
- BIČÍK, I., KUPKOVÁ, L., JELEČEK, L., KABRDA, J., ŠTYCH, P., JANOUŠEK, Z., WINKLEROVÁ, J. (2015): Land Use Changes in the Czech Republic 1845–2010. Socio-Economic Driving Forces. *Springer Geography*, Švýcarsko, 215 s.
- PAZÚR, R., FERANEC, J., ŠTYCH, P., KOPECKÁ, M., HOLMAN, L. (2017): Changes of urbanised landscape identified and assessed by the urban atlas data: Case study of Prague and Bratislava. *Land Use Policy*. Volume 61, s. 135-146.

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 30. 11. 2018

Termín odevzdání diplomové práce: prosinec 2019

doc. RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

doc. Ing. Jan Kolář, CSc.

.....
Vedoucí diplomové práce

.....
Garant studijního oboru

V Praze dne 30. 11. 2018

Prohlášení:

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

V Praze, 5. 12. 2019

.....
Bc. Michaela Šaffová

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce doc. RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za cenné rady, věnovaný čas a pomoc při zpracování. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svým nejbližším za podporu v průběhu celého studia.

Aktualizace dat land use katastrální evidence s využitím družicových dat Sentinel-2

Abstrakt

Cílem práce je navrhnout metodický postup, který bude klasifikovat vybrané třídy land use s přesností vyšší než 80 %. Konstruovaný metodický postup bude mít za úkol detekovat rozpor mezi land use vykazovaným v katastrální evidenci a skutečným stavem v krajině určeným pomocí klasifikace dat Sentinel-2. Klasifikace tříd zemědělské půdy (orná půda, trvalé travní porosty, sady a vinice) je řešena v této práci pomocí multitemporálních dat Sentinel-2 s využitím metod objektové klasifikace (OBIA). První část práce je zaměřena na literární úvod do problematiky řešeného tématu. Druhá část je věnována samotnému procesu tvorby metodického postupu pro objektovou klasifikaci tříd land use, kdy jsou experimentální činnosti a prahováním definovány parametry klasifikace. Výsledky práce jsou porovnávány a hodnoceny pomocí celkové přesnosti a chybových matic jednotlivých výsledných klasifikací, při kterých byl využit vytvořený algoritmus.

Klíčová slova: katastrální evidence, multitemporální družicové snímky, objektově-orientovaná klasifikace, Sentinel-2, zemědělský půdní fond

Updating of land use cadastral records using satellite data Sentinel-2

Abstract

The aim of the project is to propose a methodical procedure which will classify selected land use classes with an accuracy of more than 80 %. Constructed methodical procedure will have the task of detecting the discrepancy of land reported in the cadastral records with the real state in the landscape identified by satellite Sentinel-2 data classification. Classification of agricultural land classes (arable land, permanent grassland, orchard and vineyards) is solved in this project using multitemporal data Sentinel-2 using object classification methods. The first part of thesis focuses on the literary introduction to the topic of the theme. The second part is devoted to the process of creating a methodical procedure for object classification of land use classes, where parameters are defined by experimental activity and thresholds of the defined classification. The results of the work are compared and evaluated using the overall accuracy and error matrices of the classification using the developed algorithm.

Keywords: cadastral records, multitemporal satellite imagery, object-base classification, Sentinel-2, agricultural land resources

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	8
1. ÚVOD.....	9
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	11
2.1 INFORMAČNÍ ZDROJE O VYUŽITÍ KRAJINY - LU/LC DATABÁZE	11
2.2 VYUŽITÍ METOD DPZ V TVORBĚ A AKTUALIZACI DATABÁZE LU/LC.....	15
2.3 STUDIE AKTUALIZACE KATASTRU POMOCÍ DPZ	17
2.4 KLASIFIKACE DAT DPZ SE ZAMĚŘENÍM NA OBIA PŘÍSTUP	19
3. ŘEŠENÁ ÚZEMÍ, POUŽITÁ DATA A METODIKA	21
3.1 ZÁJMOVÁ ÚZEMÍ.....	21
3.1.1 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ 1	21
3.1.2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ 2	22
3.2 DATA.....	22
3.2.1 SENTINEL-2	22
3.2.2 KATASTR NEMOVITOSTÍ	24
3.2.3 LPIS	25
3.3 METODIKA.....	26
3.3.1 PŘEDPŘÍPRAVA DAT	26
3.3.2 SEGMENTACE OBRAZU	28
3.3.3 KLASIFIKAČNÍ BÁZE.....	30
3.3.4 HODNOCENÍ PŘESNOSTI KLASIFIKACE	33
4. VÝSLEDKY	36
4.1 POROVNÁNÍ SEGMENTACE OBRAZU	36
4.2 VÝSLEDKY KLASIFIKACE A POROVNÁNÍ PŘESNOSTI KLASIFIKACE OBRAZU	37
4.3 DETEKCE ROZPORU LAND USE	40
5. DISKUZE.....	42
6. ZÁVĚR	48
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50
7.1 INTERNETOVÉ ZDROJE	55
7.2 ZDROJE DAT	56

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CENIA	Czech Environmental Information Agency (Česká informační agentura životního prostředí)
CORINE	Coordination of information on the environment
CVI	Chlorophyll Vegetation Index
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DEM	Digital elevation model
DPZ	Dálkový průzkum Země
EEA	European Environment Agency (Evropská agentura pro životní prostředí)
KN	Katastr nemovitostí
LCC	Land Cover Change
LPIS	Land Parcel Identification System
LU/LC/LUCC	Land Use a Land Cover
MMU	Minimal mapping unit (minimální mapovací jednotka)
MSI	Multispectral Instrument
MSS	Multispectral Scanner
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Normalizovaný rozdílový vegetační index)
NIR	Near-Infrared
OBIA	Object-based Image Analysis (objektově-orientovaná analýza obrazu)
OLI	Operational Land Imager
RÚIAN	Registr územní identifikace, adres a nemovitostí
S-2A/S-2B	Sentinel-2A/Sentinel-2B
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SWIR	Short-Wave Infrared
SZIF	Státní zemědělský intervenční fond
TIFF	Tagged Image File Format
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System
WMS	Web Map Service (Webová mapová služba)
ZPF	Zemědělský půdní fond

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1: Zájmové území 1	21
Obr. 2: Zájmové území 2	22
Obr. 3: Multitemporální snímek	27
Obr. 4: Segmentace obrazu chessboard	29
Obr. 5: Segmentace obrazu multiresolution	30
Obr. 6: Rozložení hodnot v kategorii trvalých travních porostů	32
Obr. 7: Validní vrstva zájmového území 1	34
Obr. 8: Terénní průzkum rozporu	35
Obr. 9: Detail segmentace obrazu	37
Obr. 10: Porovnání v zájmovém území 1 v roce 2018	43
Obr. 11: Velikost segmentů orné půdy (KN) v obraze	46

Tab. 1: Druhy pozemků KN	12
Tab. 2: Spektrální pásma Sentinel-2	23
Tab. 3: Vybrané snímky Sentinel-2	24
Tab. 4: Definice pozemků KN	25
Tab. 5: Chybová matice zájmového území 1	38
Tab. 6: Chybová matice zájmového území 2	39
Tab. 7: Zpracovatelská a uživatelská přesnost klasifikace	40

1. ÚVOD

Dálkový průzkum Země (DPZ) se již dlouhodobě využívá v monitoringu stavu a změny využití krajiny (land use/land cover). Se stále více pokročilými parametry družicového DPZ, jako je prostorové a časové rozlišení, se družicová data stále častěji a širěji uplatňují ve studiích land use/land cover (LULC) s detailnějším územním pohledem (local studies), např. Kupková a Ouředníček (2013). Jsme tak schopni sledovat LULC v detailnějším měřítku a produkovat LULC databáze s lepšími vlastnostmi co se týče minimální mapovací jednotky - minimal mapping unit (MMU) či aktualizace (Pazúr et al., 2017). Dalším pozitivním aspektem rozvoje DPZ je obrovská šíře volně dostupných družicových dat. Hlavním hnacím motorem rozvoje volně dostupných dat a služeb založených na DPZ v Evropě je program Copernicus a jeho družicové mise Sentinel (Copernicus, 2017).

Data družice Sentinel se využívají pro operační programy monitoringu LULC, jako např. Urban Atlas, CORINE LC (Feranec et al., 2017). Družice Sentinel se využívají pro kontrolu zaznamenaných údajů v databázi LPIS a s tím spojených zemědělských dotací (např. projekt Sen2-Agri, <http://www.esa-sen2agri.org>). Data Sentinel našla též využití v aktualizaci a zpřesňování topografických map či při tvorbě rozličných map tematických (Brom et al., 2012).

Relativně často diskutovaným tématem je využití družicových dat v aktualizaci katastrální evidence, viz např. projekt LISA – Land Information System Austria (Banko et al., 2012). Data katastrální evidence jsou hojně užívanými podklady pro studie hodnocení stavu a změn land use (Bičík et al., 2015), výzkum aktuálnosti dat v katastrální evidenci je tedy vysoce relevantním tématem, viz např. Pazúr et al. (2017) či Ali et al. (2012).

Cílem diplomové práce je posoudit možnosti družicových dat Sentinel-2 pro účely aktualizace údajů land use katastrální evidence. S ohledem na definici tříd land use katastrální evidence a na základě prostorového a temporálního rozlišení dat Sentinel-2 bude vytvořen metodický postup, který bude klasifikovat vybrané třídy land use s požadovanou přesností vyšší než 80 %. Konstruovaný metodický postup bude mít za úkol detekovat rozpor land use vykazovaný v katastrální evidenci se skutečným stavem v krajině určeným pomocí dat Sentinel-2. Klasifikace tříd zemědělské půdy - orná půda, trvalé travní porosty, sady a vinice - je řešena v této práci pomocí multitemporálních dat Sentinel-2 s využitím metod objektové klasifikace (OBIA). Navržený klasifikační systém bude ctít definici land use tříd katastrální evidence.

Vstupní hypotézy byly stanoveny následovně:

- 1) data land use z katastru nemovitostí často nevykazují aktuální stav v krajině (Pazúr et al., 2017) a proto je na místě řešení/diskuse tohoto nedostatku katastrální evidence, jelikož katastrální evidence je doposud jedním z nejdůležitějších datových zdrojů o stavu a změnách využití krajiny,
- 2) s ohledem na prostorové a časové rozlišení dat Sentinel-2 lze hodnotit stav land use v katastru, nikoli ovšem pro všechny sledované kategorie, nýbrž pouze pro kategorie, které vykazují relativně vyšší rozlohu parcel, např. zemědělské půdy a lesní plochy.

Téma diplomové práce je řešeno s těmito výzkumnými otázkami:

- 1) Je možné využít data Sentinel-2 pro klasifikaci land use dle klasifikačního systému katastrální evidence, tzn. dle definice tříd a prostorového vymezení parcel?
- 2) Je možné docílit relativně vysokou přesnost klasifikace (přes 80 %) pouze s využitím pásem dat Sentinel-2 s prostorovým rozlišením 10 metrů?

Ambicí navrženého metodického postupu není tvorba automatické aktualizace katastrální evidence, nýbrž postupu, který bude schopen klasifikovat vybrané land use kategorie dle definice katastrální evidence z družicových snímků Sentinel-2 a detekovat tak potenciální rozpory mezi reálným stavem v krajině a záznamem v katastrální evidenci dané plochy/parcely. Ve výsledku půjde tedy o určení, kterak vylepšené temporální a prostorové vlastnosti volně stažitelných dat Sentinel-2 jsou užitečné v řešení problému aktualizace katastrálních dat a pro jaké land use kategorie lze tato data aplikovat.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 INFORMAČNÍ ZDROJE O VYUŽITÍ KRAJINY - LU/LC DATABÁZE

Katastrální evidence patří doposud mezi nejvýznamnější zdroje informací ohledně stavu a vývoje využití krajiny, respektive land use. Pojem katastr je definován v zákoně č. 256/2013 Sb., o katastru nemovitostí České republiky, v §1 odst. 1, 2 takto: „Katastr nemovitostí (dále jen „katastr“) je veřejný seznam, který obsahuje soubor údajů o nemovitých věcech (dále jen „nemovitost“) vymezených tímto zákonem zahrnující jejich soupis, popis, jejich geometrické a polohové určení a zápis práv k těmto nemovitostem. Katastr je zdrojem informací, které slouží a) k ochraně práv k nemovitostem, pro účely daní, poplatků a jiných obdobných peněžitých plnění, k ochraně životního prostředí, k ochraně nerostného bohatství, k ochraně zájmů státní památkové péče, pro rozvoj území, k oceňování nemovitostí, pro účely vědecké, hospodářské a statistické, b) pro tvorbu dalších informačních systémů sloužících k účelům uvedeným v písmenu a).“

Katastrální evidence je velmi důležitá. První zmínky spojené s vývojem evidence nemovitostí na našem území, se týkají daňové oblasti. Kdy v roce 1022 zavedl kníže Oldřich daň z polností zvanou aratura (Bumba, 2007). Do dnešní podoby prošel katastr nemovitostí složitým vývojem (zemské desky a urbáře, rustikální katastr, tereziánský katastr, josefský katastr, tereziánsko-josefský katastr, stabilní katastr a pozemkové knihy, pozemkový katastr).

Všechny nemovitosti evidované v katastru nemovitostí jsou zakresleny v katastrálních mapách. Tyto mapy jsou aktualizovány a obnovovány. Proces, kdy je katastrální mapa převedena z grafické formy do formy grafického počítačového souboru (digitální formy) se nazývá digitalizace. Neprovádí se v terénu, ale provedením dílčích revizí údajů katastru. K digitalizaci dochází postupně u všech katastrálních území v České republice v rámci modernizace katastru nemovitostí. Další obnovou je obnova katastrálního operátu na podkladě výsledků pozemkových úprav, při této obnově spolupracuje katastrální úřad s úřadem pozemkovým a dochází tak k digitalizaci katastrálních map a k vytvoření nového souboru popisných informací (Pekárek, 2010).

Jednou z modernizací je, že informace vedené v katastru, pokud je zákon dovoluje zveřejňovat, jsou dostupné každému prostřednictvím dálkové přístupu přes internet, na webových stránkách Českého úřadu zeměměřického a katastrálního: <http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>. Takto poskytované údaje z katastru nemovitostí upravuje vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního č. 358/2013 Sb., o poskytování údajů z katastru nemovitostí.

KN v rámci své atributové složky určuje pro každou parcelu tzv. druh pozemku a také způsob využití pozemku. Dalšími atributy jsou typ stavby, způsob využití stavby, typ jednotky, způsob využití jednotky, vlastníka jednotky či typ a způsob ochrany nemovitosti a další. Druhy pozemků a jejich způsoby využití definuje příslušná vyhláška (vyhláška č. 357/2013 Sb.). Použitá data KN jsou rozdělena do deseti druhů pozemků (viz Tab. 1). Ostatním atributům KN není věnována pozornost, neboť nejsou v práci použity.

Tab. 1. Druhy pozemků KN

kód	název	zkratka
2	orná půda	orná půda
3	chmelnice	chmelnice
4	vinice	vinice
5	zahrada	zahrada
6	ovocný sad	ovoc. sad
7	trvalý travní porost	travní p.
10	lesní pozemek	lesní poz.
11	vodní plocha	vodní pl.
13	zastavěná plocha a nádvoří	zast. pl.
14	ostatní plocha	ostat. pl.

Zdroj: Vyhláška č. 357/2013 Sb.

Data z katastru nemovitostí jsou podkladem pro studie zabývající se dlouhodobými změnami LU/LC na našem území. Na základě těchto dat je tvořena Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka 1845 - 2010 (Databáze LUCC Czechia). V databázi jsou zaznamenány rozlohy sedmi kategorií využití ploch (orná půda, trvalé travní porosty, trvalé kultury, lesní plochy, vodní plochy, zastavěné plochy a ostatní plochy) v téměř 9 000 tzv. srovnatelných územních jednotkách (SÚJ) pokrývajících celé Česko, a to v letech 1845, 1896, 1948, 1990, 2000 a 2010 (LUCC Czechia, 2018). Metodika výzkumu byla několikrát publikována, např. Bičík et al. (1996). Na základě této databáze vzniklo mnoho studií, např. Bičík et al. (2010), Bičík et al. (2015) a další.

Ve studii Bičík et al. (2010) bylo cílem zhodnotit změny využití půdy v příhraničních regionech ČR v období transformace (1990 - 2000) ve srovnání se starším obdobím 1948 - 1990, kdy byla zavedena centrálně plánovaná ekonomika. Pro lepší pochopení procesů v českém příhraničí po roce 1990 byly výsledky srovnány s údaji z databáze CORINE Land Cover za roky 1990 a 2000. Zdrojem dat byla databáze LUCC Czechia a již zmiňovaná databáze CLC. Bylo konstatováno, že obě použité metody nejsou zcela srovnatelné. První metoda je založena na katastrální evidenci, která má oproti reálné skutečnosti v krajině určité zpoždění a nepřesnosti. Druhá metoda založená na interpretaci dat vzdáleného snímáče má velkou mapovací jednotku 25 ha. Různé metody a zdroje dat mohou vést k odlišným výsledkům. Bylo prokázáno, že regiony podél bývalé železné opony jsou ve srovnání s vnitřními regiony méně zatížené antropogenním tlakem na krajinu (méně orné půdy a zastavěných ploch a více pastvin a zalesněné oblasti).

Protože území České republiky dříve patřilo do Rakouské monarchie, má český i rakouský katastr společný základ - stabilní katastr. Rozdíly mezi katastry jsou v tom, který orgán rozhoduje o zápisech věcných práv. Zatímco v Rakousku je to knihovní soud, v České republice je to správní orgán, kterým je katastrální úřad (Barešová, 1998). Rakouský katastr má oproti českému některá zjednodušení. Např. katastrální mapa obsahuje pouze vektorová data, rastrová nejsou zahrnuta. Dále, že atributy jsou buď považovány za správné (např. čísla parcely) nebo nejsou zaručena (např. využívání půdy). Je tedy třeba reprezentovat pouze přesnost polohy ve vizualizaci (Navrátil, Leopoldseder, 2017). Katastr nemovitostí na Slovensku má velmi podobnou strukturu jako náš katastr, protože máme se Slovenskem dlouholetou společnou historii. Slouží jako informační systém, převážně na ochranu práv k nemovitostem, dále k poplatkovým účelům (daním) a na ochranu zemědělského a lesního půdního fondu (Katastr nemovitostí SR, 2018).

Co se týče ostatních datových zdrojů, mezi nejvíce používané databáze v Evropě patří CORINE Land Cover (Coordination of information on the environment). Program CORINE vznikl v roce 1985 a jeho cílem bylo vytvořit jednotný systém, pomocí sdílené metodiky, který by poskytoval informace o životním prostředí na území EU. Údaje o krajinném pokryvu jsou individuálně tvořené v každé zemi a následně integrovány do jednotné CORINE Land Cover Database (Kupková et al., 2013). Databáze stavu a změn zemědělského půdního fondu CORINE pokrývá většinu plochy států Evropy. Klasifikační systém projektu CORINE je hierarchický, tvořen je několika úrovněmi s rostoucí mírou podrobnosti. První úroveň obsahuje 5 tříd krajinného pokryvu, druhá 15 a poslední třetí úroveň, která je nejpodrobnější 44 tříd krajinného pokryvu (CENIA, 2017). Pro celé území České republiky existují data včetně databází změn za všechny referenční roky

1990, 2000, 2006 a 2012. Značnou nevýhodou databáze CORINE je velká mapovací jednotka, která se nejvíce projevuje při analýzách na nižších úrovních (lokální, regionální), protože v databázi jsou evidovány pouze plochy o minimální velikosti 25 ha a šířce 100 m. U detekce změn krajinného pokryvu jsou zaznamenány pouze změny větší než 5 ha, proto nejsou analýzy dokonalé (CENIA, 2017). Data pro území Česka poskytuje CENIA (Česká informační agentura životního prostředí) a data pro celou Evropu EEA (Evropská agentura pro životní prostředí) a datový portál programu Copernicus (www.copernicus.eu).

Další významnou databází je Urban Atlas. Klasifikační systém této databáze je inspirován systémem klasifikace CORINE (Štych et al., 2015). Urban Atlas poskytuje data celoevropsky srovnatelného využívání půdy a krajinného pokryvu pro velké městské oblasti (EEA, 2018). Projekt Urban Atlas je součástí programu Copernicus, který byl zahájen v roce 1998 a je koordinován Evropskou unií a Evropskou kosmickou agenturou (ESA). Cílem projektu je jednotným způsobem vypracovat mapy krajinného pokryvu metropolitních oblastí Evropy s následným porovnáním stavu a změn land cover těchto regionů (Štych et al., 2015). Databáze Urban Atlas zahrnuje města členských států Evropské unie s populací přesahující 50 000 obyvatel. Tato databáze tudíž nepokrývá území celé České republiky. Oproti databázi CORINE má menší mapovací jednotku. Minimální mapovací plocha je 0,25 ha u urbánních oblastí a 1 ha u venkovských oblastí (Copernicus Land Monitoring Services, 2018).

Jednou z nejnovějších iniciativ v oblasti land use/land cover je koncepce Eagle, který není "pouze" novým klasifikačním systémem, ale jedná se o rozšířený datový model.

Při sémantickém hodnocení databází a jejich tříd se využívají různé postupy - expresní zhodnocení, použití klasifikátorů nebo parametrů (shodné nebo rozdílné pro porovnávané třídy, např. Pérez-Hoyos et al., 2012). V této studii byly použity dva přístupy pro porovnání čtyř databází - CORINE Land Cover, GLC2000, MODISLC, GlobCover. Autoři dospěli k závěru, že ve zkoumaných databázích se často vyskytují neshody v okolí měst, na hranici mezi zastavěnými plochami a zemědělskými či přírodními oblastmi. Také je zajímavé, že pouze velmi málo studií se zabývá problematikou faktorů, které způsobují neshody mezi databázemi LC/LU. K tomuto závěru dospěli také autoři studie Bach et al. (2006). Tato studie se zabývá hodnocením přesnosti a podobnosti mezi databází CORINE Land Cover a produktem LU/LC (klasifikované snímky Landsat a katastr) v německém Hessensku. K porovnání klasifikačních systémů bylo použito metody, kdy data jsou harmonizována pomocí slučování tříd. Následně reklasifikované produkty byly porovnávány pomocí rastrového překryvu a výsledky byly prezentovány v podobně kontingenčních tabulek. Největší nesrovnalosti byly v katastrálních datech,

ke kterým je potřeba přistupovat jiným způsobem než k ostatním databázím, protože se spíše jedná o statistická data, která nemají přesné prostorové vlastnosti.

2.2 VYUŽITÍ METOD DPZ V TVORBĚ A AKTUALIZACI DATABÁZE LU/LC

V posledním desetiletí se družicové snímky staly jedním z nejčastěji využívaných zdrojů geografické informace v mnoha oborech. Umožněno to bylo rychlým technologickým vývojem v oblasti DPZ. V současnosti se počet družic pohybuje v několika desítkách a v následujících letech je plánováno uvést do provozu řadu dalších družicových systémů. Největší vývoj družic nastal především v oblasti prostorového rozlišení. Nejnovější družice dnes umožňují získat snímky s přesností lepší než 1 m. Protože se veškerá pořizovaná data archivují a v kombinaci se snadnou dostupností aktuálních snímků prakticky jakéhokoliv území povyšují družicová data na neocenitelný informační zdroj a činí z nich mapovací nástroj dostupný každému uživateli. V současné době se družicová data stále častěji stávají efektivnější alternativou použití klasických postupů, např. leteckého snímkování nebo pozemního mapování (GISAT, 2018). Obrazová data, pořizovaná distančními metodami, především z družic, lze pro dané místo získávat opakovaně – v určitých časových intervalech. Tato data pak vytvářejí časovou řadu a bývají označována jako multitemporální (Dobrovolný, 1998).

Družicová data se dají dělit podle prostorového rozlišení. Data s nízkým a středním rozlišením jsou charakterizována prostorovým rozlišením v řádu 100 m až 1 km. Používají se např. ke globálnímu a kontinentálnímu mapování. Jedná se např. o družice Sentinel-3A (OLCI, SLSTR) či Landsat 8 (TIRS). Data s vysokým rozlišením jsou charakterizována prostorovým rozlišením v řádu 10 m. Často jsou používána současně v multispektrálním a panchromatickém režimu. Používají se převážně k mapování stavu, vývoje a změn v krajině, monitorování rozvoje měst, tvorbě DEM či sledování stavu a vývoje vegetace. Jedná se např. o družice SPOT 5 (HRG), Landsat 8 (OLI), WorldView-3 (SWIR, CAVIS), Sentinel-2A (MSI) nebo Sentinel-2B (MSI). Data s velmi vysokým rozlišením jsou charakterizována prostorovým rozlišením v řádu do 1 m. Mohou být pořizována pouze v panchromatickém režimu. Používají se např. k podrobnému mapování, plánování a projektování liniových staveb či mapování dopravních sítí. Jedná se např. o družice WorldView-3 (PAN, MS), SPOT 7 (NAOMI PAN, MS), QuickBird (PAN, MS), Ikonos (PAN, MS) či CartoSat-2F (PAN, HRMX) (GISAT, 2018).

Jedním z nejdůležitějších a téměř nenahraditelným nástrojem pro rychlou a finančně zpravidla nenáročnou detekci a následnou klasifikaci krajinného pokryvu je DPZ (Budd, 1991). Všechny snímky (obrazy), ať jsou pořizovány v kterékoliv části elektromagnetického spektra, jsou získávány tak, že mezi záznamovým médiem

(filmem, detektorem elektromagnetického záření) a snímaným objektem nedochází k fyzickému kontaktu (Plánka, 2007). Podle Koláře (1990) je hlavním smyslem DPZ stanovit určité fyzikální vlastnosti měřené látky nebo objektu z naměřených hodnot intenzity odraženého nebo emitovaného elektromagnetického záření. Využívá se přitom charakteristických spektrálních vlastností různých materiálů, které jsou závislé na druhu látky či objektu, jeho okamžitým fyzikálním stavem a také stavem jeho okolí. Vznikají tak užitečná data pro výzkum LUCC a také pro sledování stavu vegetace. Na základě obrazových dat pořízených družicemi (např. Landsat, SPOT či NOAA) lze sestavovat vegetační indexy (např. NDVI) či provádět klasifikaci využití krajiny (Tobolová et al., 2012). S rozvojem technologií DPZ začaly vznikat studie zabývající se hodnocením potenciálu družicových dat pro výzkum změn využití krajiny, např. Kolář (1990), Feranec (1990), Doubrava (1991). Pavelka (1997) zjišťoval land cover v Krušných horách ve vybraných letech pomocí dat Landsat, MSS (Multispectral Scanner) a TM (Thematic Mapper). V letech 1975, 1978, 1980 a 1981 družicová data MSS a v letech 1986, 1990, 1992 a 1994 družicová data TM. Při hodnocení výsledků byl největší problém porovnat mezi sebou výsledky TM a MSS. Ve studii Brodský, Soukup (2007) bylo cílem ověřit možnost využití metod DPZ (objektově orientovaná řízená fuzzy klasifikace) za účelem mapování krajinného pokryvu a také několika definovaných podtříd zemědělské krajiny v časové řadě 1990 - 2005. Pro klasifikaci byla použita multitemporální družicová data s vysokým rozlišením (Landsat 5 a 7, SPOT 4 a 5 či IRS P6). Pro každé roky (1990, 1995, 2000 a 2005) byly pořízeny minimálně dva snímky z různých ročních období pro lepší rozlišení vegetace. Výsledky objektově orientované klasifikace byly úspěšně aplikovány pro výpočet indikátorů změn v krajině.

Pro účely hodnocení stavu a změn land cover se stále častěji používají databáze vzniklé na podkladě zpracování dat DPZ. Feranec et al. (2002) provedli analýzu změn krajiny na Slovensku v letech 1976 - 1992 aplikací databází CORINE Land Cover. Dále poté získané poznatky uplatnit na příkladech okresů Dunajská Streda, Poprad a Snina. Pro identifikaci a analýzu krajiny Slovenska byly použity dvě vektorové databáze CORINE (CLC90 a CLC70) v měřítku 1:100 000. Hodnocení zjištěných změn krajiny na Slovensku bylo provedeno pomocí modelu DPSIR. Bylo zjištěno, že proces odlesňování je největší v okrese Snina (8,6 % z celkové rozlohy okresu), proces extenzifikace zemědělství je nejvíce patrný také v okrese Snina (3,5 % z celkové rozlohy okresu) a proces zástavby v okrese Dunajská Streda (3,3 % z celkové rozlohy okresu). V závěru autoři konstatují, že do budoucna bude nutné zlepšit kompatibilitu mezi databázemi CLC a daty používanými statistickými úřady, protože neobsahují stejné klasifikační třídy.

Data Urban Atlas našla také uplatnění ve studiích dynamických změn krajiny ve městech a jejich zázemí, např. Štych et al. (2015) či Pazúr et al. (2017). Ve studii Štych

et al. (2015) bylo hlavním cílem zhodnocení LUCC v metropoli Praze a jejím zázemí v letech 1989, 1999 a 2006, a dále zhodnocení vhodnosti použitých dat pro detekci změn. Nejprve bylo nutné porovnat klasifikační nomenklaturu databází Urban Atlas a Urban Atlas M-11 a následně bylo vytvořeno sedm srovnatelných kategorií. Z výsledků výzkumu je jasné, že nejvýraznější změny byly na okraji Prahy a jejím zázemí s vyšší dynamikou změn po roce 1999. Co se týče trendů vývoje změn, jednalo se hlavně o růst zástavby na úkor zemědělské půdy. Dále bylo potvrzeno, že databáze Urban Atlas je vhodná k analýzám hlavních změn LUCC v oblastech velkých měst a jejich zázemí. Ve studii Pazúr et al. (2017) bylo cílem identifikovat, analyzovat a vyhodnotit změny LUCC pomocí databáze Urban Atlas a statistických údajů ve funkčních městských oblastech (města v EU s více jak 50 tis. obyvatel s jejich zázemím) v Bratislavě a Praze v období 2006 - 2012 a dále porovnat trendy a intenzitu změny v Bratislavě a Praze ve vztahu k sociálně-ekonomického rozvoji obou metropolí. Z dosažených výsledků je zřejmé, že v obou sledovaných územích byl výrazný nárůst zastavěných ploch na úkor zemědělské půdy. Nejvyšší nárůst zastavěných a jiných umělých ploch byl v nejbližším zázemí měst a v blízkosti nejvýznamnějších silničních tahů. Dále byla prokázána vysoká míra korelace mezi růstem populace a rozlohy zastavěné plochy.

Družicové snímky ke klasifikaci krajiny byly využity v mnoha studiích. Ve studii Hais et al. (2006) byly řešeny dva projekty. První řešil vliv Jaderné elektrárny Temelín a okolní krajiny pomocí družicových snímků Landsat TM 5. V úvahu byly vzaty teplotně-vlhkostní parametry krajinného pokryvu (průměrné rozložení teplot a vlhkosti). Ze sledovaného aspektu nakonec nebylo možné přesně určit vliv elektrárny na okolí, protože se chová stejně jako běžná zástavba. Druhým řešeným projektem bylo hodnocení změn a model možného vývoje krajiny narušené povrchovou těžbou. Zájmovou oblastí byl lom ČSA (Mostecká pánev). K analýze byly použity mapy Stablního katastru a družicové snímky Landsat. Hlavními parametry byly hodnoty evapotranspirace a teploty. Dále zde byla navrhována studie pro rekultivaci území po těžbě. Studie Stanková, Matula (2017) se zabývá strukturou a změnami městské zeleně v centru Bratislavy pomocí dat z Sentinel-2A. Struktura městské zeleně se v období mezi roky 2003 až 2013 výrazně nezměnila. Celková rozloha zeleně studované oblasti se ve sledovaném období zmenšila z 405 ha na 394 ha. Nejvyšší pokles byl zaznamenán ve třídě městské zeleně v okolí rodinných domů. Zapříčiněno to bylo převážně výstavbou polyfunkčních budov a sekundární sukcesí.

2.3 STUDIE AKTUALIZACE KATASTRU POMOCÍ DPZ

V odborné literatuře lze najít několik relevantních studií zabývajících se využitím družicových dat pro účely tvorby a aktualizace dat katastru. Ve studii Raju et al. (2008)

využili data Ikonos na vybraném území Indie a pomocí vizuální interpretace a digitalizace vymezovali jednotlivé parcely katastru. Autoři závěrem konstatovali vysokou časovou a finanční náročnost použitého postupu. Z Indie též pochází studie od Mallicka (2013), který komplexně rozvádí možnosti užití VHR dat v katastrální evidenci. V sousedním Pákistánu byla využita družicová data v několika studiích. Ali (2012) využil data QuickBird pro dvě případové studie s různou topografií, tj. rovinatá a hornatá oblast v provincii Khyber Pakhtunkhwa v Pákistánu. Tato studie ukázala, že náklady a čas lze snížit na polovinu, pokud katastrální mapy jsou generovány pomocí této vyvinuté techniky. Ve studii Ali et al. (2012) bylo cílem aktualizovat a zlepšit stávající nedokonalý katastr v Pákistánu pomocí integrovaného přístupu. Bylo použito kombinace dat GPS, družicových snímků (QuickBird, SPOT 5) a stávajících katastrálních map. Výsledná data obsahují atributy - jméno vlastníka, plocha pozemku, číslo parcely, hranice parcel, tvar a další funkce. Dále je vytvořena nová aktualizovaná digitalizovaná katastrální mapa. Bylo zjištěno, že existuje více pozemků (hranic), než bylo zaneseno ve stávajícím katastru (katastrálních mapách). Dále bylo zjištěno, že integrovaný přístup je účinným nástrojem pro sběr katastrální informace a zjišťování hranic pozemků. Vzhledem k tomu, že se jedná o digitalizovaná data v databázi a tento přístup je poměrně rychlý a ve srovnání s klasickým terénním průzkumem méně nákladný, lze častěji aktualizovat katastrální data v Pákistánu.

V Evropě se zabývali aktualizací katastrální evidence Alexandrov et al. (2004) na příkladu území Sofie (Bulharsko). Použitými daty byly stávající topografická mapa v měřítku 1:5 000, družicový snímek QuickBird a digitální katastrální model Sofie. Vzhledem k tomu, že se pracovalo s družicovými snímky určitého rozlišení, nebylo možné identifikovat všechny objekty (hranice drobných budov). Bylo usouzeno, že družicové snímky QuickBird s použitým rozlišením (panchromatický snímek s rozlišením 0,6 m) splňují požadavky pro tvorbu topografické mapy v měřítku 1:5 000. Vysoce inspirativní přístupy přináší projekt LISA (Land Information System Austria), který má za cíl poskytovat veřejným orgánům a soukromému sektoru aktuální a podrobné geoprostorové informace o stavu a vývoji krajinného pokryvu území v Rakousku, hlavně díky použitím dat DPZ. Řešitelům projektu se podařilo velmi komplexně vyřešit zadaný úkol a vytvořit funkční metodiku a geoinformační systém s využitím leteckých a družicových snímků Sentinel-2 (Banko et al., 2012). V Německu je možné zaznamenat také několik iniciativ v aplikaci moderních geoinformačních dat včetně DPZ dat, viz např. Gruber et al. (2014). Ve studii Kohli et al. (2017) aplikují DPZ data na několik vybraných modelových území ve světě a snaží se posoudit možnosti využití DPZ i v kombinaci s jinými zdroji dat. Tato analýza byla užitečná pro pochopení rozmanitosti katastrální evidence jak v EU, tak i v jiných oblastech světa napříč různými oblastmi a poskytla další

výsledky pro pochopení o potenciálu použití dálkovém průzkumu pro rozsáhlé aplikace v pozemkové správě a v aktualizaci katastru.

2.4 KLASIFIKACE DAT DPZ SE ZAMĚŘENÍM NA OBIA PŘÍSTUP

Objektová metoda klasifikace (OBIA) umožňuje zahrnout do postupu zpracování i například kontextuální a další informace. Motivací tohoto nového přístupu bylo napodobení vizuální interpretace snímků člověkem (GISAT, 2018a). Jedním z důležitých kroků při OBIA je víceúrovňová segmentace obrazu. Existuje mnoho segmentačních algoritmů, které jsou založené na několika přístupech definice homogenity. Některé z nich pouze rozdělí obraz na čtverce podle homogenity oblasti (např. quart tree segmentation) či dokáží pracovat s měřítkovým faktorem a dále tvarovým a spektrálním parametrem obrazu (např. multiresolution segmentation). Metoda multiresolution segmentation umožňuje vytvářet propojenou hierarchii segmentů v různých úrovních rozlišení, což odpovídá též vizuálnímu přístupu klasifikace (GISAT, 2018a). Pro následnou klasifikaci lze definovat různá klasifikační pravidla založená na různé charakteristice objektů (spektrální, texturní), geometrickém tvaru objektů či sousedství objektů v rámci jedné úrovně. Mezi odvozené spektrální příznaky patří například vegetační indexy.

Studie Hájek, Svoboda (2007) se zabývá zkoumáním poškození kůrovcem v Trojmezí (NP Šumava) z dat leteckých snímků. Multitemporální analýza leteckých snímků byla založena na objektovém klasifikačním přístupu. V této studii byla vytvořena základní zákonitá posloupnost procesů, která zahrnovala segmentaci snímků do dvou hierarchických úrovní objektů, klasifikaci podle definovaného souboru příznaků, opravy hranic jednotlivých tříd pomocí kontextuální klasifikace. Sekvence procesů byla formou znalostní báze přenesena a postupně aplikována na snímky ze všech čtyřech časových období. Byla provedena segmentace na vyšší i nižší úrovni. Pro potřeby studie byly na vybrané lokalitě vymezeny čtyři základní kategorie klasifikace: živý les, suchý les, volná plocha, stín. Klasifikace byla řízena výběrem vzorků, jejichž příznaky byly porovnávány klasifikátorem nejbližšího souseda a představovaly vzorové plochy pro zařazení segmentů do tříd. Kategorie objektů byla definovány pomocí průměrných hodnot příznaků v jednotlivých spektrálních pásmech a jejich odvozeninách (rozdíly a podíly spektrálních pásem u barevných a infračervených snímků). Výsledky spektrální analýzy byly následně přehodnoceny a zpřesněny definicí vztahů kategorií na dvou úrovních objektové hierarchie, i v rámci sousedství. Pro každou kategorii bylo následně manuálně klasifikováno 45 rovnoměrně rozmístěných referenčních objektů, byla sestavena chybová matice a vypočten standardní statistický ukazatel správnosti klasifikace - index shody Kappa (KIA).

Studie Shackelford, Davis (2003) zkoumá užitečnost multispektrálních satelitních snímků s vysokým rozlišením pro klasifikaci městské a příměstské oblasti pomocí fuzzy modelu vedoucí ke zlepšení přesnosti klasifikace. Hierarchický fuzzy model byl aplikován na datové sady Columbia a Springfield, které byly použity pro klasifikace maximum likelihood. Celková přesnost obrazů datové sady Columbia se při implementaci fuzzy modelu zvýšila přibližně o 11 % a koeficient Kappa o 0,146. Celková přesnost obrazu ze sady Springfield se zvýšila přibližně o 8 % při použití fuzzy klasifikace a koeficient Kappa o 0,106.

Studie Al Fugara et al. (2009) se zabývá klasifikací land coveru v Malajsii. Byly analyzovány přesnosti klasifikací pixelových a objektově orientovaných. Byla provedena segmentace obrazu pomocí algoritmu fuzzy c-mean. Vytvořené segmenty byly následně klasifikovány pomocí metody založené na pixelech a pomocí fuzzy klasifikace. Pro potřeby fuzzy logiky byly použity funkce: a) vlastnosti objektu - průměry vrstev (modré, červené a NIR pásmo, jas GLCM střední 3x3, IHS, Sobel NIR), poměrové hodnoty vrstev (modré a červené pásmo), obecné tvarové funkce; b) vlastnosti související s třídou - relativní ohraničení sousedních objektů, relativní plocha dílčích objektů; c) index NDVI, HIS brightness index. V další fázi byly použity limity pro fuzzy klasifikaci vhodných spektrálních pásem pro jednotlivé třídy. Nakonec byla určena přesnost klasifikací pomocí obou zvolených metod.

Ve studii Benz et al. (2004) je řešena problematika objektově orientované klasifikace s využitím fuzzy modelování. Ve studii je popsána tvorba a fungování fuzzy modelu v software eCognition. Prvním krokem u objektově orientované klasifikace je segmentace obrazu na jednotlivé objekty. Vždy jsou nalezeny regiony minimální heterogenity vzhledem k určitému omezení. Objekty vytvořené v různých měřících mohou být propojeny společně s hierarchickou objektovou sítí jako jedna. Obrazová analýza má poté několik výhod. Všechny postupy segmentace poskytované v software eCognition pracují na libovolných úrovních v silné hierarchické síti. Fuzzy klasifikace patří mezi silné měkké klasifikátory. Fuzzy logika je vícehodnotová logika klasifikace nejistoty. Základní myšlenkou je nahradit dva booleovské logické výroky "true" a "false" za hodnoty 1 a 0. Fuzzy logika může modelovat nepřesné lidské myšlení a může představovat jazyková pravidla. Proto jsou klasifikační fuzzy systémy vhodné k získávání informací z dat DPZ. Fuzzy modely se skládají ze tří základních kroků - fuzzifikace, kombinace fuzzy množin (např. rule-base) a defuzzifikace. Fuzzifikace popisuje přechod z ostrého systému do fuzzy modelu. Fuzzy rule-base je kombinací fuzzy pravidel, které kombinují různé fuzzy množiny. Nejjednodušší fuzzy pravidla jsou závislá pouze na jedné fuzzy množině. Defuzzifikace je proces převodů výsledků zpět do ostrých systémů.

3. ŘEŠENÁ ÚZEMÍ, POUŽITÁ DATA A METODIKA

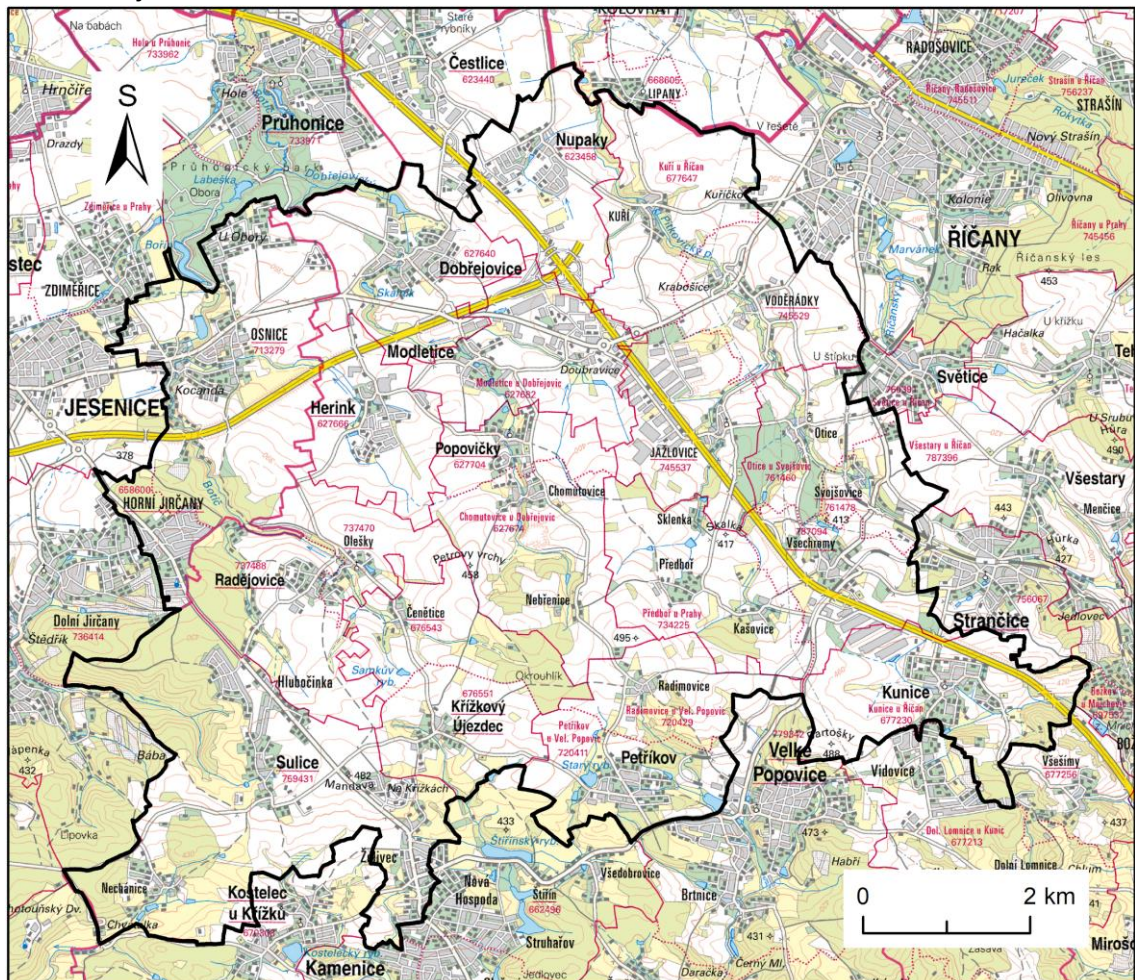
3.1 ZÁJMOVÁ ÚZEMÍ

Pro účely této práce byla vybrána dvě modelová území, pro která se podařilo obstarat vhodná data a byl též vykonán terénní výzkum. Území se též odlišovala svým charakterem: první území lze charakterizovat jako suburbánní oblast v zázemí Prahy, druhé území je lokalizováno v zemědělské oblasti s periferním charakterem.

3.1.1 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ 1

Oblast se nachází ve středních Čechách na území okresů Praha-východ a Praha-západ. Oblast se rozprostírá na ploše 73,21 km² na katastrálních územích obcí Jesenice, Dobřejšovice, Nupaky, Říčany, Modletice, Herink, Radějovice, Popovičky, Strančice, Sulice, Křížkový Újezdec, Petříkov a Kunice (viz Obr. 1).

Obr. 1: Zájmové území 1



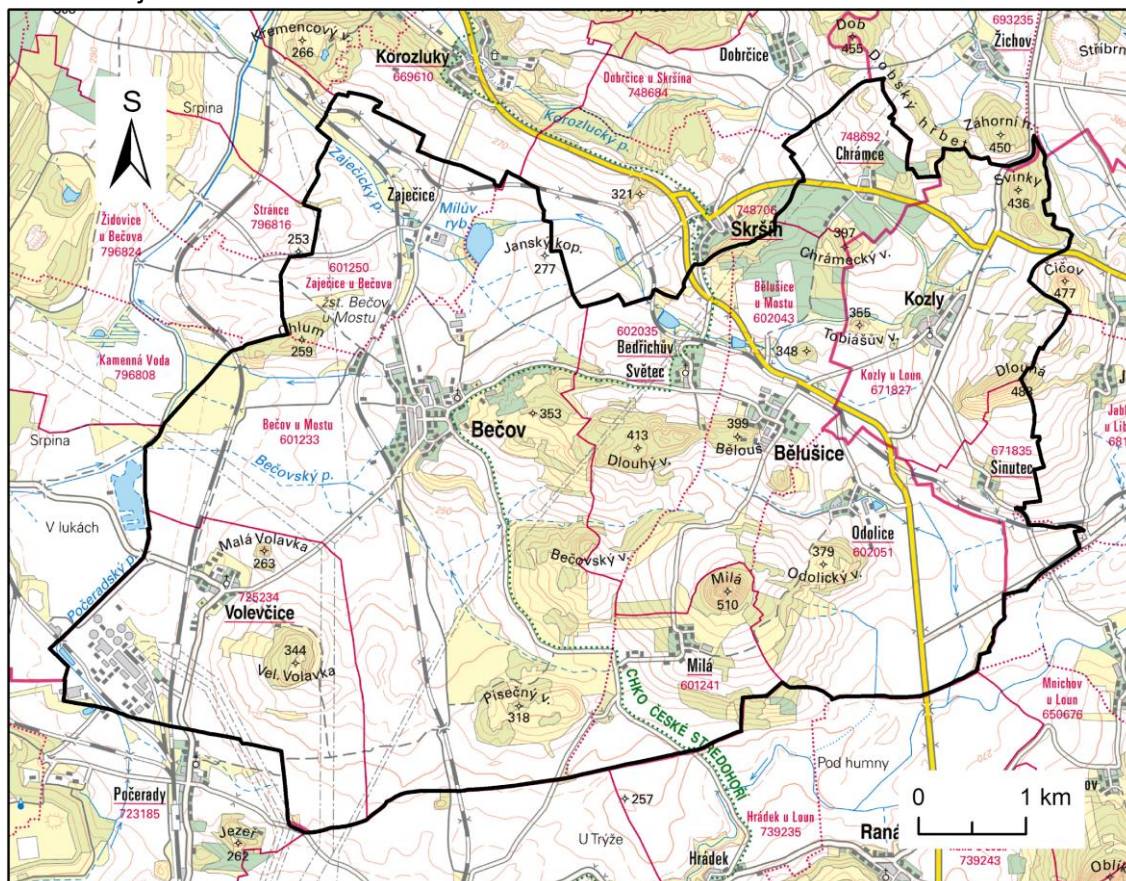
Pozn.: zájmové území zobrazeno černou linií

Zdroj: Základní mapa, vlastní zpracování

3.1.2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ 2

Oblast se nachází v severozápadních Čechách na rozhraní okresu Most a Louny. Oblast se rozprostírá na ploše 41,52 km² na katastrálních územích obcí Skršín, Bělušice, Bečov, Volevčice, Kozly a Libčeves (viz Obr. 2).

Obr. 2: Zájmové území 2



Pozn.: zájmové území zobrazeno černou linií

Zdroj: Základní mapa, vlastní zpracování

3.2 DATA

3.2.1 SENTINEL-2

Pro účely této práce byla použita data Sentinel-2. Sentinel-2 je družicová mise v rámci programu Copernicus (dříve GMES - Global Monitoring for Environment and Security), kterou společně provádějí Evropská komise a Evropská kosmická agentura (ESA). Družice Sentinel-2 navazuje na mise družic Landsat a SPOT. Oproti těmto družicím má ale lepší prostorové rozlišení a větší šířku záběru. Sentinel-2A byl vypuštěn 23. června 2015 a Sentinel-2B 7. března 2017 (EoPortal Directory, 2018). Družice Sentinel-2 je určena ke sledování zemského pokryvu s využitím v mnoha oblastech - zemědělství, lesnictví, sledování růstu měst. Dále data mohou sloužit ke zjišťování

zdravotního stavu vegetace, množství biomasy či stáří lesního porostu. Data lze také využít v oblasti civilní bezpečnosti - sledování lesních požárů, dlouhodobého sucha nebo povodní (Drusch et al., 2012). Družice je vybavena multispektrálním senzorem MSI, který obsahuje 13 spektrálních pásem od viditelných, přes blízká infračervená NIR až po krátkovlnná infračervená záření SWIR, viz Tab. 2. Spektrální pásma lze rozdělit podle prostorového rozlišení do kategorií - 10 m, 20 m či 60 m. Časové rozlišení (perioda snímání) Sentinelu-2A je 10 dnů, v kombinaci se Sentinelem-2B jen pak cca 5 dní. Nad vybranými místy Evropy či Kanadou proletí jedna z družic dokonce každé 2 - 3 dny (Drusch et al., 2012).

Tab. 2.: Spektrální pásma Sentinel-2

pásma	kód spektrálního pásma	rozsah [μm]
2	BLUE	0,4575 – 0,5225
3	GREEN	0,5425 – 0,5775
4	RED	0,6500 – 0,6800
8	NIR	0,7845 – 0,8995
5	RED EDGE	0,6978 – 0,7125
6	NIR	0,7325 – 0,7475
7	NIR	0,7730 – 0,7930
8b	NIR	0,8550 – 0,8750
11	SWIR	1,5650 – 1,6550
12	SWIR	2,1000 – 2,2800
1	COASTAL	0,4330 – 0,4530
9	NIR	0,9350 – 0,9550
10	NIR	1,3650 – 1,3950

Zdroj: GISAT, 2019a

S ohledem na plošný charakter parcel katastrální evidence, tzn. průměrná velikost parcely a vyšší míra rozdrobenosti (celkem bylo hodnoceno 4 419 parcel KN; průměrná velikost parcely v hodnocených územích je 3 539,32 m² a 282,53 parcel/km²), bylo rozhodnuto využít pouze data Sentinel-2 s nejvyšším prostorovým rozlišením, tzn. 10 m. Byla tedy využita pásma ve viditelném spektru (2, 3, 4) a pásma v blízkém infračerveném spektru (8). S ohledem na velikost parcel zemědělského půdního fondu

nebyla využita data s prostorovým rozlišením 20 metrů RedEdge pásem (8a, ...) a Coastal pásmo (1) s prostorovým rozlišením 60 m. Sledovanými roky byly 2017 a 2018. Za obě sledovaná území byla sesbírána bezoblačná data od 1. dubna do 31. října. Hodnocená data dokumentuje Tab. 3.

Tab. 3: Vybrané snímky Sentinel-2

zájmové území 1		zájmové území 2	
2018	2017	2018	2017
19. duben (S-2A)	24. duben (S-2A)	19. duben (S-2A)	24. duben (S-2A)
6. květen (S-2A)	3. červen (S-2A)	14 květen (S-2B)	3. červen (S-2A)
3. červenec (S-2B)	20. červen (S-2A)	3. červenec (S-2B)	20. červen (S-2A)
7. srpen (S-2A)	29. srpen (S-2A)	7. srpen (S-2A)	29. srpen (S-2A)
16. září (S-2A)		16. září (S-2A)	
16. říjen (S-2A)		16. říjen (S-2A)	

Zdroj: vlastní zpracování

Všechny scény byly staženy z webových stránek ESA Sentinel Online - Copernicus Open Access Hub. Byly vybrány snímky úrovně L2 (S2MSI2A a S2MSI2Ap), které jsou již po geometrických a atmosférických korekcích. Vybrány byly bezoblačné scény. Bezoblačnost byla stanovena na základě vizuální interpretace. Všechny snímky byly nasnímány senzorem MSI a obsahovaly všech 13 spektrálních pásem. Pro účely práce byla použita pouze čtyři pásma - GREEN, BLUE, RED a NIR, v původním rozlišení 10 m. Stažené snímky byly v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM Zone 33N.

3.2.2 KATASTR NEMOVITOSTÍ

Katastrální data ve vektorové podobě byla stažena z webových stránek ČÚZK přes Výměnný formát Veřejného dálkového přístupu RÚIAN (Registr územní identifikace, adres a nemovitostí) podle katastrálních územích dané oblasti. RÚIAN je veřejný seznam, který umožňuje volný přístup ke katastrálním datům. Data KN byla stažena 5. 3. 2019.

Data ve své atributové složce za každou parcelu nesou druh a způsob využití pozemku. U zastavěných ploch lze nalézt typ stavby, způsob využití stavby, typ jednotky, způsob využití jednotky, vlastníka jednotky či typ a způsob ochrany nemovitosti a další. Druhy pozemků a jejich způsoby využití definuje příslušná vyhláška (Vyhláška

č. 357/2013 Sb.). Pro účely této práce byly řešeny vybrané kategorie zemědělské půdy: orná půda, trvalé travní porosty, sady a vinice. Přesné definice dokumentuje Tab. 4.

Tab. 4.: Definice vybraných kategorií pozemků KN

kód	název	definice
2	orná půda	Pozemek obdělávaný za účelem produkce plodin nebo pozemek, který je k dispozici pro rostlinnou výrobu, ale je ponechán ladem, případně pozemek, který je dočasně zatravněn v rámci systému střídání plodin.
4	vinice	Pozemek rovnoměrně a souvisle osázený keři vinné révy opatřený opěrným zařízením, včetně plochy souvisejícího manipulačního prostoru, který netvoří součást cesty.
6	ovocný sad	Pozemek souvisle osázený ovocnými stromy nebo ovocnými keři nebo pozemek tvořící s okolními pozemky takto osázený souvislý celek.
7	trvalý travní porost	Pozemek využívaný k pěstování trav nebo jiných bylinných pícnin, který nebyl zahrnut do systému střídání plodin a na kterém se mohou vyskytovat rozptýlené stromy a keře, případně jejich skupiny, pokud trávy a jiné bylinné pícniny i nadále převažují.

Zdroj: Vyhláška č. 357/2013 Sb.

3.2.3 LPIS

Důležitým aspektem klasifikace je vyhodnocení přesnosti (accuracy assessment). Pro účely této práce byla vybrána data LPIS (Land Parcel Identification System) jako data určená k vyhodnocení přesnosti klasifikace. Data LPIS byla z 29. 12. 2019. Data LPIS je jedním ze základních prvků tzv. Integrovaného administrativního kontrolního systému (IACS) a legislativně je ukotven v Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1306/2013 a v rámci České republiky je veden na základě zákona č. 252/1997 Sb., o zemědělství. LPIS je realizován prostřednictvím geografického informačního systému (GIS). Jeho hlavním účelem je jednoznačná identifikace zemědělských pozemků a primárně slouží jako referenční databáze sloužící k ověřování údajů uvedených v žádostech o dotace poskytovaných ve vazbě na zemědělskou půdu. LPIS v ČR je tvořen primárně evidencí využití půdy podle uživatelských vztahů, která se skládá z:

- evidence půdy,
- evidence ekologicky významných prvků,
- evidence hospodářství podle objektů určených k chovu evidovaných zvířat.

Správce LPIS v České republice je Ministerstvo zemědělství, ovšem aktualizaci dat v evidenci využití půdy podle uživatelských vztahů provádí Státní zemědělský a intervenční fond (SZIF). LPIS je aktualizován průběžně, přičemž pakliže dojde ke změně ve využití půdy, je uživatel dotčené půdy v souladu s platnou legislativou povinen tuto změnu Státnímu zemědělskému intervenčnímu fondu ohlásit, a to ve lhůtě 15 dní poté, co ke změně došlo (LPIS, 2019).

U pozemků, které nebyly uvedeny v LPIS, byl sběr informace o land use pro účely hodnocení přesnosti klasifikace učiněn pomocí ortofot a topografických dat Zabaged 10. V některých případech nebylo možno přesně určit charakter využití půdy ani pomocí ortofot či topografických map Zabaged 10. Byl proto proveden terénní výzkum. Terénním výzkumem byly kontrolovány problematické lokality, hlavně kategorie orné půdy, trvalých travních porostů, sadů a vinic.

3.3 METODIKA

Tato kapitola popisuje použité metody zpracování a vyhodnocení dat. Ke zpracování dat a vyhodnocení přesnosti a výsledků bylo využito software eCognition Developer, ESRI ArcGIS a MS Excel. Software eCognition Developer je určen především pro vytváření a vývoj bází pro objektovou klasifikaci a jejich převedení do funkčního klasifikačního modelu (klasifikační báze), který je dále možné převést do hotového řešení v jednoduchém grafickém prostředí. Obsahuje kompletní řadu funkcí a nástrojů zaměřených na segmentaci a následnou klasifikaci leteckých a družicových snímků (GISAT, 2019).

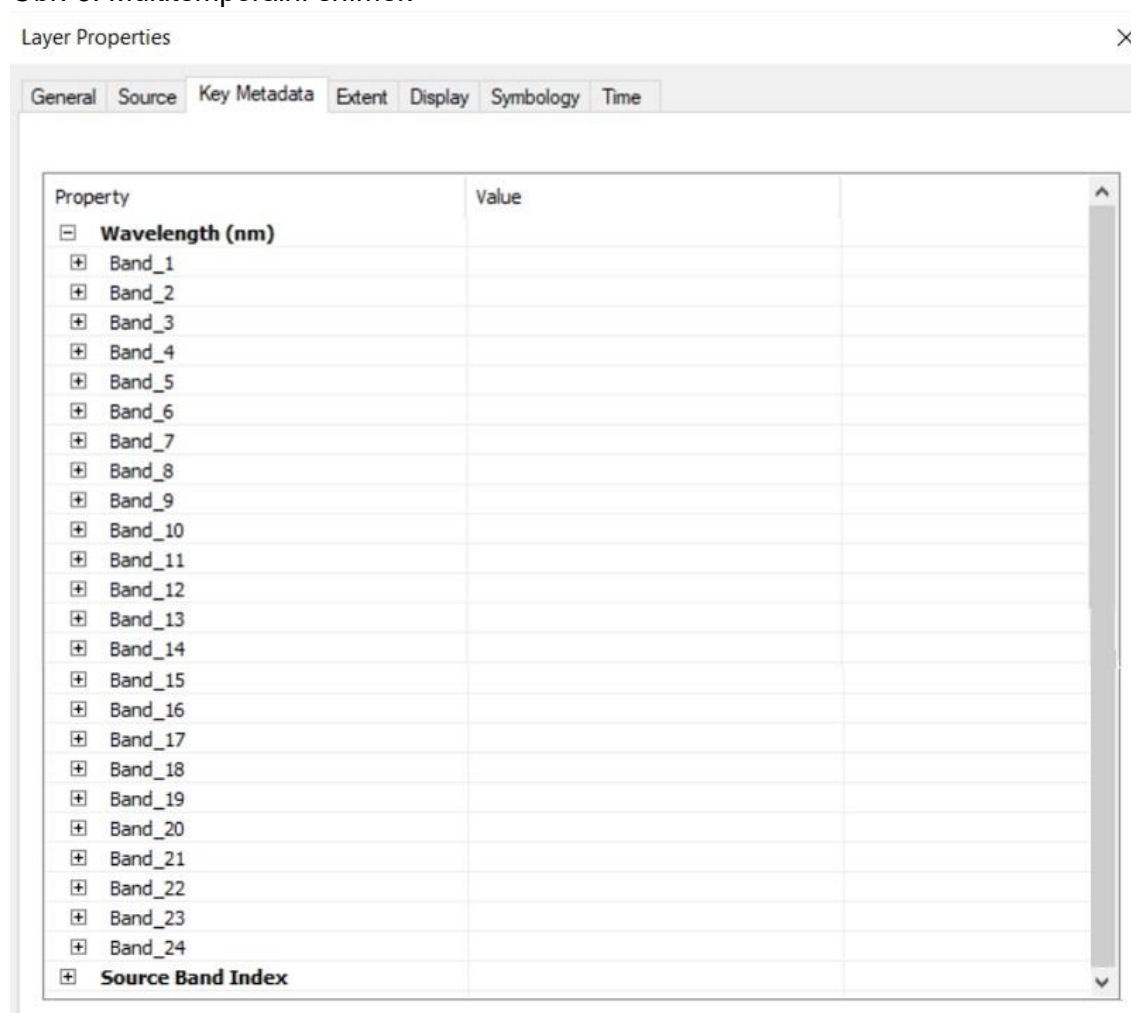
3.3.1 PŘEDPŘÍPRAVA DAT

Jak již bylo zmíněno, v práci byly použity družicové snímky Sentinel-2, vektorová katastrální data a data LPIS ve vektorové podobě. Získané údaje z KN byly za každé ze zájmových území upraveny v software ESRI ArcGIS pomocí funkcí Join Data a Merge. Těmito nástroji byly připojeny atributy z bodových vrstev KN k polygonovým a dále spojeny ve finální vektorovou vrstvu ve formátu shapefile. Pro další práci byla data za jednotlivé katastry v obou zájmových územích sloučena pomocí funkce Dissolve. Obě zájmová území byla rozšířena o zónu 1 km. Vnější buffer 1 km byl vytvořen, aby bylo zaručeno, že polygony budou při OBIA klasifikaci obsahovat veškeré pixely dat Sentinel-2, které do objektu/parcely náleží.

Pro účely multitemporální klasifikace bylo vyhledáno a použito šest (2018)/čtyři (2017) bezoblačných snímků Sentinel-2 pro každé území pro oba sledované roky, celkem tedy 10 snímků, viz výše uvedená Tab. 3. Za účelem zisku územně přesného, objemově méně náročného snímku vstupujícího do dalších procesů byly stažené snímky

ořezány pomocí funkce Extract By Mask, kde vstupními daty byly požadované scény a polygon vymezeného území s bufferem 1 km. Po prostorovém ořezu všech snímků byly všechny scény za jednotlivá území zkompletovány/spojeny do multitemporálního datasetu ve formátu TIFF pomocí funkce Composite Bands. Ve výsledku pro každé území vytvořený dataset obsahoval 24 snímků (pásen), protože šest využitých scén obsahovalo zmíněná čtyři pásma, viz Obr. 3. Bylo tak využito časové řady snímků, která byla vytvořena pro roky 2017 a 2018.

Obr. 3: Multitemporální snímek



Zdroj: vlastní zpracování

Protože jsou data KN distribuována v souřadnicovém systému S-JTSK Krovak East North, bylo je nutné převést na stejný souřadnicový systém dat Sentinel-2 (WGS 1984 UTM Zone 33N) a to pomocí funkce Project.

Co se týče stanovení minimální mapovací jednotky pro klasifikaci land use, tak v patnost se bralo prostorové rozlišení dat Sentinel-2. Vzhledem k charakteru těchto dat byla zvolena minimální mapovaná jednotka 3 x 3 pixely Sentinel-2, tzn. 30 x 30 metrů.

Z tohoto důvodu polygony KN (segmenty) menší než 900 m² a užší než 30 m nevstupovaly do klasifikace a byly eliminovány pomocí nástroje Eliminate. Eliminované polygony měly převážně stejné využití jako sousední polygony. Detekce polygonů užších než 30 m při ploše nad 900 m² byla provedena výpočtem poměru mezi plochou (Shape_Area) a obvodem (Shape_Length) polygonu KN. Eliminovány byly polygony s poměrem nižším než 15.

3.3.2 SEGMENTACE OBRAZU

Pro účely objektově orientované klasifikace bylo nutné nejdříve provést segmentaci. Segmentace slouží k automatickému rozdělení reálného obrazu (snímku) na oblasti se společnými atributy. Identifikuje tedy oblasti zájmu s charakterizujícími příznaky vstupující do objektově orientované klasifikace (Dougherty, 2009).

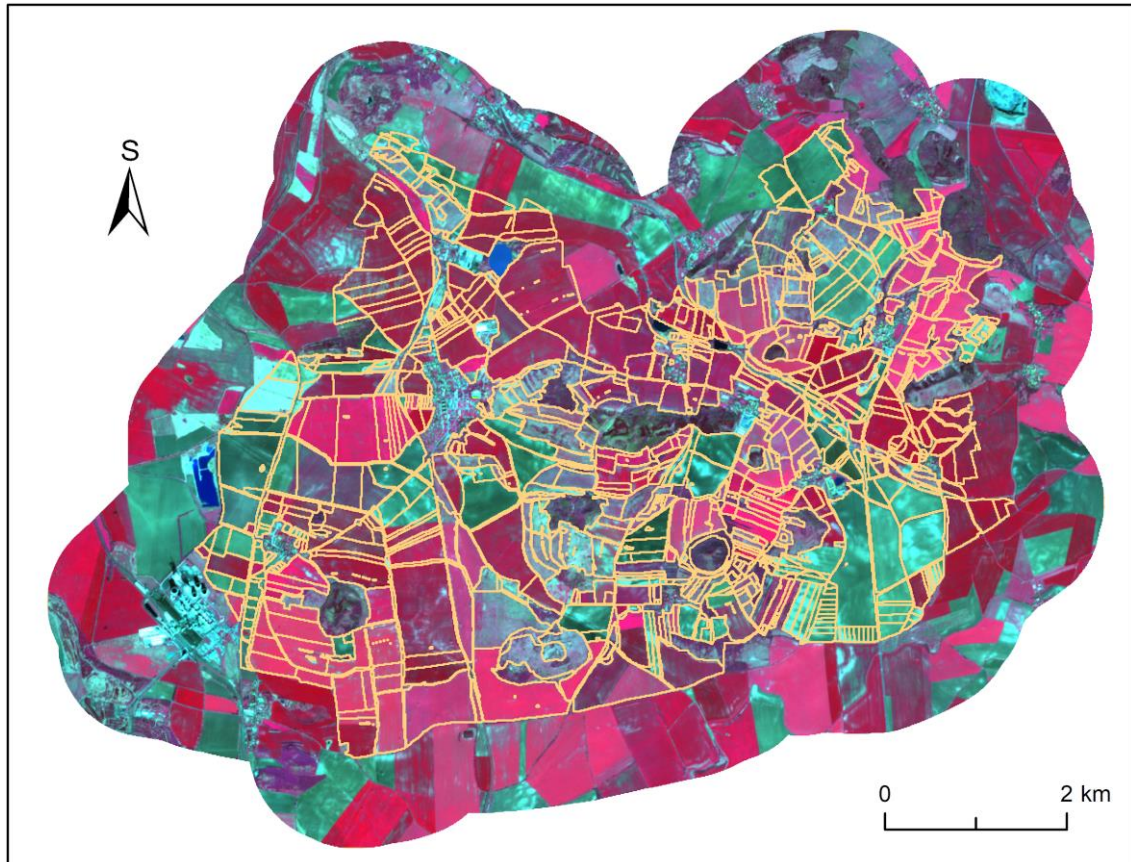
Jedním z důležitých úkolů práce bylo ověření, zdali parcely katastrální evidence odpovídají či neodpovídají reálným krajinným ploškám. Aby bylo možné porovnat polygony/parcely KN s reálnou strukturou krajiny, bylo nutné provést segmentaci družicového snímku. V prvním kroku byla segmentace provedena s podmínkou, aby segmenty byly totožné jako polygony vstupních dat KN (jednotlivé parcely). K tomuto účelu byla v software eCognition zvolena segmentace chessboard. Vstupní vrstvou byla polygonová vrstva KN obsahující jednotlivé parcely. Nastavena byla hodnota parametru měřítka (scale) odpovídající délce/šířce území (hodnota 1430). Na Obr. 4 je zobrazena výsledná segmentace pro zájmové území 2.

K účelu vymezení krajinných plošek byla zvolena segmentace multiresolution, která člení obraz dle uspořádání pixelů. Kritériem homogenity je kombinace barvy (spektrálních hodnot) a vlastností tvaru (tvar se rozdělí na hladkost a kompaktnost). Pomocí různých kombinací měřítka a parametrů barvy/tvaru je uživatel schopen vytvořit hierarchickou síť obrazových objektů (Darwish et al., 2003). Tato segmentace vyžaduje nastavení následujících parametrů: scale (měřítka), color (barva), shape (tvar), compactness (kompaktnost) a smoothness (hladkost).

Hodnota parametru měřítka ovlivňuje výslednou průměrnou velikost objektu. Čím větší je parametr měřítka, tím větší jsou generovány objekty. Parametry color a shape se navzájem ovlivňují. Čím silnější je kritérium tvaru (shape), tím méně spektrální/barevná homogenita ovlivňuje generování objektu (Gupta, Bhaduria, 2014). Spektrální (barevná) heterogenita obrazového objektu se počítá jako součet směrodatných odchylek spektrálních hodnot každé vrstvy vynásobeného váhami pro každou vrstvu. Kritérium barvy se počítá jako vážený průměr všech změn směrodatné odchylky pro každé pásmo pásmem datového souboru dálkového průzkumu. Směrodatná odchylka je vážena velikostí objektu (počtem pixelů). Parametr smoothness

popisuje podobnost mezi okraji obrazového objektu a dokonalým čtvercem. Optimalizuje tak výsledné obrazové objekty s ohledem na hladké hrany v rámci kritéria tvaru. Parametr compactness optimalizuje výsledné obrazové objekty s ohledem na celkovou kompaktnost v rámci kritéria tvaru (Ouyang, 2015).

Obr. 4: Segmentace obrazu chessboard



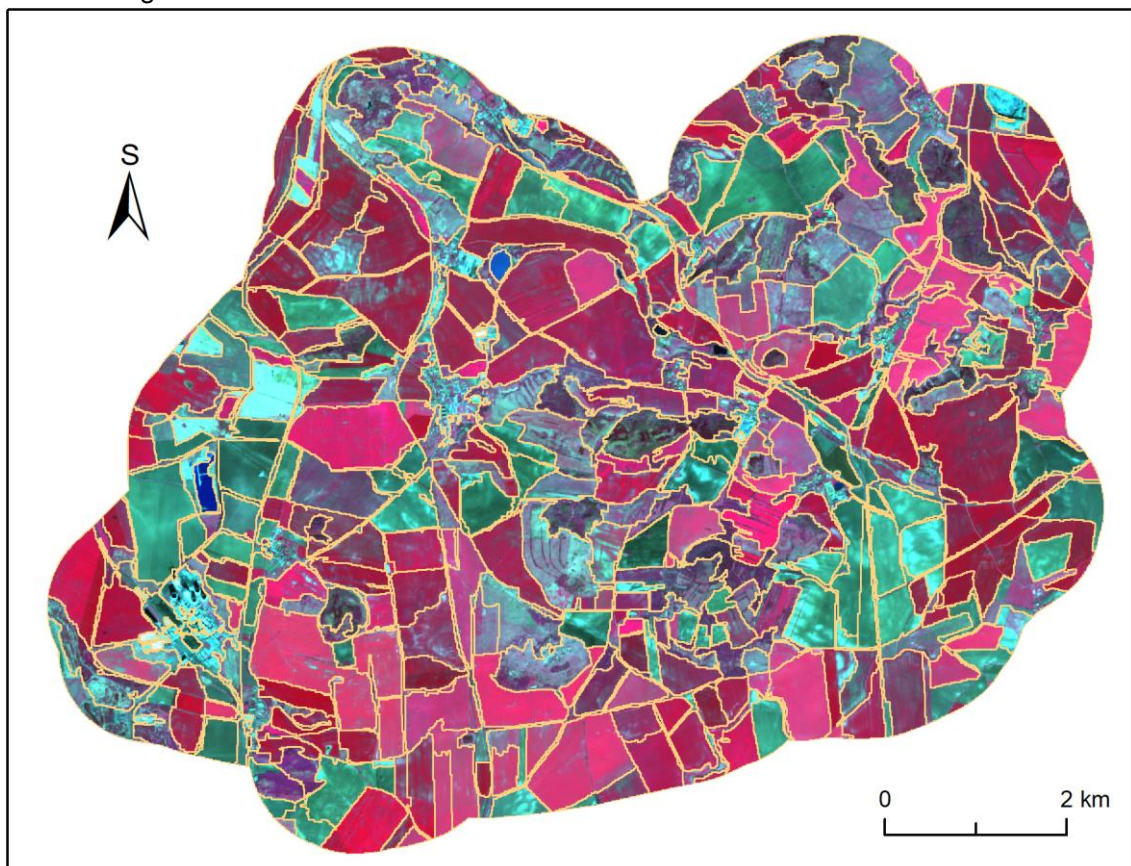
Pozn.: segmentace znázorněna žlutou linií

Zdroj: Copernicus, vlastní zpracování

Po četných testech a nastudování problematiky segmentace zemědělské krajiny v odborné literatuře (např. Montagni et al., 2013) byly zvoleny následující parametry segmentace družicového snímku Sentinel-2: shape = 0,6, compactness = 0,8 a scale = 200. Segmentovány byly multitemporální snímky Sentinel-2 pořízené pro obě modelová území. Segmentace proběhla s využitím všech 24 pásem (6 scén x 4 použitá pásma). Pro segmentaci byla použita pásma s prostorovým rozlišením 10 metrů. Vyhodnocení přesnosti segmentace multiresolution bylo provedeno vizuální kontrolou výsledné polygonové vrstvy nad ortofotem a družicovým snímkem. Akceptovatelná byla 90% shoda polygonů odpovídajících ploškám zobrazeným na snímku. Na Obr. 5 je zobrazena výsledná segmentace multiresolution pro zájmové území 2. Výsledné vrstvy segmentace byly exportovány a mezi sebou porovnány. Pro porovnání vrstev mezi sebou, bylo nutné

vrstvy překrýt (funkce Overlay - Intersect) a následně se řešila pouze totožná/překrývající se plocha (odpovídající ploše polygonů KN). Překrytí vygenerovaných segmentačních vrstev bylo provedeno v software ESRI ArcGIS a následně byly odlišnosti vyhodnoceny vizuální interpretací a také statisticky - průměrný počet polygonů KN připadajících na jednu plošku segmentace. Polygony KN byly převedeny pomocí funkce Feature To Point na centroidy. Následně byly překryty (funkce Intersect) vrstvou segmentace multiresolution a poté pomocí funkcí Statistics zjištěna průměrná hodnota.

Obr. 5: Segmentace obrazu multiresolution



Pozn.: segmentace znázorněna žlutou linií

Zdroj: Copernicus, vlastní zpracování

3.3.3 KLASIFIKAČNÍ BÁZE

Jako základ metody klasifikace je brán fuzzy OBIA model, kterého se využívá úspěšně tam, kde existuje expertní znalost problematiky a vyžaduje komplexní popis (GISAT, 2018a). Slovní zápis je možné přepsat pomocí fuzzy funkcí příslušnosti a logických operátorů (and, or, not) do matematického výrazu. Kromě základních fuzzy operátorů je možno využívat pravidla „jestliže-pak“. V kombinaci s funkcí loop (smýčka) je současně možné vytvářet například rekurzní pravidla. Tento implementovaný koncept

umožňuje tvorbu složitých a komplexních modelů, které jsou pak označovány jako znalostní báze (GISAT, 2018a).

Důkladné definování klasifikační báze je velmi důležité pro správný průběh klasifikace. Důležitou součástí je také správné nastavení legendy. Legenda klasifikace byla definována dle druhů pozemků v KN. Bylo určeno pět základních kategorií - orná půda, vinice, ovocný sad, trvalý travní porost a ostatní (podrobný popis řešených tříd viz Vyhláška č. 357/2013 Sb.).

V prvé řadě bylo velmi důležitým krokem stanovení přesné metody klasifikace zvolených tříd. Kromě spektrálních pásem bylo rozhodnuto využít pro účely klasifikace vegetačních indexů. Výběr vegetačních indexů byl řízen doporučením odborné literatury (Motohka et al, 2010; Zhang et al., 2017).

Pro účely klasifikace objektů bylo rozhodnuto použít následující vegetační indexy: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a CVI (Chlorophyll Vegetation Index). NDVI a CVI jsou dle Index DataBase (2019) definovány takto:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$
$$CVI = NIR \frac{RED}{GREEN^2}$$

Průměrné hodnoty vegetačních indexů za sledované segmenty byly počítány pomocí zonálních statistik v software ESRI ArcGIS (funkce Zonal Statistics as Table), kde byly jako vstupní parametry použity polygony KN (segmenty) a jednotlivá spektrální pásma a výpočty vegetačních indexů (časová řada snímků). Na základě těchto hodnot se stanovovaly relevantní prahové hodnoty pro klasifikaci jednotlivých sledovaných typů land use.

Prahové hodnoty byly určovány pomocí následujícího experimentálního postupu. Vypočtené vegetační indexy byly zobrazeny do křivek (grafů) a u každé z kategorií byl hodnocen jejich vývoj. Na základě podobností spektrálních křivek byly stanoveny mezní hodnoty v každém sledovaném měsíci, ve kterých se daná křivka nacházela. Následně z mezních hodnot byly určeny prahové hodnoty jednotlivých kategorií.

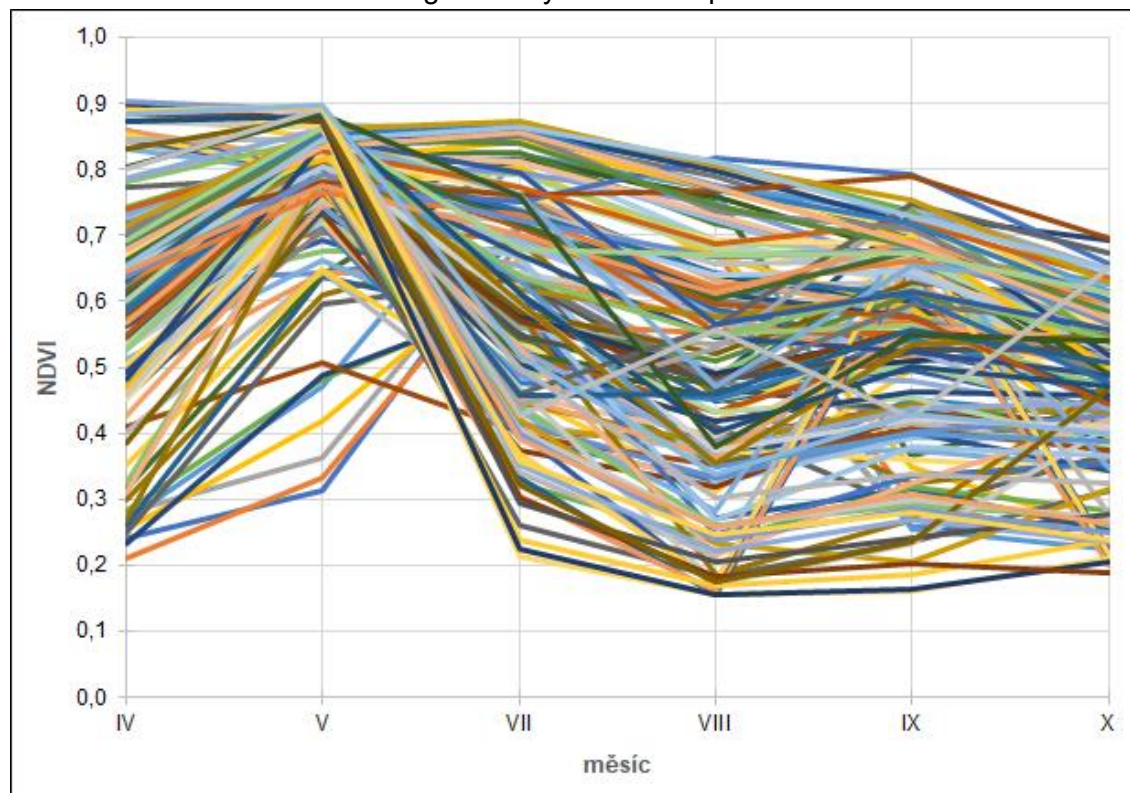
Prahové hodnoty sloužily pro rozlišení/klasifikaci jednotlivých sledovaných typů land use, tzn. orné půdy, trvalých travních porostů, ovocných sadů a vinic. Pro určení prahových hodnot sloužily analýzy vývoje spektrálních charakteristik vegetace sledovaných ploch ve sledovaných letech 2017 a 2018.

Protože v rámci jedné kategorie se dají najít odlišnosti/heterogenita ve spektrálních charakteristikách (např. vícero plodin na orné půdě), bylo nutné vytvořit více podkategorií (podtříd), spektrálních tříd, viz Obr. 6.

Tyto subkategorie by měly odpovídat jednotlivým vegetačním typům (plodinám) sledovaných kategorií land use, nalézajícím se ve sledovaných území ve sledovaných

letech 2017 a 2018. Přehled subkategorií a jejich vlastnosti (vývoj hodnot vegetačních indexů) dokumentuje Příloha 1. Byla tak vytvořena spektrální knihovna jednotlivých vegetačních druhů na sledovaných plochách obsahující 20 záznamů.

Obr. 6: Rozložení hodnot v kategorii trvalých travních porostů



Zdroj: vlastní zpracování

Pro definici klasifikačních kritérií OBIA bylo zapotřebí detailní vyhodnocení spektrálních křivek odrazivosti zaznamenaných na všech sledovaných plochách. Matematicky se vyhodnocoval vývoj spektrálních křivek: vývoj v čase, rozmezí hodnot - maxima a minima hodnot, vzájemná podobnost křivek. Obrovskou výhodou využití dat Sentinel-2 bylo to, že sledované parametry/zkoumané hodnoty nebyly hodnoceny pouze v jednom časovém období (pomocí jednoho snímku), nýbrž multitemporálně (jaro - podzim), tzn. s využitím více snímků během roku. Využívány byly tak výtečné vlastnosti dat Sentinel-2, co se týče časového rozlišení. Bylo tak umožněno vyhodnocení spektrálních křivek v rámci celého fenologického cyklu. Tento aspekt byl velmi důležitý pro rozlišení/detekci tříd zemědělské půdy - trvalých travních porostů, trvalých kultur a orné půdy. Trvalé kultury vykazovaly během fenologického cyklu vysoké hodnoty spektrální odrazivosti vegetace (NDVI), nejvíce však v letních měsících. Od trvalých travních porostů se odlišovaly průběhem křivky v měsíci dubnu, kdy trvalé travní porosty vykazují vyšší hodnoty odrazivosti, a také v měsíci červenci, kdy trvalé kultury dosahují

vyšších hodnot odrazivosti. U kategorie orné půdy byly nalezeny určité odlišující zákonitosti průběhu spektrálních křivek - období výsadby plodin, období růstu vegetace a období sklizně.

Pro přesnější výsledky definování parametrů klasifikační báze byly využity snímky ze dvou let, tzn. časová řada byla sledována v letech 2017 a 2018. Metodika tak vycházela z hodnot vypočtených za roky 2017 a 2018 v obou sledovaných územích.

Pro klasifikaci bylo nutné stanovit vstupní parametry/prahové hodnoty. Objektově-orientovaná klasifikace byla realizována v software eCognition. Nejprve byly definovány jednotlivé třídy pomocí Class Hierarchy (panel Classification). Všechny klasifikační kritéria - prahové hodnoty, byly vloženy pomocí expression Threshold. Posléze bylo potřeba u segmentů obrazu pomocí funkce Image Object Information překontrolovat hodnoty vstupních parametrů a celý proces opakovaně otestovat. Použitý metodický přístup je založen na metodě prahování, která vyžaduje pečlivou experimentální činnost a testování nastavených prahových hodnot. Příloha 2 zobrazuje výsledné prahové hodnoty, tzn. nastavení klasifikačních kritérií.

Pomocí funkce Classification byla spuštěna klasifikace a byly vygenerovány požadované klasifikační třídy pro zájmová území.

3.3.4 HODNOCENÍ PŘESNOSTI KLASIFIKACE

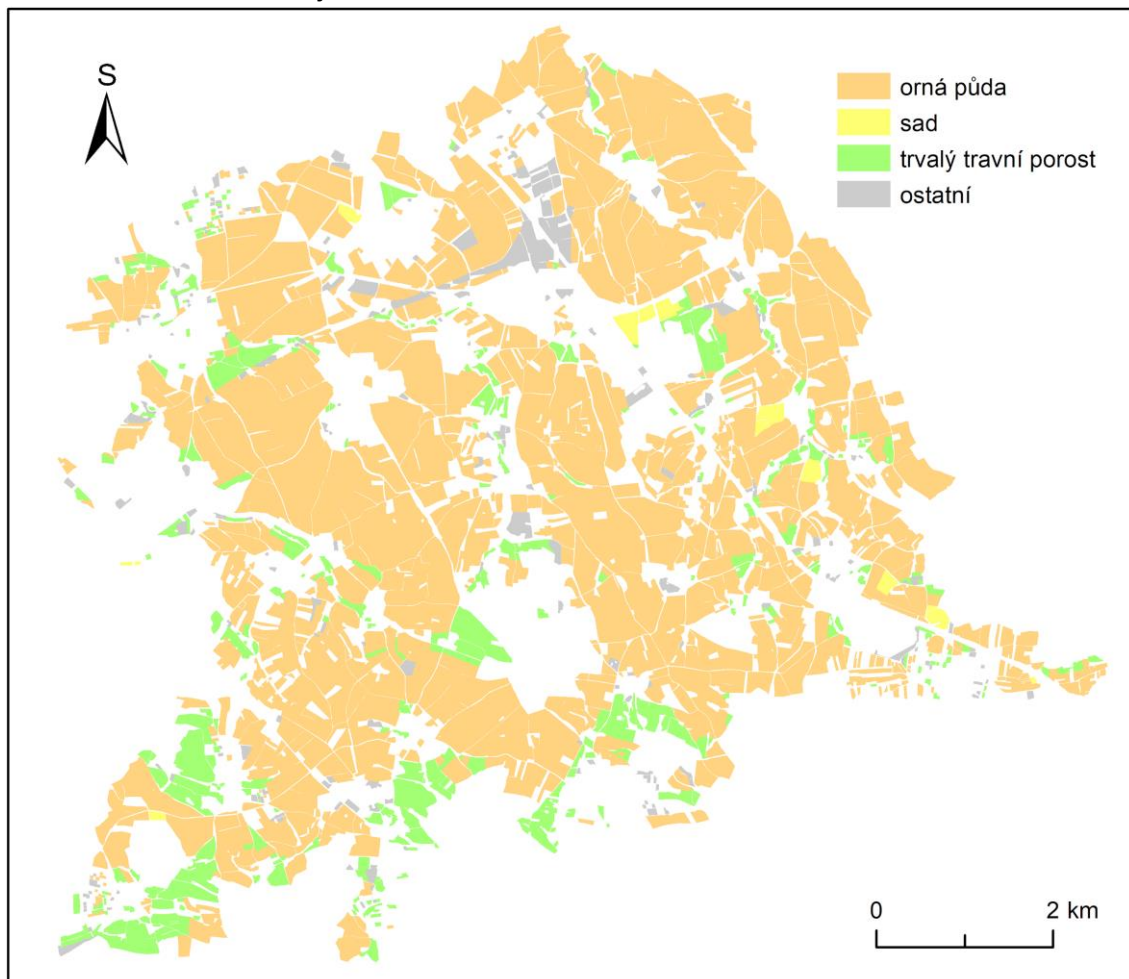
Jednou z nejdůležitějších částí klasifikace je zhodnocení přesnosti. Jedná se o proces, ve kterém jsou porovnány mezi sebou výsledky klasifikace a reálného stavu, který je reprezentován validními/kontrolními daty (Lillesand et al., 2008). Přesnost klasifikace je možné hodnotit pomocí chybové matice. Klasifikační chybová matice je vždy čtvercová. Řádky chybové matice jsou vždy tvořeny klasifikovanými daty a její sloupce daty, která odpovídají skutečnosti. Data správně klasifikovaná, odpovídající skutečnému stavu, se nachází v této chybové matici na hlavní diagonále jdoucí z levého horního rohu do rohu pravého dolního (v ideálním případě by měla být tvořena nejvyššími hodnotami v tabulce a hodnoty mimo tuto diagonálu by měly být nulové). Všechny ostatní hodnoty mimo hlavní diagonálu jsou chyby, a to buď chyby z opomenutí (omission) či chyby z nesprávného zařazení (commision) (Červená, 2018; Lillesand et al., 2008).

Byly hodnoceny tři parametry přesnosti klasifikace - přesnost uživatelská, zpracovatelská a celková přesnost. Přesnost celková (Overall Accuracy) se počítá se jako podíl všech správně vyklasifikovaných objektů ku celkovému počtu klasifikovaných objektů. Uživatelská přesnost (User's Accuracy) udává, s jakou pravděpodobností objekt zařazený do určité třídy tuto třídu doopravdy představuje. Počítá se pro každou třídu zvlášť, a to jako podíl správně klasifikovaných objektů ku počtu objektů, které do této

kategorie byly zařazeny. Zpracovatelská přesnost (Producer's Accuracy) je poměr mezi správně klasifikovanými objekty a objekty použitými pro testování dané třídy (Červená, 2018).

V případě této práce byly kontrolními daty zvoleny údaje z LPIS. Dále byly kontrolní body (údaje) sbírány z ortofota, Základní mapy Zabaged 1:10 000 a terénním výzkumem. Z těchto všech vstupních údajů byla vytvořena výsledná databáze pro hodnocení přesnosti klasifikace (viz Obr. 7). Podkladem pro tvorbu databáze byla polygonová vrstva katastrální evidence, ve které byl vytvořen nový sloupec v atributové tabulce. Informace pro hodnocení přesnosti (kontrolní data) se zapisovaly do tohoto sloupce. Databáze obsahovala pro obě zájmová území celkem 4 419 údajů/polygonů.

Obr. 7: Validní vrstva zájmového území 1



Zdroj: vlastní zpracování

Příkladem využití terénního průzkumu pro vyhodnocení přesnosti klasifikace bylo vyřešení nejasností mezi ornou půdou (klasifikace) a ovocným sadem (KN), viz Obr. 8.

Jak výsledná vrstva objektové klasifikace, tak i vrstva s kontrolními údaji byla vložena do software ESRI ArcGIS. Tyto dvě vrstvy byly mezi sebou porovnány.

Vzhledem k určitým topografickým nesrovnalostem vrstev (určité odlišnosti ve vedení hranic) způsobenými segmentací nad rastrem dat Sentinel-2 bylo rozhodnuto o převedení polygonové vrstvy s kontrolními údaji na bodovou vrstvu (centroidy, funkce Feature To Point). Posléze pomocí funkce Extract Values to Points byly z rastrové vrstvy objektové klasifikace vloženy do těchto vytvořených bodů údaje o kategorii. Poté proběhlo zhodnocení přesnosti (accuracy assessment) pomocí chybové matice. Tento metodický postup byl inspirován studií Ke et al. (2010).

Obr. 8: Terénní průzkum rozporu



Zdroj: P. Štych

4. VÝSLEDKY

V této kapitole jsou shrnuty a popsány výsledky, které byly získány během zpracování diplomové práce.

4.1 POROVNÁNÍ SEGMENTACE OBRAZU

Jak již bylo zmíněno v metodice, prvním z úkolů bylo porovnat mezi sebou vytvořené segmentace, tzn. segmentovaný družicový snímek dle KN a segmentovaný snímek pomocí metody multiresolution. Jednalo se o porovnání segmentů/polygonů KN s výsledky segmentace krajinných plošek (viz Forman, Godron, 1993).

V modelovém území 1 bylo segmentací chessboard detekováno 3 817 plošek, tzn. že místní zemědělská krajina je rozčleněna do 3 817 katastrálních parcel. Pomocí segmentace multiresolution bylo vytvořeno celkem 534 segmentů. Z výsledků vychází, že průměrně na jeden detekovaný segment (krajinnou plošku) připadá 9,40 polygonů (parcel) KN. Nejvíce bylo nalezeno 57 plošek KN v jednom segmentu krajiny. V Příloze 3 jsou zobrazena porovnání segmentací v zájmovém území 1.

V modelovém území 2 bylo segmentací chessboard detekováno 763 plošek, tzn. že místní zemědělská krajina byla rozčleněna do 763 katastrálních parcel. Pomocí segmentace multiresolution bylo segmentováno celkem 234 segmentů/krajinných plošek. Průměrně tak na jeden segment krajiny/krajinnou plošku připadá 3,94 polygonů KN. Nejvíce připadalo 18 plošek KN na jeden krajinný segment. Příloha 4 zobrazuje porovnání segmentací v druhém zájmovém území.

Za pomocí tohoto postupu bylo potvrzeno, že pozemků z katastru nemovitostí bylo detekováno více než krajinných plošek určených pomocí segmentace multiresolution. Ve většině případů (85 %) se však parcely KN nacházejí uvnitř krajinných plošek, tzn. že krajinné plošky jsou tvořeny několika parcelami KN a tyto parcely nepřekračují výrazně polygony krajinných plošek. V tomto ohledu se i řešilo vymezení hranic a jejich porovnání mezi KN a výsledky segmentace krajinných plošek. Z výsledků plyne, že vedení hranic je relativně podobné. V místech, kde se nachází hranice jak krajinných plošek, tak i katastru, linie jdou relativně v souladu. Odlišnosti vyplývají z důvodu vedení jednodušších/rovnějších hranic pozemků uvedených v KN. Další odchylky jsou způsobené segmentací nad rastrem dat Sentinel-2 a následnou vektorizací rasteru v software eCognition, viz Obr. 9. Ačkoliv z obrázku jsou patrné určité odchylky vedení hranic KN a krajinných plošek, rozdíly však nejsou významného rázu a pro účely porovnání klasifikace land use z dat Sentinel-2 a KN je tento stav akceptovatelným. Významné prostorové rozdíly ve vedení hranic jsou brány jako rozdílné vymezení/klasifikace plošek.

Obr. 9: Detail segmentace obrazu



Pozn.: žlutá linie - segmentace chessboard, červená linie - segmentace multiresolution
Zdroj: Copernicus, vlastní zpracování

4.2 VÝSLEDKY KLASIFIKACE A POROVNÁNÍ PŘESNOSTI KLASIFIKACE OBRAZU

Hodnocení přesnosti klasifikace je velmi důležitá část klasifikačního procesu, kde je zjišťována úroveň kvality výsledků. Přesnost klasifikace pro obě modelová území byla řešena pomocí klasifikační chybové matice. Za každé zájmové území byla zpracována

celková přesnost klasifikace, zpracovatelská i uživatelská přesnost. Dále byly určeny chyby z opomenutí a chyby z nesprávného zařazení objektu u jednotlivých tříd.

V modelovém území 1 bylo celkem hodnoceno 3 714 segmentů. Nejvíce segmentů obsahovala třída orná půda (téměř ¾ všech segmentů nacházejících se v území) a nejméně třída ovocný sad (pouze přibližně 1% zastoupení prvků). Třída vinice zde nebyla detekována.

Pomocí navrženého algoritmu bylo klasifikováno celkem 3 714 objektů. Nejvíce prvků obsahovala třída orná půda 2 746 (73,93 % ze všech objektů). V kategorii trvalé travní porosty bylo klasifikováno 651 objektů (17,53 % ze všech prvků), třídy ovocný sad 69 prvků (1,86 % ze všech segmentů) a kategorie ostatní bylo 248 prvků (6,68 % ze všech objektů).

Celková přesnost klasifikace tohoto zájmového území je 82,90 %. V Tab. 5 je zobrazena chybová matice klasifikace pro zájmové území 1. Nejmenší chybu z nesprávného zařazení objektu v modelovém území 1 vykazuje třída orné půdy (9,25 %), naopak nejvyšší chybu z nesprávného zařazení byla určena u třídy ovocný sad (68,12 %). Nejmenší chybu z opomenutí objektu vykazuje třída orné půdy (6,67 %) a nejvyšší třída ostatní (69,14 %). Nutno podotknout, že v této kategorii jsou také zařazeny objekty, které nebyly algoritmem klasifikovány dle základní legendy.

Tab. 5: Chybová matice zájmového území 1

třída	orná půda	ovocný sad	tr. tr. porost	ostatní	celkem
orná půda	2 492	1	116	137	2 746
ovocný sad	8	22	28	11	69
tr. tr. porost	97	8	461	85	651
ostatní	73	1	70	104	248
celkem	2 670	32	675	337	3 714

Zdroj: vlastní zpracování

V modelovém území 2 bylo celkem hodnoceno 705 segmentů. Nejvíce segmentů obsahovala třída orná půda (téměř ¾ všech prvků v území), naopak nejméně třída vinice (pouze několik málo prvků).

Pomocí navrženého algoritmu bylo klasifikováno celkem 705 objektů. Nejvíce prvků obsahovala kategorie orná půda, kde jich bylo 499 (70,78 % ze všech objektů). V kategorii trvalé travní porosty bylo klasifikováno 135 objektů (19,15 % ze všech segmentů), třída vinice obsahovala 3 segmenty (0,43 % ze všech objektů), třída ovocný

sad 11 prvků (1,56 % ze všech segmentů) a kategorie ostatní 57 prvků (8,09 % ze všech objektů).

Celková přesnost klasifikace pro druhé modelové území je 83,55 %. Tab. 6 zobrazuje chybovou matici klasifikace pro druhé zájmové území. Nejmenší chybu z nesprávného zařazení objektu vykazuje třída orné půdy (6,21 %), naopak nejvyšší chybu z nesprávného zařazení byla určena u třídy ostatní (75,44 %). Nutno říci, že v této kategorii jsou také zařazeny objekty, které nebyly algoritmem klasifikovány dle základní legendy. Nejmenší chybu z opomenutí objektu vykazuje třída orné půdy (11,20 %) a nejvyšší třída vinice (50,00 %). V této souvislosti nutno zmínit, že třída vinice obsahuje velmi málo objektů (3 segmenty), což mohlo ovlivnit výsledek klasifikace.

Tab. 6: Chybová matice zájmového území 2

třída	OP	vinice	sad	TTP	ostatní	celkem
OP	468	1	2	25	3	499
vinice	0	2	0	1	0	3
sad	1	0	9	1	0	11
TTP	25	1	5	96	8	135
ostatní	33	0	1	9	14	57
celkem	527	4	24	129	21	705

Zdroj: vlastní zpracování

Zpracovatelská a uživatelská přesnost jednotlivých tříd v zájmových územích je zobrazena v Tab. 7.

Nejvyšší zpracovatelská a uživatelská přesnost v obou modelových územích byla vykázána u třídy orná půda (téměř 90 % či více). Přesnosti okolo 70 % byly zjištěny u třídy trvalý travní porost. Nejnižších přesností dosahovala kategorie ostatní, vzhledem k různorodosti této kategorie se dala tato situace předpokládat.

Poměrně nízká zpracovatelská a uživatelská přesnost u třídy ovocný sad může být způsobena několika faktory. Například heterogenitou (různým stářím a různou mírou udržování sadů), či také menším zastoupením těchto objektů v klasifikaci. Dalším nedostatkem se jeví fakt, že některé ovocné sady mají řídké osázení, a tudíž se klasifikují jako trvalý travní porost. V kategorii ostatní jsou také zahrnuty zahrady, kterých se v řešeném území vyskytuje poměrně hodně. Tento faktor negativně ovlivňuje přesnost klasifikace, protože takové polygony byly často klasifikovány jako trvalý travní porost.

Byly nalezeny také objekty, na kterých se nachází nízký křovinatý porost, který vykazuje taktéž podobné spektrální vlastnosti jako trvalý travní porost.

Tab. 7: Zpracovatelská a uživatelská přesnost klasifikace

	zpracovatelská přesnost		uživatelská přesnost	
	zájm. území 1	zájm. území 2	zájm. území 1	zájm. území 2
orná půda	93,33 %	88,80 %	90,75 %	93,79 %
vinice	X	50,00 %	X	66,67 %
ovocný sad	68,75 %	52,94 %	31,88 %	81,82 %
travní porost	68,30 %	72,73 %	70,81 %	71,11 %
ostatní	30,86 %	56,00 %	41,94 %	24,56 %

Zdroj: vlastní zpracování

Celková nižší přesnost klasifikace pro první modelové území oproti druhému zájmovému území může být způsobena faktorem, že první území je rozlehlejší (téměř dvojnásobná rozloha) a také území obsahuje více objektů (více jak pětinašobný počet) vstupujících do klasifikace.

4.3 DETEKCE ROZPORU LAND USE

Klasifikace obrazu každého zájmového území bylo nutné také porovnat s původními vstupními parcelami KN, aby bylo možné detekovat rozpor mezi land use vykazovaným v katastrální evidenci a skutečným stavem v krajině určeným objektovou klasifikací pomocí dat Sentinel-2. Porovnání bylo provedeno na základě funkce překrytí v software ESRI ArcGIS a následné vizuální interpretaci.

V Příloze 5 jsou zobrazeny detekované rozpory mezi land use vykazovaným v KN a skutečným stavem v krajině určeným objektovou klasifikací v zájmovém území 1. Celkem v zájmovém území bylo detekováno 720 rozporů. Nejvíce nesouladů se nachází ve východní, jihozápadní až jižní a severozápadní části zájmového území. Rozpory ve východní části na území obce Strančice jsou mezi třídami ovocný sad (KN) a orná půda. V tomto případě je pravděpodobné chybné zanesení údajů v katastrální evidenci, protože pravdivost výsledku klasifikace lze potvrdit terénním průzkumem lokality. V jihozápadní části na území obce Sulice a severozápadní části na území obce Jesenice jsou nesoulady mezi kategoriemi orná půda (KN) a trvalý travní porost či ostatní. Ve většině případů se jedná o chybně zanesený údaj v katastrální evidenci.

V modelovém území 2 bylo celkem detekováno 166 rozporů, které jsou dokumentovány v Příloze 6. Nejvíce nesouladů je detekováno ve střední části na území obcí Bečov a Bělušice. V zájmovém území se typově nejčastěji jedná o rozpor mezi kategoriemi orná půda (KN) a trvalý travní porost či naopak. Problém u orné půdy může nastat, pokud je ponechána ladem.

Vyšší výskyt rozporů v modelovém území 1 oproti zájmovému území 2 je pravděpodobně způsoben faktorem, že první území se nachází v suburbánní oblasti v zázemí Prahy. Jedná se o území s dynamickým vývojem, kde probíhají urbánní procesy. Vyšší výskyt může souviset také s větší rozlohou, a tak s vyšším počtem objektů k hodnocení. Dle dosažených výsledků je patrné, že nejvýznamnějším faktorem vzniku rozporu mezi informací v katastru a reálným stavem je chybné nahlášení/neaktualizace kategorie land use v katastrální evidenci majitelem pozemku.

5. DISKUZE

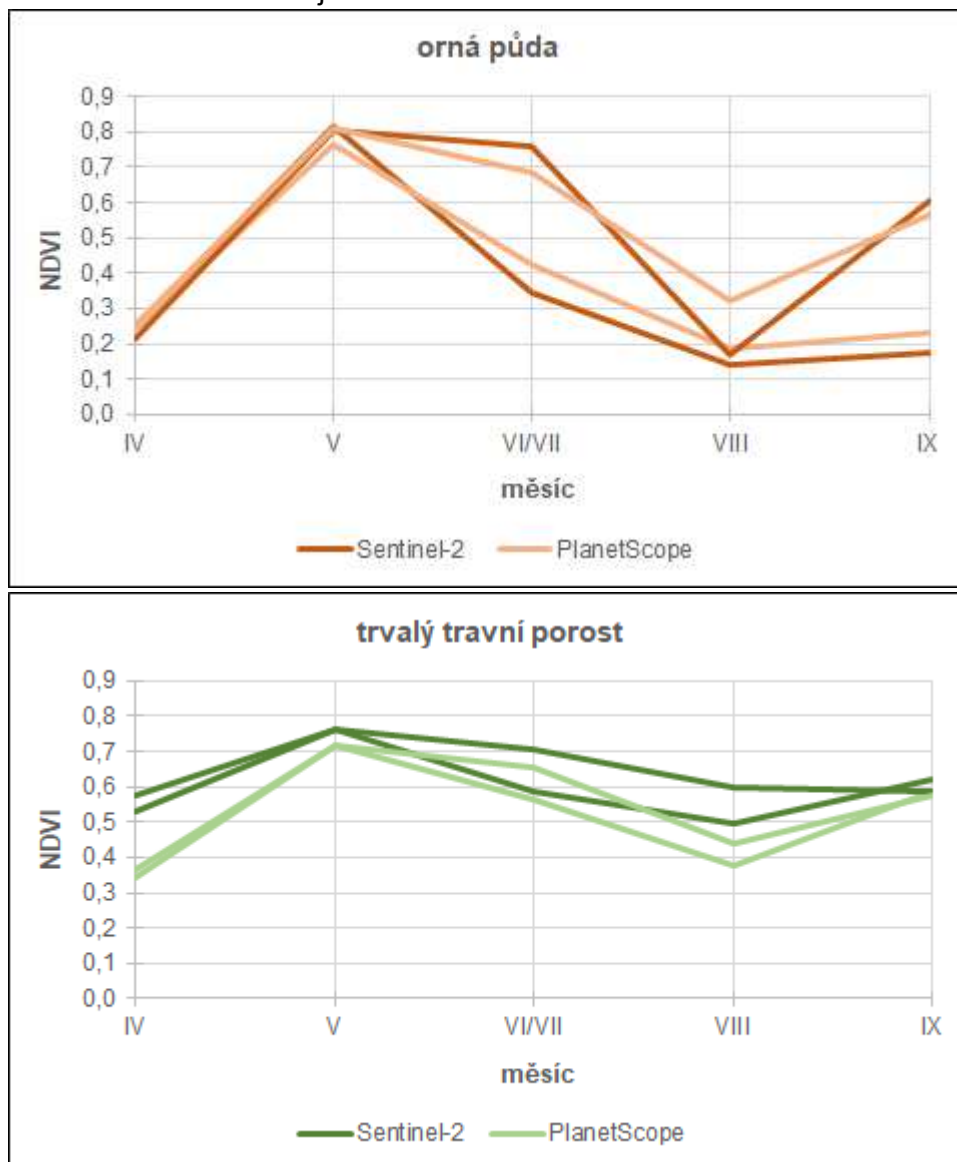
Hlavním úkolem diplomové práce bylo pomocí navrženého metodického postupu detekovat odlišnosti informace ohledně land use vykazované v katastrální evidenci se stavem v krajině určeným pomocí klasifikace dat Sentinel-2. S ohledem na četné diskuze k hodnocení dat KN u nás či ve světě se jedná se o relevantní tématiku, viz Ali et al. (2012) či Alexandrov et al. (2004).

V diplomové práci byly použity multispektrální snímky Sentinel-2, data katastrální evidence a data LPIS. První problém nastal při výběru modelového území, bylo totiž zjištěno, že některá katastrální území nejsou dosud plně digitalizována, i když v době výběru byla v území na webových stránkách ČÚZK garantována plná digitalizace. Je škoda, že v době moderních informačních technologiích není stále k dispozici plná digitalizace katastrální evidence. Dalším problémem bylo najít dostatečně hustou časovou řadu snímků Sentinel-2, hlavně co se týče bezoblačnosti snímků. Pro území Česka byly v řešeném roce 2018 k dispozici sice snímky Sentinel-2 s časovým rozlišením 5 dnů (umožněno díky konstelaci Sentinel-2A a Sentinel-2B, viz Drusch et al., 2012). I přes toto vysoké časové rozlišení nebylo možné zajistit pro vybraná modelová území bezoblačná data v každém sledovaném měsíci fenologického cyklu (duben - říjen). Například pro červen 2018 nebyl nalezen žádný požadovaný, zcela bezoblačný snímek. Tento aspekt ovlivnil výslednou tvorbu metodiky založenou na multitemporální objektově-orientované klasifikaci a měl též samozřejmě vliv na dosažené výsledky a přesnost klasifikace. Právě období června je velmi důležité, co se týče fenologie zemědělských plodin. V tomto ohledu se tedy v další výzkumné činnosti nabízí využití kombinace/fúze s radarovými snímky při tvorbě metod multitemporální klasifikace, protože radarová data nejsou oblačností výrazně ovlivněna (např. Clerici et al., 2017; Steinhausen et al., 2018; Van Tricht et al., 2018). Zmíněné studie se zabývají výzkumem land use/land cover zemědělských oblastí pomocí fúze dat Sentinel-1 a Sentinel-2.

V práci byla zvolena pásma dat Sentinel-2 s nejvyšším prostorovým rozlišením (10 m). Prostorové rozlišení ovlivnilo volbu velikosti minimální mapovací jednotky, která z tohoto hlediska byla zvolena 3 x 3 pixely Sentinel-2, tzn. 30 x 30 metrů. Volba nejvyššího prostorového rozlišení však ubrala potenciál spektrálního rozlišení (byla využita 4 pásma). V případě zapojení pásem s 20 m pixelem, by mohla být použita další vhodná pásma (např. v oblasti RedEdge), která by mohla zvýšit přesnost klasifikace. V tomto případě by bylo možné využít převzorkování 20 m pásem na 10 m. Další možností výzkumu je rozšíření navržené metodiky o další vegetační nebo poměrové indexy. Tato tématika by si zasloužila další testování.

V současné době se jeví jako perspektivní družicová data PlanetScope, která mají temporální rozlišení 1 den s nejvyšším prostorovým rozlišením 0,72 m (SkySat). Tato data nejsou ovšem zcela volně dostupná. Pro akademické/výzkumné účely jsou data poskytována v omezené míře, kdy studentům je poskytováno ke stažení 10 000 km² dat na měsíc. Na ukázkou potenciálu těchto dat byly spočítány a porovnány vegetační indexy NDVI na podkladě dat Sentinel-2 a PlanetScope (viz Obr. 10) vybraných parcel zkoumaných v diplomové práci. Následný výzkum a rozvoj metod aktualizace či hodnocení dat katastrální evidence by mohl směřovat směrem k využití dat PlanetScope.

Obr. 10: Porovnání v zájmovém území 1 v roce 2018



Zdroj: vlastní zpracování

Jedním z dílčích úkolů práce bylo porovnat vymezené segmenty/polygony KN se skutečnou strukturou krajiny. Segmentace krajinných plošek byla řešena v software eCognition pomocí segmentace multiresolution. Nastavení parametrů segmentation bylo inspirováno několika studiemi, např. Montaghi et al. (2013) či Karakiş et al. (2006). Ve studii Montaghi et al. (2013) bylo úkolem vymezení zemědělských pozemků v Dánsku pomocí segmentace multiresolution v software eCognition. Nad 8-pásmovými snímky WorldView-2 upravenými pomocí pansharpeningu (prostorové rozlišení 0,5 m) byly provedeny segmentace s nastavením parametrů compactness - 0,8, shape - 0,4/0,6 a s 57 různými nastaveními parametrů měřítka mezi hodnotami 100 a 1 500. Výsledky ukazují, že přesnost segmentace je také ovlivněna velikostí referenčních polygonů a přítomností výrazných hranic pozemků (např. živý plot, rybník, příkop nebo silnice). Studie Karakiş et al. (2006) se zabývala možnostmi nastavení parametrů segmentace v software eCognition. Jako modelové území byla vybrána oblast těžby uhlí Zonguldak v Turecku. Nad snímky QuickBird s prostorovým rozlišením 2,4 m bylo provedeno 5 segmentací multiresolution s různým nastavením parametrů. Postupně byly parametry nastaveny takto: scale - 25/5/10/20/25, compactness - 0,3/1,0/0,7/0,5/0,3, smoothness - 0,7/0,0/0,3/0,5/0,7 a color - 0,9/0,6/0,8/0,9/0,9. Pomocí těchto segmentací bylo vygenerováno celkem 17 029, 294 788, 86 751, 25 275 a 16 985 segmentů. Z výsledků je patrné, že různá nastavení parametrů segmentace ovlivňuje výsledný počet segmentů a jejich tvar.

Definování metodického postupu, který měl za úkol detekovat odlišnosti vykazované v katastrální evidenci se skutečným stavem v krajině určeným pomocí dat Sentinel-2, byl jedním z hlavních cílů diplomové práce. Klasifikace tříd zemědělské půdy byla řešena pomocí metod objektové klasifikace (OBIA). V OBIA klasifikaci bylo využito čtyř spektrálních pásem s 10metrovým prostorovým rozlišením - GREEN, BLUE, RED a NIR, a dvou vegetačních indexů - NDVI a CVI. Protože při definování signifikantních prahových hodnot jednotlivých typů land use bylo zjištěno, že v rámci jedné kategorie se dají najít odlišnosti/heterogenita ve spektrálních charakteristikách (např. vícero plodin na orné půdě), bylo nutné vytvořit více podkategorií (podtříd, spektrálních tříd). Na základě definovaných kategorií byla vytvořena klasifikační metoda a legenda klasifikace. V rámci pěti sledovaných kategorií land use - orná půda, vinice, ovocný sad, trvalý travní porost a ostatní, bylo rozpoznáno a definováno celkem 22 podkategorií (14 orné půdy, 3 trvalých travních porostů, 2 ovocných sadů, třída vinic a 2 ostatní). Do kategorie ostatní byly zařazeny jiné druhy pozemků, např. neproduktivní zahrada, lesní pozemek, lesní půda s křovinatým porostem a zastavěná plocha. Tyto pozemky mají nezemědělský charakter a vyskytovaly se v rámci zemědělských pozemků definovaných KN. Heterogenita ploch (hlavně v rámci orné půdy) ovlivnila podobu metodiky a výsledky

klasifikace. I přes pečlivé prozkoumání a definování kategorií se mohlo stát, že některá subkategorie byla opomenuta a tento faktor mohl mít vliv na přesnost klasifikace. Podrobný přehled o plodinách na zkoumaných plochách orné půdy by bylo výrazným pozitivem pro tvorbu metodiky a klasifikace samotnou. Tento aspekt je dalším tématem v případě pokračování v řešení této problematiky. Průměrné hodnoty vegetačních indexů za sledované segmenty byly vypočteny pomocí zonálních statistik. Tyto hodnoty poté posloužily jako podklad pro stanovení prahových hodnot jednotlivých kategorií land use. Pro jejich určení sloužily analýzy vývoje spektrálních charakteristik sledovaných ploch ve sledovaných letech 2017 a 2018. Nejsložitější bylo od sebe odlišit kategorie orné půdy a trvalých travních porostů. Zde byl předpoklad, že u trvalých travních porostů není výrazný výkyv spektrální křivky odrazivosti vegetace (NDVI) během fenologického roku, narozdíl od plodin pěstovaných na orné půdě. Parcely orné půdy narozdíl od trvalých travních porostů prochází cyklem výsadba, růst vegetace, sklizeň. Co se týče spektrálních charakteristik, tak velmi podobné vlastnosti měly třídy trvalý travní porost a ovocný sad. Bylo však zjištěno, že se od sebe nejvýrazněji odlišují hodnotami v měsících dubnu a červenci. V dubnu vykazují ovocné sady nižších hodnot NDVI než trvalé travní porosty a v červenci povětšinou hodnot vyšších. Vinice byly od ovocných sadů odlišeny pomocí vegetačního indexů CVI. Prahové hodnoty dokumentuje Příloha 2. Vytvořený algoritmus klasifikace byl testován na dvou modelových územích s ohledem na potencionální přenositelnost zvolené metodiky. Zcela jistě by bylo žádoucí testovat metodu i v dalších územích. Vyhodnocení přenositelnosti navržené metody je dalším impulsem rozvoje a navázání na tuto diplomovou práci.

Při klasifikaci se projevil určitý negativní faktor velikosti některých segmentů (parcel KN), kdy je velikost katastrální parcely natolik rozsáhlá, že se v ní nacházelo více typů land use, např. dálnice (sjezdy, nájezdy) a orná půda, viz Obr. 11. Při pohledu na tento obrázek lze dokázat problematičnost KN ve vymezení jednotlivých ploch land use.

Pokud se zaměříme na celkové hodnocení metodického postupu a dosažených výsledků, tak pomocí vytvořeného algoritmu byla dosažena celková přesnost klasifikace 82,90 % (zájmové území 1) a 83,55 % (zájmové území 2), což lze považovat za uspokojivý výsledek a byl tak splněn jeden z cílů diplomové práce (hranice přesnosti byla zvolena 80 %). Co se týče určení zpracovatelské a uživatelské přesnosti jednotlivých tříd klasifikace v obou modelových územích, výsledky lze najít v Tab. 7.

Nejvyšších hodnot zpracovatelské a uživatelské přesnosti jsou dosahovány v obou zájmových územích u kategorie orná půda, kdy přesnost je přes 90 % či těsně pod ní. Vzhledem k zmíněným hodnotám přesnosti lze předpokládat, že u třídy orná půda byly definovány relativně přesně prahové hodnoty pro klasifikaci. Naopak nejnižších

hodnot dosahují přesnosti u kategorie ostatní, vzhledem k různorodosti této třídy se dala situace trochu předpokládat.

Obr. 11: Velikost segmentů orné půdy (KN) v obraze



Poznámka: segmenty jsou zobrazeny žlutou linií

Zdroj: ortofoto ČÚZK, vlastní zpracování

V kategorii jsou zahrnuty také zahrady, které často byly klasifikovány jako trvalý travní porost. Byly též nalezeny objekty, na kterých se nachází nízký křovinatý porost, který vykazuje podobné spektrální vlastnosti s trvalým travním porostem. Poměrně nízká zpracovatelská a uživatelská přesnost u třídy ovocný sad může být způsobena několika faktory. Například stářím a mírou udržováním sadů, či také menším zastoupením těchto objektů v klasifikaci. Dalším nedostatkem se také jeví fakt, že některé ovocné sady mají řídké osazení a tudíž se klasifikují jako trvalý travní porost. Co se týče kategorie vinice, pro potenciální následnou klasifikaci této třídy by bylo vhodnější vybrat území s vyšším zastoupením těchto kultur, např. území na Moravě (oblast města Velké Bílovice a okolí), kde se nacházejí rozsáhlejší oblasti vinic. Dá se předpokládat, že by se tak zvýšila přesnost této kategorie.

Celková nižší přesnost klasifikace pro první zájmové území oproti druhému modelovému území může být způsobena faktorem, že první území je rozlehlejší (téměř dvojnásobná rozloha) a území tak obsahuje více objektů/parcel KN (více jak pětinašobný počet) vstupujících do klasifikace.

Jak již bylo zmíněno, úkolem diplomové práce bylo pomocí navrženého metodického postupu detekovat rozpor land use vykazovaný v katastrální evidenci se skutečným stavem v krajině určeným pomocí klasifikace dat Sentinel-2. Celkem bylo detekováno 886 rozporů na 4 419 segmentech. Nejčastěji se jednalo o nesoulady mezi třídami ovocný sad (KN) a třídou orná půda, dále mezi kategoriemi orná půda a trvalý travní porost a naopak. Zde se nabízí jedno z vysvětlení, že v katastru nemovitostí je sice zanesena orná půda, avšak ve skutečnosti je parcela delší dobu nevyužívána, tzn. ponechána ladem, tudíž vykazuje podobné spektrální vlastnosti jako trvalý travní porost. Potencionální možnost záměny je též v případě některých plodin, které mohou mít podobné spektrální vlastnosti jako trvalé travní porosty (pícniny). Detekován byl také rozpor mezi třídami orná půda/trvalý travní porost (KN) a třídou ostatní, která obsahuje např. zahrady. Dle našich zjištění, ve většině případů se jedná o chybné zanesení/evidence třídy v katastrální evidenci. Těmito příklady tak byla potvrzena jedna z hypotéz, že land use uvedený v katastru často nevykazuje aktuální stav v krajině, kdy zpoždění může být až mnohaleté. Způsobeno může být několika faktory, např. nenahlášení nového stavu majitelem pozemku.

V diplomové práci byla splněna většina stanovených cílů. Byl vytvořen metodický postup, který klasifikoval pomocí OBIA přístupu vybrané třídy katastrální evidence (zemědělský půdní fond) s přesností vyšší než 80 %. Byl potvrzen vysoký potenciál využití multitemporálních dat Sentinel-2 o prostorovém rozlišení 10 m pro nalezení odlišností informace land use v katastrální evidenci se skutečným stavem.

6. ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo vytvořit metodický postup, který by umožnil klasifikaci vybraných tříd land use katastrální evidence (orná půda, trvalé travní porosty, sady a vinice) s využitím dat Sentinel-2 s přesností vyšší než 80 %. Dalším cílem bylo pomocí tohoto postupu detekovat rozpor mezi land use vykazovaným v katastrální evidenci a skutečným stavem v krajině. Zkoumané téma bylo řešeno ve dvou modelových územích v letech 2017 a 2018.

Pomocí navrženého postupu objektově-orientované klasifikace bylo docíleno celkové přesnosti klasifikace 82,90 % (modelové území 1) a 83,55 % (zájmové území 2) a tudíž byl splněn hlavní cíl požadované přesnosti klasifikace. V klasifikačním algoritmu na principu OBIA bylo využito čtyř spektrálních pásem (GREEN, BLUE, RED a NIR) družicových dat Sentinel-2, které mají prostorové rozlišení 10 m. Pro odlišení land use tříd byly využity hodnoty dvou vegetačních indexů (NDVI a CVI) v časové řadě let 2017 a 2018. V tomto ohledu se potvrdil silným informační potenciál dat Sentinel-2 co se týče časového rozlišení. Multitemporální data se ukázala klíčovým aspektem navrženého klasifikačního postupu. Klasifikace byla založena na metodě prahování. Pomocí zonálních statistik byly určeny průměrné hodnoty vegetačních indexů NDVI a CVI v hodnocených segmentech. Na základě těchto hodnot byly stanoveny prahové hodnoty jednotlivých sledovaných typů land use. Pro určení prahových hodnot sloužily analýzy vývoje spektrálních charakteristik vegetace sledovaných ploch ve sledovaných letech 2017 a 2018. Tyto určené prahové hodnoty sloužily k definici klasifikačních kritérií OBIA klasifikace.

Co se týče segmentace družicových snímků, tak byla použita metoda Multiresolution segmentation. Pomocí této segmentace bylo možno porovnat krajinnou strukturu určenou z družicových snímků se strukturou segmentů KN. Bylo vyzkoumáno, že členění krajiny dle KN odpovídá v cca 85 % krajinné struktuře odvozené z optických družicových dat.

Překvapivým zjištěním bylo, že přes nesporné vylepšení časového rozlišení u dat Sentinel-2, oblačnost zůstává problémem, protože nebylo možné obdržet bezoblačné scény řešených území za všechny sledované měsíce (duben - říjen).

Za pomoci výsledných klasifikací bylo možné detekovat odlišnosti mezi údaji land use zapsanými v katastrální evidenci a údaji, získanými klasifikací družicových dat Sentinel-2. Bylo prokázáno, že katastrální evidence v mnoha případech nevykazuje aktuální stav, jelikož bylo detekováno celkem 886 rozporů. Jednalo se převážně o nesoulady mezi kategoriemi ovocný sad (KN) a orná půda, dále mezi třídami orná půda

a trvalý travní porost. Také byl detekován rozpor mezi kategoriemi orná půda/trvalý travní porost (KN) a kategorií ostatní, která obsahovala např. zahrady. I na základě těchto dosažených výsledků lze tvrdit, že použité družicové snímky Sentinel-2 se jeví jako vhodná data pro určování (ne)přesnosti land use informace v KN a nalezení rozporů mezi informací zanesenou v KN a skutečným stavem. Tato družicová data jsou schopna poskytnout relevantní informaci ohledně skutečného stavu land use v krajině díky svým pokročilým vlastnostem, co se týče prostorového a časového rozlišení. Obrovskou výhodou je také volná stažitelnost těchto dat.

Co se týče návrhu následného výzkumu v této tématice, možnou potenciální výzkumnou oblastí je kombinace optických dat Sentinel-2 s radarovými snímky Sentinel-1 či využití dalších spektrálních pásem Sentinel-2. Perspektivní se též jeví družicová data Planet.com, která vykazují lepší časové a prostorové rozlišení, než je tomu v případě Sentinel-2. Bylo by zajímavé a užitečné srovnat přesnosti klasifikace a dosažené výsledky klasifikace dat Sentinel-2 a PlanetScope.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ALEXANDROV, A., HRISTOVA, T., IVANOVA, K., KOEVA, M., MADZHAROVA, T., PETROVA, V. (2004): Application of QuickBird satellite imagery for updating cadastral information. In: XX Congress of ISPRS, Istanbul, s. 386-391.
- AL FUGARA, A. M., PRADHAN, B., MOHAMED, T. A. (2009): Improvement of land-use classification using object-oriented and fuzzy logic approach. Applied Geomatics, Volume 1, No. 4, s. 111-120.
- ALI, Z. (2012): Assessing Usefulness of High Resolution Satellite Imagery (HRSI) in GIS-based Cadastral Land Information System. Journal of Settlements and Spatial Planning, Volume 3, No. 2.
- ALI, Z., TULANDHAR, A., ZEVENBERGEN, J. (2012): An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 18, s. 386-398.
- BAATZ, M., SCHAPE, A. (2000): Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium, Salzburg, 12 s.
- BACH, M., et al. (2006): Accuracy and congruency of three different digital land-use maps. Landscape and Urban Planning, Volume 78, s. 289-299.
- BANKO, G., SCHOLZ, J. (2017): Technical specifications and data model. In: COPERNICUS LM Workshop: CLC+, 16th November 2017, Brussels, Belgium.
- BANKO, G., MANSBERGER, R., GALLAUN, H., GRILLMAYER, R., PRÜLLER, R., RIEDL, M., STEMBERGER, W., STEINNOCHER, K., WALLI, A. (2012): Land Use & land cover mapping in Europe: Current practice, trends and future. Examples from national approaches: LISA – the Austrian approach. In: Springer-Verlag, "Land Use & land cover mapping in Europe: Current practice, trends and future". Editors: Dr. Matthias Braun and Dr. Ioannis Manakos, Annual Book Series „Remote Sensing and Digital Image Processing“. Volume 18, Chapter 15, s. 237-255.
- BAREŠOVÁ, E. (1998): Právní ochrana při pohybu nemovitostí. In: Sborník Vídeňské konference o pozemkové knize a katastru, 2. zasedání, Vídeň, 25. - 26. června 1998.
- BENZ, U. C., HOFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELDER, I., HEYNEN, M. (2004): Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Volume 58, s. 239-258.

- BIČÍK, I., GÖTZ, A., JANČÁK, V., JELEČEK, L., MEJSNAROVÁ, L., ŠTĚPÁNEK, V. (1996): Land Use/Land Cover Changes in the Czech Republic 1845-1995. *Geografie - Sborník ČGS 101, No. 2, s. 92-109.*
- BIČÍK, I., KABRDA, J., NAJMAN, J. (2010): Land-Use Changes Along the Iron Curtain in Czechia (Chapter 6). In: Anděl, J. et al. (eds.): *Landscape Modelling: Geographical Space, Transformation and Future Scenarios. Urban and Landscape Perspectives Series, Volume 8, Springer, s. 71-85.*
- BIČÍK, I. a kol. (2010): *Vývoj využití ploch v Česku. Edice Geographica, ČGS, Praha, 250 s.*
- BIČÍK, I., KUPKOVÁ, L., KABRDA, J. (2015): Changes of agricultural land use in Czechia 1990-2010. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Kupková, L. (eds.): *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume XI, Asahikawa, International Geographical Union Commission on Land Use/Cover Change, Hokkaido University of Education, s. 59-70.*
- BIČÍK, I., KUPKOVÁ, L., JELEČEK, L., KABRDA, J., ŠTYCH, P., JANOUŠEK, Z., WINKLEROVÁ, J. (2015): *Land Use Changes in the Czech Republic 1845–2010. Socio-Economic Driving Forces. Springer Geography, Švýcarsko, 215 s.*
- BRODSKÝ, L., SOUKUP, T. (2007): Objektově orientovaná fuzzy klasifikace krajinného pokryvu (land cover) se zaměřením na zemědělskou krajinu. In: *Sborník referátů konference GIS Ostrava 2007, VŠB – TUO, Ostrava.*
- BROM, J., NEDBAL, V., PROCHÁZKA, J., PECHAROVÁ, E. (2012): Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis. *Source of the Document Ecological Engineering, Volume 43, s. 45–52.*
- BUDD, J. T. C. (1991): Remote sensing techniques for monitoring land-cover. In: GOLDSMITH, B. (ed.): *Monitoring for conservation and ecology. Chapman & Hall, s. 33-60.*
- BUMBA, J. (2007): *České katastry od 11. do 21. století. Grada, Praha, 190 s.*
- CENIA (2017): *Vývoj krajinného pokryvu dle CORINE Land Cover na území ČR v letech 1990–2012. Praha, 30 s.*
- CLERICI, N., VALBUENA CALDERÓN, C. A., POSADA, J. M. (2017): Fusion of Sentinel-1A and Sentinel-2A data for land cover mapping: a case study in the lower Magdalena region, Colombia. *Journal of Maps, Volume 13, No. 2, s. 718-726.*
- COSTA, W., FONSECA, L., KÖRTING, T., SIMOES, M., KUCHLER, P. (2018): A case study for a multitemporal segmentation approach in optical remote sensing images.

- In: International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services, Rome, Italy, s. 66-70.
- DARWISH, A., LEUKERT, K., REINHARDT, W. (2003): Image segmentation for the purpose of object-based classification. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2003, 21-25 June 2003, Toulouse, France, Volume 3, s. 2039-2041.
- DELGADO, J. (2017): Spanish approach (Parametric Object Oriented Land Cover Data Models – SIOSE – IGN). In: Land Use/Land Cover Products: Challenges and Opportunities, 15th November 2017, Brussels, Belgium.
- DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu. MU, Brno, 208 s.
- DOUBRAVA, P. (1991): Utilisation of Remote Sensing Methods for Applications in Urban Areas. AUC – Geographica Volume 26, No. 2, s. 65-79.
- DOUGHERTY, G. (2009): Digital Image Processing for Medical Applications. Cambridge University Press, Cambridge, 448 s.
- DRUSCH, M., et al. (2012): Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. Remote Sensing of Environment, Volume 120, s. 25-36.
- FERANEC, J. (1990): Údaje získané metodami diaľkového prieskumu Zeme - zdroj geografických informácií. Geodetický a kartografický obzor, 36, s. 9-11.
- FERANEC, J., ŠÚRI, M., CEBECAUER, T., OŤAHEĽ, J. (2002): Methodological Aspects of Landscape Changes Detection and Analysis in Slovakia applying the Corine Land Cover Databases. Geografický časopis 54, č. 3, s. 271-288.
- FERANEC, J., SOUKUP, T., TAFF, G.N., ŠTYCH, P., BIČÍK, I. (2017): Overview of changes in land use and land cover in Eastern Europe. In: Gutman, G., Radeloff, V.C. (eds.) Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991. Springer International Publishing, s. 13–33.
- FORMAN, R. T., GODRON, M. (1993): Krajinná ekologie. Academia, Praha, 583 s.
- GRUBER, U., RIECKEN, J., SEIFERT, M. (2014): Germany on the way to 3D cadastre. In: FIG Congress, Kuala Lumpur, Malaysia, s. 223-228.
- GUPTA, N., BHADAURIA, H. S. (2014): Object based Information Extraction from High Resolution Satellite Imagery using eCognition. JCSI International Journal of Computer Science Issues, Volume 11, Issue 3, No. 2, s. 139-144.
- HAIŠ, M., BROM, J., PECHAROVÁ, E. (2006): Evaluation of Landscape Changes by Remote Sensing. Životní Prostředí, Volume 40, No. 2, s. 80-83.
- HÁJEK, F., SVOBODA, M. (2007): Vyhodnocení odumírání horského smrkového lesa na Trojmezí (NP Šumava) metodou automatizované klasifikace leteckých snímků. Silva Gabreta, Volume 13, No. 1, s. 69-81.

- KARAKIŞ, S., MARANGOZ, A. M., BÜYÜKSALIH, G. (2006): Analysis of segmentation parameters in Ecognition software using high resolution QuickBird MS imagery. In: ISPRS Workshop on Topographic Mapping from Space, 14-16 February, Ankara, Turkey.
- KE, Y., QUACKENBUSH, L. J., IM, J. (2010): Synergistic use of QuickBird multispectral imagery and LIDAR data for object-based forest species classification. *Remote Sensing of Environment*, Volume 114, s. 1141-1154.
- KLEESCHULTE, B., BANKO, G., SMITH, G., ARNOLD, S., SCHOLZ, J., KOSZTRA, B., MAUCHA, G. (2017): Technical specifications for implementation of a new land-monitoring concept based on EAGLE - Version 3.0. EEA, 79 s.
- KOHLI, D., CROMMELINCK, S., BENNETT, R., KOEVA, M., LEMMEN, C. (2017): Object-Based Image Analysis for Cadastral Mapping Using Satellite Images. In: *Proceedings of the International Society for Optics and Photonics, Image Signal Processing Remote Sensing XXIII*; SPIE, The International Society for Optical Engineering, Warsaw, Poland.
- KOLÁŘ, J. (1990): *Dálkový průzkum Země*. SNTL, Praha, 170 s.
- KUPKOVÁ, L., BIČÍK, I., NAJMAN, J. (2013): Land Cover Changes along the Iron Curtain 1990-2006. *Geografie - Sborník ČGS*, 118, č. 2, s. 95-115.
- LUCAS, CH. (2017): The evolution of LU/LC data in the German cadastre. In: *Land Use/Land Cover Products: Challenges and Opportunities*, 15th November 2017, Brussels, Belgium.
- LILLESAND, T., KIEFER, R. W., CHIPMAN, J. (2015): *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons, 736 s.
- MALLICK, M. (2013): *Cadastral Mapping Using High Resolution Remote Sensing Data: A Case Study of Mirzapur District, Uttar Pradesh (India)*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 64 s.
- MONTAGHI, A., LARSEN, R., GREVE, M. H. (2013): Accuracy assessment measures for image segmentation goodness of the Land Parcel Identification System (LPIS) in Denmark. *Remote sensing letters*, Volume 4, No. 10, s. 946-955.
- MOTOHKA, T., NASAHARA, K. N., OGUMA, H., TSUCHIDA, S. (2010): Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, Volume 2, Issue 10, s. 2369-2387.
- NAVRATIL, G., LEOPOLDSEDER, V. (2017): Visualizing the quality of vector features - a proposal for cadastral maps. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W7. In: *ISPRS Geospatial Week 2017*, 18-22 September 2017, Wuhan, China, s. 537-542.

- PAVELKA K. (1997): Monitorování změn lesních porostů v Krušných horách pomocí dálkového průzkumu Země. In: Voženílek V. (ed.): Kartografie na přelomu tisíciletí. Sborník příspěvků 12. kartograf. konference, 16.–18. září 1997, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, s. 31-37.
- PAZÚR, R., FERANEC, J., ŠTYCH, P., KOPECKÁ, M., HOLMAN, L. (2017): Changes of urbanised landscape identified and assessed by the urban atlas data: Case study of Prague and Bratislava. *Land Use Policy*. Volume 61, s. 135-146.
- PEKÁREK, M. a kolektiv (2010): Pozemkové právo. Aleš Čeněk, Plzeň, 195 s.
- PÉREZ-HOYOS, A., GARCÍA-HARO, F. J., SAN-MIGUEL-AYANZ, J. (2012): Conventional and fuzzy comparisons of large scale land cover products: Application to CORINE, GLC2000, MODIS and GlobCover in Europe. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 74, s. 185-201.
- PLÁNKA, L. (2007): Dálkový průzkum Země, Modul 01 – teoretické základy. VÚT v Brně, Brno, 71 s.
- RAJU, K. N. P., KUMAR, S., MOHAN, K., PANDEY, K. M. (2008): Urban Cadastral Mapping using Very High Resolution Remote Sensing Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Volume 36, s. 283-288.
- STANKOVÁ, H., MATULA, D. (2017): Analýza štruktúry mestskej zelene a jej zmien v centre Bratislavy. *Geografický časopis*, Volume 69, No. 2, s. 145-165.
- SÁŇKA, M., MATERNA, J. (2004): Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *Planeta*, roč. 12, č. 11, 84 s.
- SHACKELFORD, A. K., DAVIS, C. H. (2003): A Hierarchical Fuzzy Classification Approach for High-Resolution Multispectral Data Over Urban Areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 41, No. 9, s. 1920-1932.
- STEINHAUSEN, M. J., WAGNER, P. D., NARASIMHAN, B., WASKE, B. (2018): Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 data for improved land use and land cover mapping of monsoon regions. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, Volume 73, s. 595-604.
- ŠTYCH, P., MÍČEK, O., KŘÍŽ, J. (2015): Land use/cover changes in the Prague metropolis in years 1989, 1999 and 2006. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Kupková, L. (eds.): *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume XI*, Asahikawa : International Geographical Union Commission on Land Use/Cover Change: Hokkaido University of Education, 72 s.
- TOBOLOVÁ, B., KEKEN, Z., ZDRAŽIL, V. (2012): Metodika mapování krajiny pomocí nástrojů DPZ a terénního šetření k projektu NAZV QH 81170 Multioborové hodnocení vlivů územní ochrany vodohospodářsky významných lokalit ČR. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce s.r.o., 15 s.

VAN TRICHT, K., GOBIN, A., GILLIAMS, S., PICCARD, I. (2018): Synergistic use of radar Sentinel-1 and optical Sentinel-2 imagery for crop mapping: A case study for Belgium. *Remote Sensing*, Volume 10, Issue 10, s. 1642-1664.

Vyhláška č. 357/2013 Sb., o katastru nemovitostí. In: *Sbírka zákonů*. 1. 11. 2013.

Vyhláška č. 358/2013 Sb., o poskytování údajů z katastru nemovitostí. In: *Sbírka zákonů*. 18. 11. 2013.

Zákon č. 256/2013., o katastru nemovitostí České republiky. In: *Sbírka zákonů*. 28. 5. 2013.

ZHANG, T., SU, J., LIU, C., CHEN, W. H., LIU, H., LIU, G. (2017): Band selection in Sentinel-2 satellite for agriculture applications. In: *2017 23rd International Conference on Automation and Computing*, 7-8 September 2017, Huddersfield, pp. 1-6.

7.1 INTERNETOVÉ ZDROJE

COPERNICUS LAND MONITORING SERVICES (2018): Urban Atlas. [cit. 2018-04-06].
Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas>

ČERVENÁ, L. (2018): hodnocení přesnosti klasifikace - výukový list. [cit. 2019-07-14].
Dostupné z:

<https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/projekty/moderni-geoinformacni-metody-ve-vyuce-gis-kartografie-a-dpz/hodnoceni-presnosti-klasifikace>

EOPORTAL DIRECTORY (2018): Sentinel-2. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z:
<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2>

GISAT (2018): Družicová data. [cit. 2018-04-06].

Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/druzicova-data>

GISAT (2018a): Objektově-orientovaná analýza obrazu. [cit. 2018-08-27]. Dostupné z:
<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/zpracovani-dat/klasifikace/obia-objektove-orientovana-analyza-obrazu>

GISAT (2019): eCognition Developer. [cit. 2019-06-25]. Dostupné z:

<http://gisat.cz/content/cz/software/ecognition/programy-ecognition/ecognition-developer>

GISAT (2019a): Sentinel-2 A. [cit. 2019-11-18]. Dostupné z:

<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/satelite/sentinel-2-a>

EVROPSKÁ AGENTURA PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ (2018): Urban Atlas. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>

- Index DataBase (2019): A database for remote sensing indices. [cit. 2019-07-25].
Dostupné z: <https://www.indexdatabase.de/>
- KATASTR NEMOVITOSTÍ SR (2018): Kataster nehnuteľností. [cit. 2018-04-06].
Dostupné z: <http://kataster-nehnutelnosti.sk-online.sk/>
- LUCC Czechia (2018): Výzkumné centrum změn využití ploch Česka. [cit. 2018-05-08].
Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/ksgrrsek/lucc/>
- OUYANG, Z. (2015): Object-Based Classification & eCognition. [cit. 2019-10-25].
Dostupné z: http://lees.geo.msu.edu/courses/geo827/lecture_12a_ecognition.pdf
- SZIF (2019): Aktualizace LPIS. [cit. 2019-06-19]. Dostupné z: <https://www.szif.cz/cs/lpis>

7.2 ZDROJE DAT

- ČÚZK (2018): Výměnný formát. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z:
<https://vdp.cuzk.cz/vdp/ruian/vymennyformat/vyhledej>
- Copernicus (2018): ESA Sentinel Online - Copernicus Open Access Hub. [cit. 2018-11-08]. Dostupné z: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- LPIS (2019): Portál farmáře. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z:
<http://eagri.cz/public/app/eagricis/Forms/Lists/Nuts/NutsListsPage.aspx>