



Zemědělská  
fakulta  
Faculty  
of Agriculture

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

# **JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Katedra krajinného managementu

## **Diplomová práce**

**Změny pokryvu a orografie povodí 4. řádu ve  
vztahu k výstavbě dálnice hodnocené ze satelitních  
dat Sentinel-2 a leteckých LiDAR dat**

Autor práce: Bc. Petr Žůček

Vedoucí práce: doc. Mgr. Ing František Zemek Ph.D.

České Budějovice  
2021

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne .....

.....  
Podpis

## Abstrakt

Práce se zabývá sledováním změny krajinného pokryvu a orografie v povodí čtvrtého řádu. Pro tento účel byla použita satelitní multispektrální data Sentinel-2 a data leteckého LiDAR skenování.

Hlavním cílem práce bylo ověřit, do jaké míry lze veřejně dostupná a bezplatná satelitní data Sentinel-2 využít k hodnocení změn území a pro potřeby krajinného plánování. K ověření cíle byla využita časová řada satelitních dat Sentinel-2 pro zhodnocení změny krajinného pokryvu ve vztahu ke stavbě nového úseku dálnice D3 na vybraném území.

Sentinel-2 data byla stažena, převzorkována, a klasifikována. Byla použita metoda řízené klasifikace Maximum Likelihood. Kategorie pokryvu byly vytvořeny pomocí trénovacích ploch v softwaru ArcMap. Přesnost klasifikace z dat 22. 9. 2020 byla ověřena pomocí kontrolních bodů, které byly generovány náhodně a terénním šetřením byly zjištěny třídy pokryvu. Z výsledných dat klasifikace byly získány údaje o změně krajinného pokryvu. LiDAR data byla převzorkována na stejné prostorové rozlišení a byly vyhodnoceny rozdíly. Byla nalezena místa s výraznou změnou orografie. Z LiDAR dat byly vytvořeny modely linií soustředěného odtoku. Výsledky modelů byly porovnány a diskutovány.

Výsledky srovnání Sentinel-2 dat za období 2017 až 2020 ukazují výrazné zvýšení zastoupení oblastí s řídkou vegetací o 46,39 ha a ploch s travnatou a křovinnou vegetací o 38,36 ha. Dále došlo k zvýšení ploch luk o 7,02 ha a lesních mýtin o 1,95 ha. Sníženo bylo zastoupení orné půdy o 34,78 ha, lesů o 29,05 ha, vodních ploch o 12,12 ha, urbanizace o 13,39 ha a ploch s probíhající stavbou o 4,38 ha. Výsledky srovnání LiDAR dat ukázaly několik oblastí s výraznou změnou orografie. Srovnání modelů linií soustředěných otoků odhalilo výraznou změnu. Výrazná část vody z povodí odtékala do sousedního povodí 1-06-03-0030. Po rekultivaci bývalého odkaliště se rozdělené části koryta Hodějovického potoka propojily a voda z celého povodí končí v uzávěrném profilu řešeného povodí.

Celková přesnost 91,4 % a Kappa koeficient 0,902 ukazují, že použitý postup zpracování Sentinel-2 dat umožňuje dostatečně prostorově i tematicky přesnou klasifikaci krajinného pokryvu, vyjma území urbanizace. Klasifikace v zastavěném území měla uživatelskou přesnost 86,7 %. Data zjištěná ze Sentinel-2 dat mohou být tedy použita v několika částech krajinného plánování. Je možné je použít k: aktualizaci

využití území, určování aktuálního stavu porostu, sledování lesních komplexů, nebo sledování rekultivací.

LiDAR data mohou být efektivně použita ke sledování změn orografie, modelování linií soustředěného odtoku a určování kritických bodů.

**Klíčová slova:** dálkový průzkum Země, Sentinel-2, krajinný pokryv, LiDAR

## **Abstract**

This research is focused on changes of land cover and orography in fourth order river basin. For this purpose, satellite multispectral Sentinel-2 data and airborne LiDAR data were used.

The main goal of this work was to verify to which extent can free and publicly available Sentinel-2 data be used to assessment of landscape changes for the use of land planning. To verify the goal the timeseries of the Sentinel-2 satellite data was used for the assessment of the land cover in a relation to the construction of the D3 highway on the selected area.

Sentinel-2 data were downloaded, resampled, and classified. Maximum Likelihood method of supervised classification was used. The categories of land cover were created using training areas in the ArcMap software. The accuracy of the classification from 22. 09. 2020 was verified using validation points, which were generated randomly. By field survey classes of land cover were defined. From final classification data, new data about the change of land cover were obtained. The LiDAR data were resampled to the same spatial resolution and differences were evaluated. Areas with significant variances in orography were retrieved. From LiDAR, drainage network models were created. The results of models were compared and discussed.

The results of comparison of Sentinel-2 data from 2017 to 2020 shows significant increase in representation of areas with sparse vegetation by 46,39 ha and areas with grass and shrub vegetation by 38,39 ha. Furthermore, there was an increase in meadow areas by 7,02 ha and forest clearing by 1,95 ha. The representation of arable land was decreased by 34,78 ha, forests by 29,05 ha, water areas by 12,12 ha, urbanization by 13,39 ha and areas with ongoing construction by 4,38 ha. The results of Li-DAR data

comparison showed several areas with significant orography alteration. The comparison of drainage network models revealed a distinct variation. Significant part of the runoff water flowed into the neighboring 1-06-03-0030 basin. After the recultivation of former waste pond, divided parts of the Hodějovice stream water gate were connected and the water from the whole basin ends in an outlet of the basin on which this research is focused on.

The overall accuracy 0,914 and Kappa coefficient of 0,902 show that used approach of Sentinel-2 data processing provides with sufficiently spatially and thematically accurate classification of land cover, apart from the area of urbanization. Classification in built-up area had the user-accuracy of 0,867. Data obtained from Sentinel-2 may be used in several parts of land planning. It is also possible to use them for: updates of land usage, determination of actual growth condition, monitoring of forest complexes or for monitoring of recultivations.

LiDAR data may be effectively used for the monitoring of orography variations, modelling of drainage network models, and determining of critical points.

**Keywords:** remote sensing, Sentinel-2, land cover, LiDAR

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi byli oporou v náročném období studia na univerzitě. Především bych chtěl poděkovat své blízké rodině, partnerce a nejlepším přátelům. Poděkování patří také panu Zemkovi, který byl vedoucím této práce.

# Obsah

Úvod.....	9
1 Dálkový průzkum Země.....	10
1.1 Historie .....	10
1.2 Elektromagnetické záření .....	11
1.2.1 Rozptyl EMZ.....	12
1.2.2 Pohlcování záření .....	13
1.3 Multispektrální data.....	14
1.3.1 Předzpracování multispektrálních dat .....	14
1.4 Copernicus.....	16
1.4.1 Kosmická komponenta.....	17
1.4.2 In-situ komponenta.....	17
1.4.3 Služby.....	17
1.5 Sentinel 2.....	18
1.5.1 Radiometrická a prostorová rozlišení.....	19
1.5.2 Úrovně zpracování dat .....	20
1.6 LiDAR .....	22
1.6.1 Předzpracování dat .....	23
2 Metodika .....	25
2.1 Cíl práce .....	25
2.2 Charakteristika zájmového území .....	26
2.3 Použitá data .....	27
2.4 Použité softwary .....	28
2.5 Zpracování dat Sentinel-2 .....	29
2.5.1 Úprava dat v softwaru SNAP.....	29
2.5.2 Klasifikace dat a tvorba tříd pokryvu.....	29

2.5.3	Zjištění přesnosti provedené klasifikace .....	35
2.5.4	Převedení rastrových dat do tabulek .....	37
2.6	Zpracování dat LiDAR.....	38
2.6.1	Tvorba potencionálních linií soustředěného odtoku .....	39
3	Výsledky a diskuse.....	41
3.1	Změny orografie .....	41
3.1.1	Nadmořská výška terénu .....	41
3.1.2	Odtokové poměry povodí.....	42
3.2	Změny tříd krajinného pokryvu.....	44
3.2.1	Třída pokryvu Les .....	44
3.2.2	Třída pokryvu Orná půda .....	46
3.2.3	Třída pokryvu Plochy s travnatou a křovinnou vegetací .....	47
3.2.4	Třída pokryvu Vodní plochy .....	49
3.2.5	Třída pokryvu Urbanizace.....	50
3.2.6	Třída pokryvu Louky .....	50
3.3	Změna zastoupení plochy tříd .....	51
	Závěr .....	54
	Seznam použité literatury.....	56
	Seznam obrázků .....	63
	Seznam tabulek .....	64



---

## Úvod

Krajinné plánování je v dnešní době stále aktuálnějším tématem. Dochází ke zvyšování nároků na zemědělskou produkci, zastavování nových ploch a současně ke snaze o udržitelný rozvoj, který nám pomůže zachovat zdravou krajinu pro následující generace.

Pro efektivní krajinné plánování je nezbytné porozumění dané lokalitě, jejím vnitřním vazbám, souvislostem faktorů a k tomu jsou nepostradatelná kvalitní podkladová data. Z tohoto důvodu je tato práce zaměřena na ověření vhodnosti dat dálkového průzkumu Země (DPZ), jako podkladu pro krajinné plánování. Hlavním zdrojem jsou satelitní data Sentinel-2, která jsou veřejně a bezplatně dostupná a mají vysokou periodicitu snímování. Současně s daty Sentinel-2 byla také použita data leteckého laserového skenování, díky kterým mohla být vyhodnocena změna orografie zájmového území.

Pro tento úkol bylo vybráno povodí čtvrtého řádu 1-06-02-0780-0-00, kterým protéká Hodějovický potok. Povodí bylo sledováno v letech 2017, 2018, 2019 a 2020. Území bylo zvoleno z důvodu probíhající výstavby nového úseku dálnice D3 a dá se očekávat velký vliv této aktivity na změnu pokryvu a orografie v tomto území. Ze získaných dat bylo vyhodnoceno, do jaké míry se tento předpoklad potvrdil a do jaké míry se dají tato data využít jako podklad pro krajinné plánování.

Součástí práce je literární rešerše seznamující s principy dálkového průzkumu Země, vlastnostmi elektromagnetického záření, jeho ovlivnění při průchodu atmosférou, druhy použitých dat a softwary využitými ke zpracování dat.

Družicová data Sentinel-2 byla metodou řízené klasifikace Maximum Likelihood zpracována do vybraných tříd pokryvu a z výsledků jednotlivých termínů snímování proveden výpočet změn pokryvu. Pro nejnovější snímek byla vyhodnocena přesnost provedené klasifikace pomocí kontrolních bodů získaných terénním šetřením. U dat leteckého laserového skenování byl vyhodnocen rozdíl nadmořských výšek a metodou odtokových linií byly posouzeny změny linie soustředěných odtoků v povodí. Na závěr byl diskutován vztah mezi zjištěnými změnami a výstavbou nového úseku dálnice D3.

---

# 1 Dálkový průzkum Země

## 1.1 Historie

Jako první historický milník v dálkovém průzkumu Země by se mohl považovat popis optického zařízení „kamera obscura“. Tento první krok směřující k dnešnímu dálkovému průzkumu Země učinil Aristoteles již ve 4. stol. př.n.l. (Bürger, 1995).

Dalším důležitým momentem byl vznik prvních černobílých fotografií z počátku 19. století. První snímek pořídil francouzský vynálezce Joseph Nicéphore Niépce na cínovou desku pokrytou petrolejovým roztokem asfaltu (Smith, 1983; Stulik, 2013).

V roce 1858 byl pořízen první snímek z ptáčích perspektivy v Paříži z horkovzdušného balónu Gaspera Felixe Tournachona (Hardin a Hardin, 2010).

Zásadním průlomem byl vynález letadla v roce 1910. V následujících letech nabral rychlost rozvoj mnoha technických odvětví z důvodu první a druhé světové války. Rozvíjet se začal nejdříve průzkum území pomocí běžného snímkování a následně se začalo s využíváním technologie snímkování blízkého infračerveného spektra a mikrovlnného záření. Další velkým posunem byl počátek snímkování Země z oběžné dráhy. Satelitní snímkování Země z oběžné dráhy počalo v 60. letech 20. století. První vypuštěné satelity TIROS se věnovali sběru meteorologických dat a tato data poskytují dodnes. V dnešní době jsou známy pod jménem NOAA. V následujícím desetiletí došlo k vypuštění satelitů s lepším spektrálním rozlišením. Například satelity programu Landsat. V roce 1967 také NASA spustila svůj program dálkového průzkumu Země ERTS. Tento program se zaměřuje na monitorování zdrojů surovin. Právě tyto satelity jsou v dnešní době známé, jako satelity programu Landsat. Z tohoto programu je v současné době v provozu satelit Landsat 8, který poskytuje vysoce kvalitní multispektrální a panchromatická data (Cohen a Goward, 2004; Hansen a Loveland, 2012).

Mezi 80. a 90. let minulého století byly vypuštěny družicové systémy MODIS a MERIS, které jako první nesly skenery schopné hyperspektrálního průzkumu. Tímto byla otevřena možnost z jednoho zařízení snímat data v desítkách různých spektrálních kanálech. Hyperspektrální snímání zůstává i do dnešní doby vrcholem technologie dálkového průzkumu Země. Hyperspektrální data v současné době představují garanci vysoké radiometrické kvality a vysokých spektrálních rozlišení (Xiong a Butler, 2020; Zemek et al., 2014).

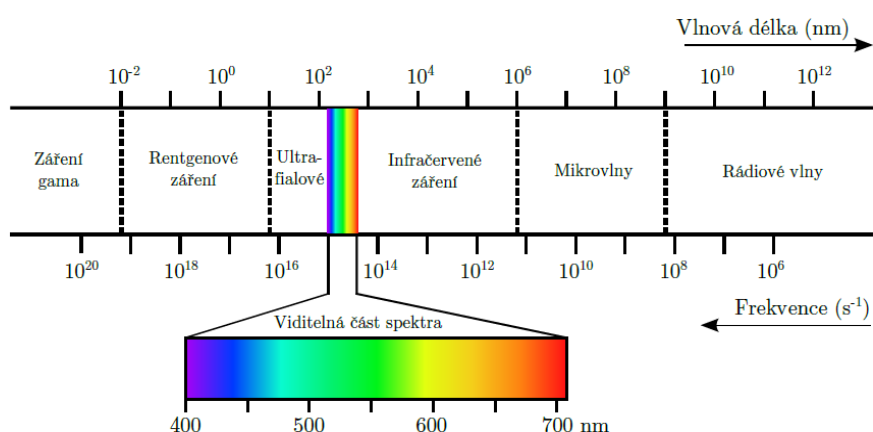
---

Samostatným odvětvím DPZ, které se počalo rozvíjet po vytvoření dostatečných technologií družicové a letecké navigace, je LiDAR (Light Detection And Ranging). Dostatečné podmínky pro rozvoj tohoto odvětví byly až na přelomu 80. a 90. let minulého století. První LiDAR skenery měly kapacitu 2 až 25 tisíc pulzů za vteřinu. Současná technologie LiDAR má kapacitu příjmu pulzů až šestnáctinásobnou (Baltsavias, 1999; Zemek et al., 2014).

Třetím odvětvím DPZ, které se rozvíjelo odlišnou cestou je termální dálkový průzkum. Obrovský rozvoj je očekávaně přisuzován válečnému období. Využití této technologie pro narmádní účely bylo umožněno až v 60. letech minulého století. Tím bylo umožněno další rozvíjení odvětví termálního DPZ. V osmdesátých letech NASA vyvinula vícekanálový termální skener (TIMS). TIMS skener byl použit při sestrojení např. družice Landsat 3 (Zemek et al., 2014).

## 1.2 Elektromagnetické záření

Hlavním a pozorovatelným zdrojem elektromagnetického záření (EMZ) pro Zemi je Slunce. Dále se v učebnicích často uvádí záření kosmické. Pravdou je ovšem to, že každý objekt, jehož teplota přesahuje teplotu absolutní nuly, je zářičem elektromagnetického záření. Člověku zjevná část elektromagnetického spektra je viditelné záření. Je to záření lidským okem vnímatelné, které vnímáme jako barvu objektu. Rozsah viditelného záření se uvádí přibližně 400–700 nm. Další částí elektromagnetického záření je ultrafialové záření. Toto záření se pohybuje v rozpětí 300–380 nm. V DPZ se toto spektrum využívá pouze zřídka. Z důvodu vysokého rozptylu tohoto záření v zemské atmosféře. Pasivní senzory využívané v DPZ jsou zaměřeny na snímání záření vlnových délkách 380–3000 nm. Podrobněji je toto záření děleno na VIS (viditelná infračervená část), NIR (blízká infračervená část), MIR (střední infračervená část). VIS má vlnovou délku 400–720 nm, NIR 720–1300 nm, a MIR 1300–3000 nm. Vlnové délky nad 3–1000  $\mu\text{m}$  obsahují převážně vyzářené záření. Toto vyzářené infračervené záření označujeme také jako „tepelné záření“, nebo „teplo“. V DPZ se využívá záření vlnové délky 8–14  $\mu\text{m}$ , které je také označováno jako TIR (termální infračervené záření) (Netopil et al., 1984; Zemek et al., 2014). Členění elektromagnetického záření uceleně zobrazuje obr.č.1.1.



Obrázek 1.1: Spektrum elektromagnetického záření (Zemek et al., 2014)

### 1.2.1 Rozptyl EMZ

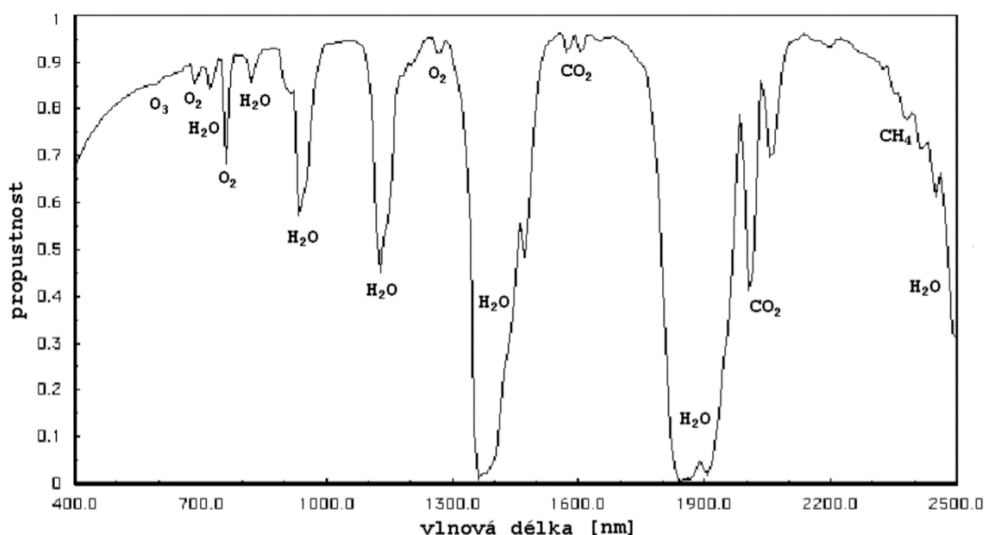
Rozptyl záření v atmosféře vzniká při „srážce“ záření s molekulami, aerosoly nebo jinými mikroskopickými částicemi atmosféry. Pochopení principu rozptylu je nezbytné ke správnému předzpracování satelitních dat. Z důvodu existence tohoto jevu je nutné provádět u satelitních dat povrchu Země atmosférické korekce. Existují dva nejčastěji přítomné rozptylové mechanismy. První druh je rozptyl na jednotlivých molekulách vzduchu. Tento druh rozptylu se nazývá Rayleighův rozptyl a jeho intenzita je nepřímo úměrná čtvrté mocnině vlnové délky záření. Druhý mechanismus rozptylu je „aerosolový“, nebo Mieův rozptyl. Mieův rozptyl je typický pro srážku záření s většími částicemi atmosféry například částicemi dýmu a vodní páry. Tyto částice se velikostně pohybují okolo desetininy až desetinásobku vlnové délky záření. Intenzita Mieova rozptylu je stejně jako u Rayleighova rozptylu závislá na vlnové délce. Tato závislost však není tak silná jako u Rayleighova rozptylu. To způsobuje, že při mlhových situacích dochází ke značnému potlačení závislosti intenzity rozptylu na vlnové délce záření. V opačném případě při modelové meteorologické situaci bez oblačnosti je Rayleighův rozptyl jediným rozptylem, který lze zaznamenat. Tento jev bývá běžně demonstrován na zjevné barvě oblohy. Modré záření s kratší vlnovou délkou je rozptýleno ve větší míře než červené záření s delší vlnovou délkou. Podobným principem se dá vysvětlit také červené zbarvení oblohy při západu slunce. Záření musí díky rozdílnému úhlu průchodu atmosférou překonávat delší dráhu v atmosféře. Krátkovlnné záření je rozptýleno od původní trajektorie

---

záření, na rozdíl od dlouhovlnného červeného záření. Další optický následek rozdílného rozptylového mechanismu je převládající bílé zabarvení oblohy v mlze, nebo při vysoké oblačnosti. Tento stav je následkem téměř neselektivního rozptylu při Mieově mechanismu, který je způsoben většími částicemi v atmosféře (Richards a Jia, 2006).

### 1.2.2 Pohlcování záření

Pohlcování záření neboli absorpce je mechanismus, ke kterému dochází při kontaktu záření a tělesa. Společně s rozptylem pohlcování záření atmosférou ovlivňuje informaci o Zemském povrchu získanou ze satelitních dat. Pro odstranění těchto vlivů a získání dat reprezentujících stav na Zemském povrchu je nezbytné provádět atmosférické korekce. Pohlcování záření je oproti rozptylu způsobeno úplným pohlcením části záření a tím oslabuje původní energii záření. Absorpce jednotlivých částí elektromagnetického spektra je různá, díky rozdílným absorpčním vlastnostem jednotlivých plynů. V Zemské atmosféře jsou hlavními plyny způsobujícími absorpci vodní pára ( $\text{H}_2\text{O}$ ), oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), kyslík ( $\text{O}_2$ ) a ozón ( $\text{O}_3$ ). Absorpce těchto plynů je znázorněna na obr.č.1.2. Přestože tyto plyny tvoří pouze minimální část z atmosféry, jejich absorpční vlastnosti jsou velice výrazné. Nejsilnější absorpční schopnosti z těchto plynů má vodní pára. Nejvíce výrazná absorpce vodní páry je mezi 1 300 až 1 500 nm, 1 800 až 2 000 nm a vlnovými délkami nad 2 450 nm. Ozón pohlcuje záření pod 240 nm (ultrafialové záření) a záření mezi 9 a 10  $\mu\text{m}$  (část TIR). Oxid uhličitý působí nejvíce mezi 13 až 17,5  $\mu\text{m}$  (střední a infračervené záření). Následným jevem, který může být v DPZ překážkou z důvodu ovlivňování signálu je následné vyzařování absorbovaného záření jinými vlnovými délkami. Na tento typ ovlivňování dat jsou nejvíce náchylné termální skenery. Některé části elektromagnetického spektra nejsou téměř ovlivněny. Takové části nazýváme atmosférická okna. Nejméně ovlivněny jsou vlnové délky mezi 400 až 600 nm, 1 000 až 1 100 nm, 1 500 až 1 700 nm, 2 100 až 2 300 nm a 8 až 14  $\mu\text{m}$  (termální oblast) (Richards a Jia, 2006; Zemek et al., 2014).



Obrázek 1.2: Propustnost záření atmosférou (Milěš, 2007)

### 1.3 Multispektrální data

Multispektrální dálkový průzkum Země je odvětví, které se rozvíjí posledních několik desetiletí. Rozkvět této vědní disciplíny započal v 70. letech dvacátého století. Snímače zaznamenávají údaje do několika kanálů, ze kterých je následně možné vytvářet barevné syntézy pro průzkumy povrchu, nebo pozorovat data ze samostatných kanálů v odstínech šedi. Multispektrální data set je obvykle složen z 5–10 kanálů o relativně vysokém rozpětí vlnové délky 70–400 nm (Liang, 2004).

#### 1.3.1 Předzpracování multispektrálních dat

Surová data získaná multispektrálním snímačem například družicí, musí být před svým použitím v některém z cílových odvětví předzpracována do vyhovujícího formátu a opravena o chyby a odchylky vzniklé při snímání. Obvykle se toto předzpracování dělí na radiometrické korekce, atmosférické korekce a geometrické korekce (Goodman et al., 2013).

**Radiometrická korekce:** má za úkol převést naměřené digitální hodnoty na hodnoty radiace na úrovni senzoru. Charakter výchozích dat radiometrické korekce můžeme rozdělit na dva typy. Prvním je TOA (Top Of Atmosphere), který obsahuje údaje o záření na povrchu atmosféry. Druhým je SR (Surface Reflectance), který obsahuje údaje o záření ze Zemského povrchu. Radiometrické korekce z dat eliminují rozdíly způsobené sezónními odlišnostmi polohy Země a Slunce a rozdílným úhlem

---

dopadu Slunečního záření na Zemský povrch (Kuter et al., 2015; Pons a Solé-Sugrañes, 1994; Zemek et al., 2014).

**Atmosférické korekce:** jejichž cílem je odstranění rušivého vlivu atmosféry a převod radiace na hodnoty odrazivosti povrchu. Pro dosažení nejvyšší možné kvality snímaných dat, je nezbytné současně s dálkovým snímáním povrchu provést lokální povrchová měření odrazivosti a poziční měření bodů. Tato lokální měření v terénu mohou být nahrazena zjednodušenou atmosférickou korekcí, na úkor dosažené kvality dat (Goodman et al., 2013).

Atmosférické korekce se dají rozdělit do dvou hlavních skupin. Skupinu založenou na empirických metodách s výslednými hodnotami „zjevné odrazivosti“ a skupinu metod založenou na simulacích průchodu záření atmosférou s výslednými hodnotami absolutní odrazivosti (Gao et al., 2009).

Kvalita provedených atmosférických korekcí se hodnotí ve vztahu s pozemním spektrálním měření, prováděným současně se snímáním vlastních multispektrálních dat. Srovnávají se hodnoty referenčních spekter a spekter naměřených při pozemním měření v území odpovídající velikosti pixelu. Místo pozemního referenčního měření musí být vhodné z hlediska velikosti, homogenity spektra a polohy. Shoda dat se dá předběžně určit na základě vizuální kontroly, avšak vhodné objektivní hodnocení shody naměřených hyperspektrálních dat a dat pozemního měření je např. RMSE (suma čtverců odchylek) (Richter a Schlapfer, 2002). Pro účely této práce byla získána data Sentinel-2, pro která byla atmosférická korekce již provedena. Z tohoto důvodu je zde toto téma přiblíženo pouze povrchově.

**Geometrické korekce:** mají za úkol kompenzovat pohyby senzorů oproti Zemskému povrchu a přiřazování dat souřadnicového systému, pro umístění snímaných dat do reálného prostoru (Goodman et al., 2013).

Geometrické korekce se dají rozdělit do dvou kroků. Prvním krokem je přímé geokódování skládající se z geometrické korekce, která odstraňuje chyby spojené s pohybem snímače a ortogonalizace, která řeší kompenzaci zkreslení dat, které je způsobeno geometrií senzoru družice a topografií terénu. Druhý krok představuje převzorkování pixelů dat získaných do mřížky cílového referenčního systému. Součástí tohoto procesu je interpolace dat. Interpolační metody běžně využívané jsou například metody nejbližšího souseda, bilineární, nebo kubické interpolace (Richter a Schlapfer, 2002; Zemek et al., 2014).

---

Kvalita provedených geometrických korekcí se vyjadřuje horizontální poziční přesností. Horizontální poziční přesnost se získává za pomoci skupiny přesně určených bodů v terénu, které musí být nesporně a přesně identifikovatelné v naměřených multispektrálních snímcích. Geometrická kvalita dat je také ovlivněna kvalitou použitého DMR (digitálního modelu reliéfu) (Goncalves et al., 2009; Zemek et al., 2014).

Předzpracování bývá provedeno poskytovatelem dat. Ke koncovým uživatelům se data dostávají ve zpracované, opravené a usazené podobě do souřadnicového systému. Z tohoto důvodu mají jednotliví poskytovatelé odlišné postupy zpracování. Postupy se liší např. dle použitého senzoru, softwaru, nebo předpokládaného využití dat (Zemek et al., 2014).

Data Sentinel-2 získaná pro potřeby této práce byla již upravena geometrickou korekcí poskytovatelem. Z tohoto důvodu je zde tato tematika pouze povrchově přiblížena.

## **1.4 Copernicus**

Původním názvem programu Copernicus je GMES (Global Monitoring for Environment and Security). Tento projekt byl založen Evropskou Unií, za účelem pozorování charakteristik životního prostředí a bezpečnosti. Mimořádným aspektem tohoto projektu je veřejný a bezplatný přístup k datům. Je tak velice dobře přístupným zdrojem dat pro veřejnou správu, akademickou sféru i běžného uživatele (Copernicus, n.d.; Drusch et al., 2012).

Program GMES byl poprvé zmíněn roku 1998 na setkání v Bavernu. Na popud této události byl zřízen Bavorský manifest. Tím bylo dáno, že je nutné usilovat o podporu dlouhodobého monitoringu životního prostředí, který se bude zakládat na pozorování Země pomocí systému družic (Copernicus, n.d.; Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2018).

Program Copernicus je rozdělen do tří částí: kosmická část, in-situ část a služby Copernicus. Kosmická část se skládá z družic Sentinel 1-6 a tzv. přispěvatelů. Přispěvatelé jsou družice jiných agentur, které programu Copernicus poskytují některá data. In-situ pak tvoří pozemní stanice členských států Evropské Unie. Služby poskytované programem široké veřejnosti pak můžeme rozdělit do kategorií: území, mořské prostředí, atmosféra, bezpečnost, krizové řízení a změny klimatu (Drusch et al., 2012).



---

### 1.4.1 Kosmická komponenta

Stěžejním prvkem celého programu Copernicus jsou její satelity, které získávají data o Zemském povrchu. Jde o družice Sentinel a další družice, které náleží jiným organizacím. Družice se dělí do šesti misí: Sentinel 1-6. V současné době jsou v provozu mise Sentinel 1-3 a Sentinel-5P. Satelity 4-6 mají být vypuštěny v následujících letech (ESA, n.d.).

### 1.4.2 In-situ komponenta

In-situ komponenta obsahuje velké množství pozemních měření. Jedná se o měření pomocí senzorů na březích řek, lodích, horkovzdušných balónech, letadlech, dronech UAV (Unmanned Aerial Vehicles) a dalších. Data z takového měření jsou nepostradatelnou složkou projektu. Jsou využívána jako geoprostorová referenční data a doplňují chybějící data získaná z družic, nebo se používají k atmosférickým korekcím a validaci dat. Koordinaci In-situ komponenty má na starosti Evropská agentura pro životní prostředí (European Environment Agency) (INSITU, n.d.).

### 1.4.3 Služby

První vzniklé služby byly Monitoring území a Služba pro krizové řízení v roce 2012. CLMS (Copernicus Land Monitoring Service) funguje ve třech úrovních: lokální, panevropská a globální. V těchto úrovních pak poskytuje informace o jednotlivých složkách krajinného pokryvu. Tato data se dají využít v odvětvích jako: územní a městské plánování, lesní hospodářství, vodní hospodářství, zemědělství, ochrana a obnova přírody, rozvoj venkova, nebo zmírňování změn klimatu (Copernicus, 2019a).

Následně byla roku 2015 spuštěna služba Atmosféra a služba Mořské prostředí. CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) se zaměřuje na poskytování dat z oblastí kvality ovzduší a složení atmosféry, ozónové vrstvy a ultrafialového záření, emisí a povrchových toků, slunečního záření a antropogenního ovlivňování klimatu. CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) je zaměřena na monitoring fyzikálních a biogeochemických charakteristik a jejich využití při určování chování oceánských a mořských ekosystémů. Využití těchto dat je možné například v: námořní bezpečnosti, určování mořských zdrojů, nebo určování a předpovědi počasí a klimatu (Copernicus, 2019b).

---

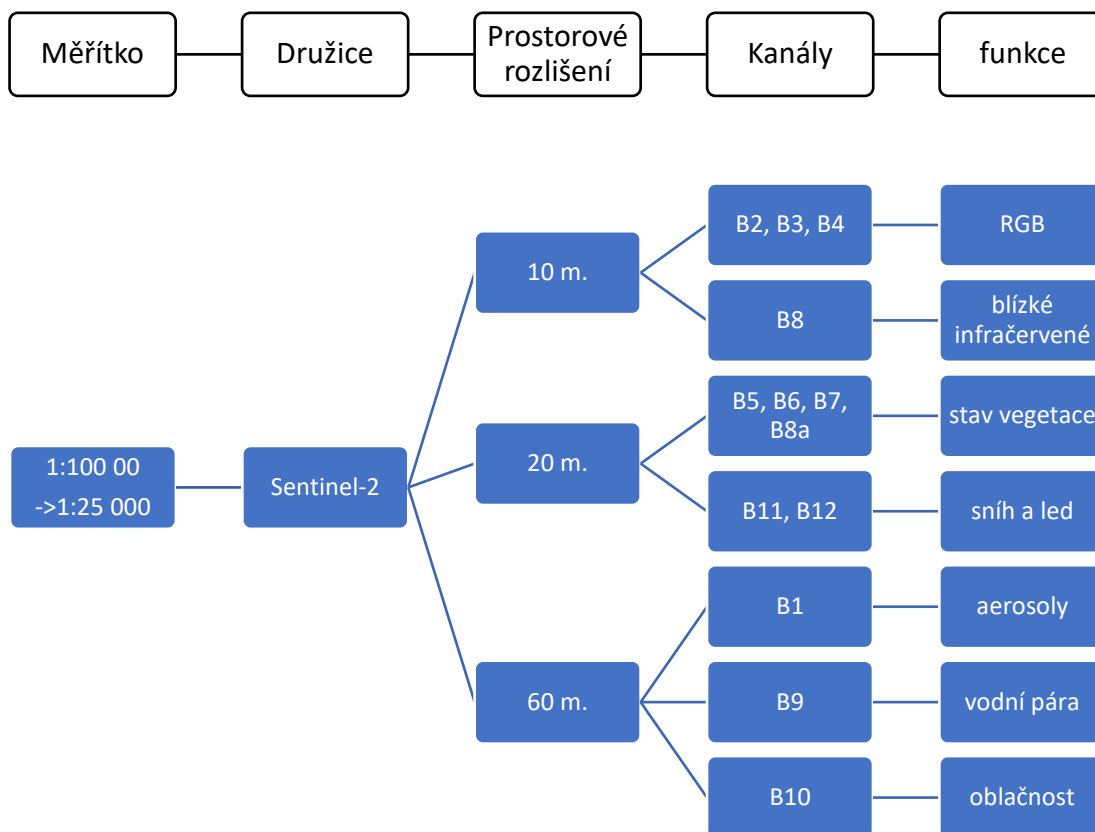
Roku 2016 byla spuštěna služba bezpečnosti. Tato specifická služba slouží podpoře politiky Evropské Unie a poskytuje informace, které mají pomáhat předcházet krizím. Cílovým sektorem této služby je pak ostraha hranic, námořní dohled, nebo podpora pro vnější činnosti Evropské unie.

Poslední spuštěnou službo je C3S (Služba v oblasti změny klimatu), která se věnuje monitorování změn klimatu, jejich předcházení a opatření, která mají zmírnit jejich dopad na člověka a životní prostředí. S těmito daty pracují vědečtí pracovníci, konzultanti a tvůrci politik (Copernicus, 2019c).

## 1.5 Sentinel 2

Pro využití v této metodice jsou použita data programu Copernicus mise Sentinel-2. Snímky Sentinel-2 mají vysokou kvalitu a velkou šířku záběru. Díky tomu může mise Sentinel-2 snímat data ve třinácti spektrálních pásmech v rozmezí 443–2190 nm, se šířkou záběru 290 km, spektrálním rozlišením 15–180 nm a radiometrickým rozlišením 12 bit. Mise Sentinel-2 je tvořena dvěma družicemi. Družicí Sentinel 2A, která byla vypuštěna 23. června 2015 a družicí Sentinel 2B, která byla vypuštěna 7. března 2017. Tyto dvě družice sdílejí stejnou oběžnou dráhu se vzájemným posunem 180 °. Další silnou stránkou družic Sentinel-2 je vysoké časové rozlišení. Jedna družice proletí nad stejným územím jednou každých deset dní. Jelikož má mise Sentinel-2 dvě družice na stejné oběžné dráze, máme data ze stejného území každých pět dní. Zemský povrch je díky družicím Sentinel-2 sledován od 56 ° jižní šířky, po 84 ° severní šířky (Žubrietovský et al., 2017).

Družice jsou vybaveny optickým senzorem MSI. Tento senzor dokáže snímat 13 pásem záření, a to od viditelného záření, po infračervenou část záření. Kanály mají různé prostorové rozlišení, 10 m, 20 m a 60 m, což můžeme dobře vidět z obr.č.1.3 (Žubrietovský et al., 2017; Drusch et al., 2012).



Obrázek 1.3: Kanály Sentinel 2 (Žubrietovský et al., 2017; vlastní zpracování)

### 1.5.1 Radiometrická a prostorová rozlišení

Radiometrické rozlišení popisuje nejmenší velikost rozdílu, který je senzory zachytitelný. Znázorňuje nám „hloubku pixelu“. Nasnímaná data dle radiometrického rozlišení mají určené úrovně jasu z digitálních spojených hodnot intenzity. Sentinel-2 data mají radiometrické rozlišení 12bit, což umožňuje 0-4096 potencionálních úrovní jasu pixelů (Barazzetti et al., 2016).

Obě družice Sentinel-2 mají zabudovaný multispektrální senzor, který snímá záření odražené zemským povrchem. Prvně se záření dělí filtrem a následně soustředí do dvou spektrálních ohniskových sestav (VNIR a SWIR). Sestavy VNIR (Visible and Near-infra-Red) pro záření viditelné a blízké infračervené, sestavy SWIR (Short Wave Infra-Red) pro krátkovlnné infračervené záření. Spektrální separace do cílových vlnových délek je zajištěna pruhovým filtrem na detektorech (Žubrietovský, et al., 2017). Podrobné rozložení jednotlivých pásem družice Sentinel-2 v tab.č.1.1.

**Tabulka 1.1: Pásma Sentinel-2 (Žubrietovský et al., 2017; vlastní zpracování)**

<b>Číslo pásma</b>	<b>Střední vlnová délka [nm]</b>	<b>Šířka pásma [nm]</b>	<b>Prostorové rozlišení [m]</b>
1	443	20	60
2	490	65	10
3	560	35	10
4	665	30	10
5	705	15	20
6	740	15	20
7	783	20	20
8	842	115	10
8a	865	20	20
9	945	20	60
10	1380	30	60
11	1610	90	20
12	2190	180	20

### **1.5.2 Úrovně zpracování dat**

Snímky jsou volně dostupné ke stažení ve formě tzv. granulí. Granule jsou nejmenší prvky snímků a obsahují data ze všech spektrálních pásem. Data Sentinel-2 jsou dostupná v různých úrovních (Level) zpracování (Žubrietovský et al., 2017).

Přehledné rozdělení jednotlivých úrovní produktů můžeme vidět v tab.č.1.2.

Tabulka 1.2: Úrovně zpracování (Žubrietovský et al., 2017; vlastní zpracování)

Úroveň produktu	Popis	Vytvoření a distribuce	Objem dat
<b>Level-1B</b>	Top-of-atmosphere radiance v geometrii senzoru	Systém vytváření a on-line distribuce	27 MB (1 granule 25 x 23 km)
<b>Level-1C</b>	Top-of-atmosphere reflektance v kartografické projekci	Systém vytváření a on-line distribuce	500 MB (1 granule 100 km <sup>2</sup> )
<b>Level-2A</b>	Bottom-of-atmosphere reflektance v kartografické projekci	Vytvoření na straně uživatele s využitím Sentinel 2 toolboxu	600 MB (1 dlaždice 100km <sup>2</sup> )

**Level-0:** jsou nezpracovaná data ISP (Instrument Source Packet), která nejsou dostupná pro vnější uživatele Sentinel-2. Level-0 data mají rozměry 25 x 23 km. Level-0 data jsou vstupním prvkem pro tvorbu datových výstupů Level-1 dat (Žubrietovský et al., 2017).

**Level-1A:** data se získávají dekomprimací nezpracovaných dat Level-0. Velikost produktu Level-1A je 25 x 23 km. Lokalizace pixelů v obraze z těchto dat je zajištěna vytvořeným geometrickým modelem, v němž se souřadnice vždy vztahují ke středu daného pixelu dat. Při obletu Země družicí je pořízeno zhruba 3500 granulí tohoto typu dat (Žubrietovský et al., 2017; Baillarin et al., 2012).

**Level-1B:** jsou nejméně zpracovaná data dostupná běžným uživatelům. Zpracování dat Level-1B spočívá v zavedení atmosférických korekcí a korekcí geometrie senzoru. Produkty této úrovně obsahují granule o velikosti 25 x 23 km. Každá granule Level-1B je dostupná o velikosti přibližně 27MB. Souřadnice pixelů se v tomto levelu dat vážou ke středu pixelů (Žubrietovský et al., 2017; Baillarin et al., 2012).

**Level-1C:** data jsou přístupná všem uživatelům v projekci UTM / WGS84 a velikosti jednotlivých dlaždic 100 km<sup>2</sup>. Tato data vychází z dat Level-1B, která byla dále pře vzorkována pomocí GSD (Ground Sampling Distance) do prostorových rozlišení 10 m, 20 m a 60m. Prostorové rozlišení převzorkování dat bylo závislé na rozlišení jednotlivých spektrálních kanálů. Souřadnice jednotlivých pixelů v těchto

---

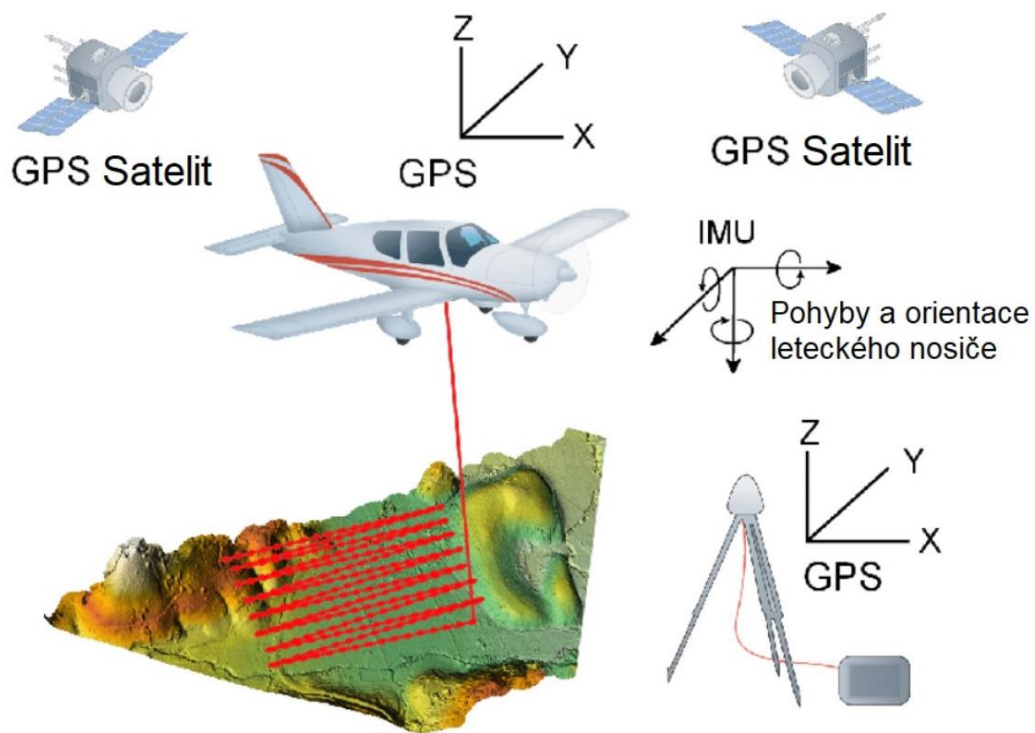
datech jsou vztaženy k vrchnímu levému rohu pixelů (Žubrietovský et al., 2017; Baillarin et al., 2012).

**Level-2A:** data jsou dalším volně přístupným zdrojem pro běžné uživatele. Data tohoto typu jsou upravena atmosférickou korekcí, které eliminuje vliv oblačnosti na kvalitu dat a obsahují základní klasifikaci pixelů. Tato data se skládají z dlaždic o velikosti 100 km<sup>2</sup> v kartografickém zobrazení UTM / WGS84 (Žubrietovský et al., 2017). Další metodou, která by mohla být použita k eliminaci vlivu oblačnosti je dle Hagolle et al. (2010) MTCD metoda (Multi-Temporal Cloud Detection method), která využívá jako hlavní kritérium pro detekci mraků odrazivost v modrém spektrálním pásmu.

## 1.6 LiDAR

LiDARová data byla využita v této práci pro zjištění změn orografie v sledovaném území a k tvorbě modelu linií soustředěných odtoků. Zjištěné údaje jsou dále diskutovány a porovnávány. Z tohoto důvodu je do této práce zařazena krátká teoretická kapitola pojednávající o LiDAR DPZ.

LiDAR je princip měření vzdálenosti pomocí vyslání laserového paprsku, který je opět po odražení měřeným povrchem nasnímán. LiDAR může být použit v mnoha různých oborech, kdy jeho použití bude diametrálně rozdílné. V Případě této práce půjde o LiDAR, který bude z letadla snímat zemský povrch za účelem jeho mapování, jak zobrazuje obr.č.1.4 (Dong a Chen, 2017).



Obrázek 1.4: Letecký LiDAR (Shih et al., 2008; vlastní zpracování)

Dalšími možnými způsoby použití LiDARu mohou být například přístroje pro měření rychlosti vozidel, monitorování ozonové vrstvy a oblačnosti, nebo armádní využití pro oslepení nepřátelských sil. Letecké laserové skenování terénu je poměrně novým odvětvím umožňujícím dálkový sběr dat o tvaru a vzdálenosti povrchu. Funkční soustava pro snímání musí obsahovat laserovou jednotku (LRF) s laserovým vysílačem a přijímačem o stejné optické ose. Skener s rotujícím zrcadlem pro vychylování paprsku laseru ve směru kolmém ke směru letu. Kontrolní jednotku, která synchronizuje práci laserové jednotky a skeneru pomocí velice přesných GPS hodin. Navigační jednotku a jednotku GPS pro přesné určení polohy snímače v době skenování a následné přesné zařazení dat do referenčního systému (Dolanský, 2004).

### 1.6.1 Předzpracování dat

Prvním krokem předzpracování dat je kalibrace, následuje vyrovnání řad a filtrace.

**Kalibrace:** spočívá v přesném určení polohy bodu na Zemském povrchu, je nutné znát přesné polohy a orientace skeneru v průběhu skenování každého bodu. Z tohoto důvodu je nezbytnou součástí LiDARU GNSS (Globální navigační satelitní systém) nebo IMU (Inerciální měřicí jednotka), který/á zaznamenává údaje o poloze a orientaci

---

skeneru v průběhu skenování. Data o poloze a orientaci jsou o rozdílné frekvenci, z tohoto důvodu musejí být před synchronizací s daty skeneru interpolována (Zemek et al., 2014).

**Vyrovnaní řad:** Datové řady musí být následně vyrovnány z důvodu překryvu dat. K překryvu dat dochází cíleně z důvodu zajištění pokrytí celého snímaného území. Jsou identifikovány překrývající se data v mračnech bodů za použití softwaru pro zpracování dat z LLS (leteckého laserového skenování). Dochází k připojování řad bodů ke zvolené základní řadě, za použití transformačního klíče zjištěného pomocí metody nejmenších čtverců. Výsledná orientace bodů vzniká transformací do určeného geodetického systému za pomoci nejméně třech vlíčovacích bodů (Dolanský, 2004; Zemek et al., 2014).

**Filtrace:** spočívá v klasifikaci bodů odražených od povrchu na základě výškových dat bodů, odrazivosti při laserovém měření a spektrálních vlastností daných bodů (Dolanský, 2004). Jedním z přístupů může být zhuštění bodů získaných LLS. Postup popsal Axelsson (2000). Do řídké mřížky jsou vybrány body do pozice lokálních minim. K zahuštění bodového pole dojde přiřazováním dalších bodů na základě výškových rozdílů a dalších specifikovaných vlastností.

Data pro tuto práci byla získána v již předzpracované formě, z tohoto důvodu zde tato tematika byla vysvětlena pouze povrchově.



---

## 2 Metodika

### 2.1 Cíl práce

Cílem této práce je ověřit, do jaké míry lze veřejně dostupná a bezplatná satelitní data Sentinel-2 využít k hodnocení změn území, pro potřeby krajinného plánování. Předmětem demonstrace tohoto cíle je využití satelitních dat Sentinel-2, pro sledování změny krajinného pokryvu ve vztahu ke stavbě nového úseku dálnice D3 na vybraném území. Dalšími využitými daty byla LiDAR data. Tato data posloužila pro zjištění změn orografie na vybraném území.

Sledovaným územím bylo zvoleno povodí čtvrtého řádu 1-06-02-0780-0-00, kterým protéká Hodějovický potok. Plocha tohoto povodí je 7,199 km<sup>2</sup> a uzávěrný profil povodí ústí do řeky Malše. Za období sledovaná pomocí satelitních dat byly vybrány roky 2020, 2019, 2018 a 2017. Pro každé z těchto období byly vybrány dva snímky. Snímky byly zvoleny tak, aby byly v intervalech 1.-30. dubna (pro snímek jarní) a 15. září až 15. října (pro snímek podzimní). Tyto intervaly byli vybrány při konzultaci s vedoucím práce, pro jejich vegetační stálost kultur v řešeném území. Jedním z bodů řešení této práce je analýza krajinného pokryvu v těchto termínech a zjištění průběžných změn v rámci povodí 1-06-02-0780-0-00 (dále jen povodí Hodějovický potok). Z těchto získaných dat krajinného pokryvu a jeho změn dále diskutovat vliv na vodní režim povodí Hodějovický potok. Důležitým faktorem, který vstoupil do změny krajinného pokryvu povodí Hodějovický potok je stavba nového úseku 0310/I Úsilné-Hodějovice dálnice D3. Stavební práce na tomto úseku dálnice pokračují do současnosti. Jednou z otázek, kterými se tato práce zabývá je, zda z dat Sentinel-2 bude možné získat informace o změně krajinného pokryvu, pro posouzení vlivu stavby nového úseku dálnice D3 a jak tato data mohou být použita v krajinném plánování.

Pro změnu orografie byli využity také data DMR 4G (Digitální model reliéfu České republiky 4. generace) skenovaná LiDARem v roce 2010-2011 a LiDARová data vytvořená k datu 31.7.2019. Tato data byla pro práci poskytnuta Ústavem výzkumu globální změny AV ČR (CzechGlobe). Pomocí LiDARových dat byl posouzen vývoj orografie povodí Hodějovický potok. LiDARová data byla přínosná pro posouzení vlivu stavby úseku 0310/I dálnice D3 na sledované povodí, a také pro posouzení případných dalších změn orografie a jejich vlivu na hydrologické poměry.

Otázka pojící se k datům z LiDARu je, jak efektivně mohou být LiDARová data použita pro potřeby krajinného plánování.

## 2.2 Charakteristika zájmového území

Sledované povodí Hodějovický potok se nachází v moldanubické oblasti. Je zde geologická struktura převážně nivního sedimentu Kenozoika Kwartéru, slepenců a pískovců z Mezozoika Křídý, aplitů a pegmatitů z období Paleozoika Karbonu a migmatit s menšími ložisky amfibolitů a erlanu z Proterozoika-Paleozoika (Brunclík et al., 1986; Česká geologická služba, 2018).

Se zvyšující se vzdáleností od města České Budějovice se krajina mění ze silně urbanizované krajiny, na krajinu s předpokládanou nižší mírou urbanizace. Urbanizovaná území ve sledovaném povodí zaujímají vysokou část plochy. Další složka krajinného pokryvu dominující na povodí Hodějovický potok, je část travních porostů, řešených jako skupina louky. Zbývající plocha území je rozdělena mezi ornou půdu, lesy a plochy s travnatou a křovinnou, jak zobrazuje obr.č.2.1.



Obrázek 2.1: Sledované povodí 4. řádu

Zajímavou částí tohoto sledovaného území je odkaliště nacházející se v centru povodí Hodějovický potok. Toto odkaliště vzniklo v osmdesátých letech minulého století, z důvodu ukládání odpadních popelů Českobudějovické teplárny. Odkaliště

---

v roce 2017 pokrývala vodní plocha s přidruženými plochami vodních porostů. Tato vodní plocha zde vznikla po ukončení využívání odkaliště k ukládání popelů. V současné době dochází k rekultivaci bývalého odkaliště. Prvním krokem bylo odvodnění celé plochy. Následně se vybuďovalo nové koryto Hodějovického potoka, procházející centrem bývalého odkaliště. Zbylé plochy odkaliště se nechaly zarůst travnatou a křovinnou vegetací a v roce 2019 zde byly vysazeny mladé stromy. Území by mělo v blízké době sloužit, jako přírodní plocha pro rekreaci ve formě „lesoparku“ (Vodička, 2020).

Po západní straně odkaliště vzniká nový úsek dálnice D3. Z hlediska změny krajinného pokryvu a vlivu na vodní režim povodí jde o významnou část území. Družicová data Sentinel-2 byla vybrána tak, aby zachycovala průběh stavby od počátku po současnost.

### 2.3 Použitá data

Družicová data Sentinel-2 byla pro tuto práci získána z programu Copernicus. Přístup k datům s provedenou korekcí má široká veřejnost na webovém portálu Copernicus Open Access Hub. Tato data byla vybrána z dat satelitní platformy S2A, typ produktu S2MSI2A. Pokryv oblačnosti byl zvolen v intervalu 0 až 70 %. Hlavním faktorem volby byly optimální podmínky v oblasti povodí Hodějovický potok.

Data DMR byla získána z Ústavu výzkumu globální změny AV ČR. Jedná se o DMR z LiDARového snímání povrchu 31.7.2019 o velikosti pixelu 2 m (dále jen DMR2019) a DMR 4G o velikosti pixelu 5 m.

**DMR2019:** byla získána Riegl LMS – Q780 skenerem s vlnovou délkou 1550 nm, rozsahem úhlu skenování 60°, rotačním polygonovým zrcadlem a skenovací rychlostí 10-200 linií za sekundu (Riegl, 2015).

**DMR 4G:** pro povodí Hodějovický potok byl z větší části snímán roku 2010. Menší část území na západním okraji sledovaného povodí byla snímána roku 2011. Tento DMR je v referenčním výškovém systému Bpv (Balt po vyrovnání). Chyba střední výšky je v odkrytém terénu 30 cm a v zalesněném území 1 m (ČÚZK, n.d.).

---

Skener použitý pro získání těchto dat byl Riegl LMS – Q680 (Brázdil et al., 2010). Riegl LMS – Q680 má rozsah úhlu skenování 60°, rotační polygonové zrcadlo a skenovací rychlost 10-200 linií za sekundu (Riegl, 2012).

Další pomocná data použitá při práci s daty hlavními byla LPIS, HEIS VÚV, Ortofoto ČÚZK.

## 2.4 Použité softwary

**ArcMap:** je jednou z hlavních aplikací ArcGIS Desktop. Patří mezi produkty společnosti ESRI. ArcMap slouží k zobrazení a editaci GIS (Geographic information system) dat. Software ArcMap umožňuje analýzu prostorových dat a tvorbu mapových výstupů. Zahrnuje velké množství nástrojů pro zpracování a analýzu dat v rozhraní ArcToolbox. Při zpracování této práce byla využita studentská bezplatná licence poskytnutá společností ESRI zprostředkovaná Katedrou krajinného managementu Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. ArcMap byl použit pro kompozice obrazů z různých kanálů a jejich analýzu, přesné vytvoření a určení tříd krajinného pokryvu. Pro řízenou klasifikaci těchto dat, analýzu změn mezi jednotlivými obdobími a pořízení mapových výstupů. ArcMap software byl použit i při práci s DMR daty, analýze změny topologie a vytvoření mapových výstupů.

**SNAP:** je dostupný ze Step.esa (n.d.a). SNAP je navržený pro zpracování a analýzu dat ze satelitního pozorování Země. Mezi jeho výhody patří možnosti rozšíření, přenositelnost, bohatá klientská platforma, přehledná správa paměti a rámec pro zpracování grafů. Neopomenutelnou výhodou softwaru SNAP je možnost bezplatného užívání širokou veřejností. SNAP je navržený pro práci se satelitními daty Sentinel programu Copernicus. Tento software byl vyvinut společností Brockmann Consult (Step.esa, n.d.b).

**GeoGIS:** je dostupný z Geoobchod (n.d.). GeoGIS je software navržený pro sběr a vytyčování s GNSS přístrojem s platformou Android v terénu. Umožňuje vytváření a editaci sad atributů a import dat ve formátu SHP (Shapefile), které je možné zobrazovat na podkladu WMS (Web Map Service). Důležitým prvkem je také navigace na body a lomové body polygonů v terénu (Geoobchod, n.d.).

---

## 2.5 Zpracování dat Sentinel-2

### 2.5.1 Úprava dat v softwaru SNAP

Data požadovaného území byla stažena z Copernicus Open Access Hub v geodetickém systému WGS84 (World Geodetic System 1984) založeném na referenčním elipsoidu WGS-84. Před vlastní prací na tvoření a klasifikování tříd krajinného pokryvu bylo nutné data upravit. Na upravení dat byl použit software SNAP. Prvním krokem byl výběr řešeného území a vhodných spektrálních pásem (bands). Využita byla funkce **Spatial subset from a view**. Funkce vygenerovala nový soubor s požadovanou oblastí a požadovaným rozsahem spektrálních pásem. Vybraná spektrální pásma byla B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B11 a B12. Následně se na datový soubor aplikovala funkce rastrové úpravy **Reprojection**. Za pomoci funkce Reprojection se datový soubor upravil do podoby geodetického systému ETRS89 / UTM Zone 33N s Mercatorovo válcovým konformním zobrazením (UTM zobrazení) se základním poledníkem 15°. Posledním krokem úpravy v softwaru SNAP bylo převzorkování velikosti pixelů jednotlivých spektrálních pásem na rozměr 10 x 10 m. Převzorkování dat proběhlo ve funkci rastrové úpravy **Resampling, Nearest neighbour** metodou. **Nearest neighbour** metoda převzorkování vytváří nový pixel na základě nejbližších sousedních pixelů. Nově vzniklý soubor byl uložen ve tvaru GeoTIFF (Kataria a Singh, 2013)

### 2.5.2 Klasifikace dat a tvorba tříd pokryvu

Klasifikaci dat v softwaru ArcMap předcházela opakovaný průzkum pokryvu povodí Hodějovický potok v terénu. Pro jednoduché ukládání dat o pokryvu v terénu, na daných souřadnicích byl využit mobilní software GeoGIS. GeoGIS umožňuje vytváření polygonů, linií a bodů do mapy v terénu a přiřazování pořízených údajů k přesné poloze. Pro účely průzkumu byla využita bezplatná, časově omezená zkušební licence. Pro účely klasifikace byla nezbytná data o druzích pokryvu ploch s jednotným vegetačním složením. Zjištění současných pokryvů z kategorie luk a orné půdy. Důležité pro přesné určení tříd v softwaru ArcMap. Nezbytná byla též data ploch spadajících do kategorie les. V terénu byla získávána z oblasti „Srubecký kopec“. Údaje zjištěné v terénu byly konzultovány s vedoucím lesní výroby firmy Lesy a rybníky města Českých Budějovic s.r.o, Laluchem (2021). Díky této spolupráci bylo možné identifikovat lesní mýtiny způsobené přemnožením lýkožrouta smrkového

---

a lýkožrouta menšího a zpřesnit tvorbu třídy pokryvu les. Posledním hlavním bodem průzkumu lokality v terénu byla oblast bývalého odkaliště, které bylo svým pokryvem unikátní.

Pro tvorbu tříd krajinného pokryvu byly vyzkoušeny varianty řízené klasifikace a neřízené klasifikace: **Maximum Likelihood Classification** a **Iso Cluster Unsupervised Classification**. Přesnější výsledky a možnost konkrétní specifikace jednotlivých tříd vedly k upřednostnění řízené klasifikace **Maximum Likelihood Classification**.

**Maximum Likelihood Classification** vypočítává pravděpodobnost, s jakou každý pixel náleží do konkrétních tříd. Je kvantitativně posouzen rozptyl, kovariance a korelace jednotlivých tříd a každý pixel klasifikovaného území je zařazen do třídy, do které spadá s nejvyšší pravděpodobností. Tato klasifikace je uzpůsobena pro území, která mají normální rozdělení pixelů v trénovacích kategoriích. Kvalita výstupu této řízené klasifikace je silně závislá na kvalitě tvorby trénovacích ploch (Ahmad a Quegan, 2012; Dobrovolný, 1998).

Pro nejnovější snímky bylo možné vycházet z terénního průzkumu. U snímků staršího data bylo nutné vycházet z výsledků klasifikací již vytvořených a v klasifikaci postupovat zpětně od snímků nejnovějších, po snímky nejstaršího data. Tvoření trénovacích ploch bylo možné v ArcMapu za pomoci nástroje **Training Sample Manager**. Počty pixelů trénovacích ploch pro jednotlivé třídy pokryvu vytvořené pro snímek z 22. 9. 2020 můžete vidět v tab.č.2.1.

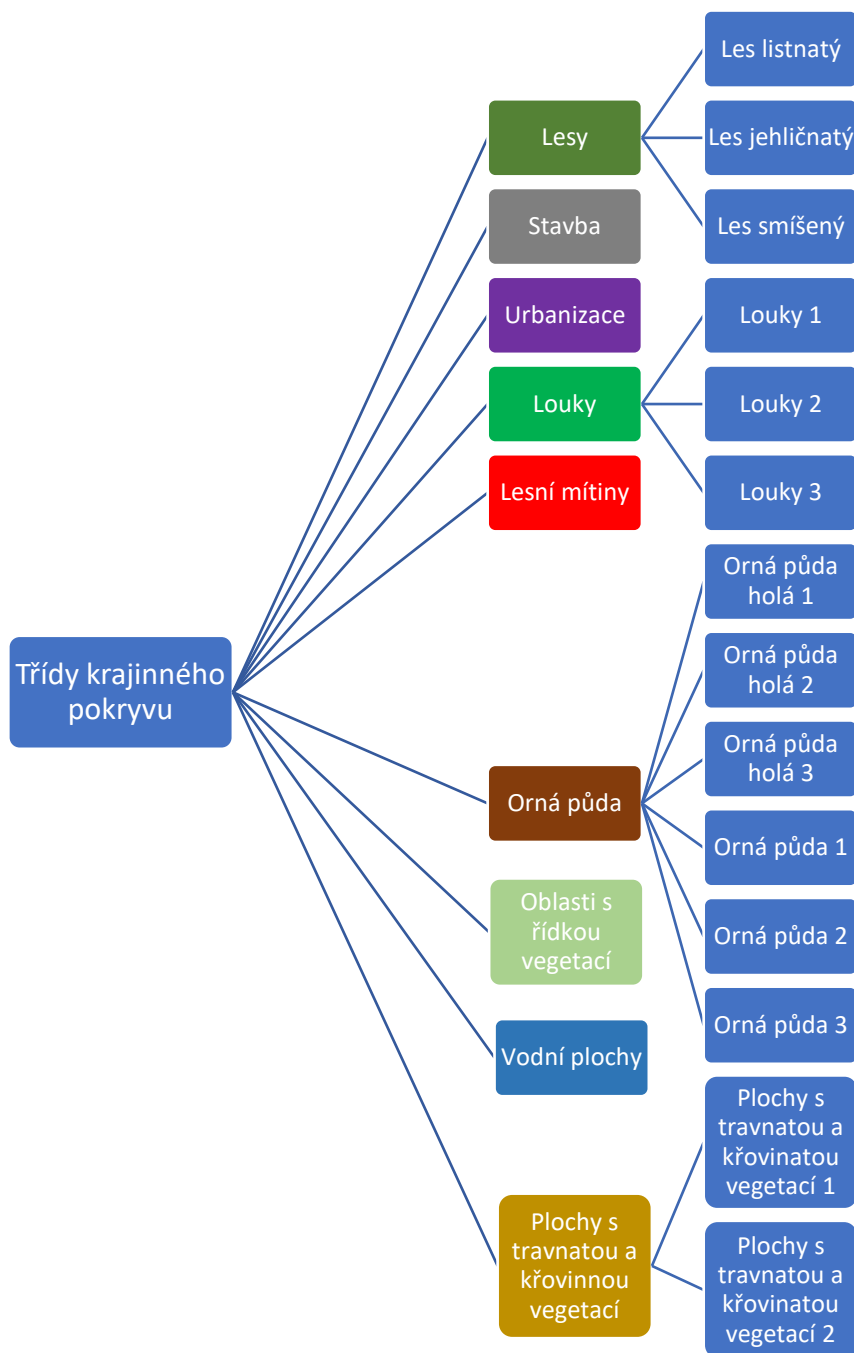
Po vyzkoušení mnoha variant rozdělení pokryvu byla vybrána tato kombinace tříd krajinného pokryvu. Některé třídy se dále skládají z podtříd, které byly klasifikovány odděleně a následně sloučeny do cílových tříd, jak zobrazuje obr.č.2.2. Specifikací menších tříd s vyšší homogenitou bylo dosaženo vyšší přesnosti výsledku. Tento obrázek také zobrazuje názvy tříd, které jsou dále používány v textu. V textu jsou některé třídy zmiňovány ve zkratkách. Jedná se o Oblasti s ř. vegetací (Oblasti s řídkou vegetací) a Plochy s t. a k. vegetací (Plochy s travnatou a křovinnou vegetací).

---

**Tabulka 2.1: Počet pixelů tréninkových ploch pro jednotlivé třídy**

<b>Třída</b>	<b>Počet pixelů</b>
Plochy s travnatou a křovinnou vegetací	963
Lesy	518
Orná půda	31499
Oblasti s řídkou vegetací	2778
Vodní plocha	306
Lesní mýtiny	63
Stavba	743
Urbanizace	243
Louky	6182

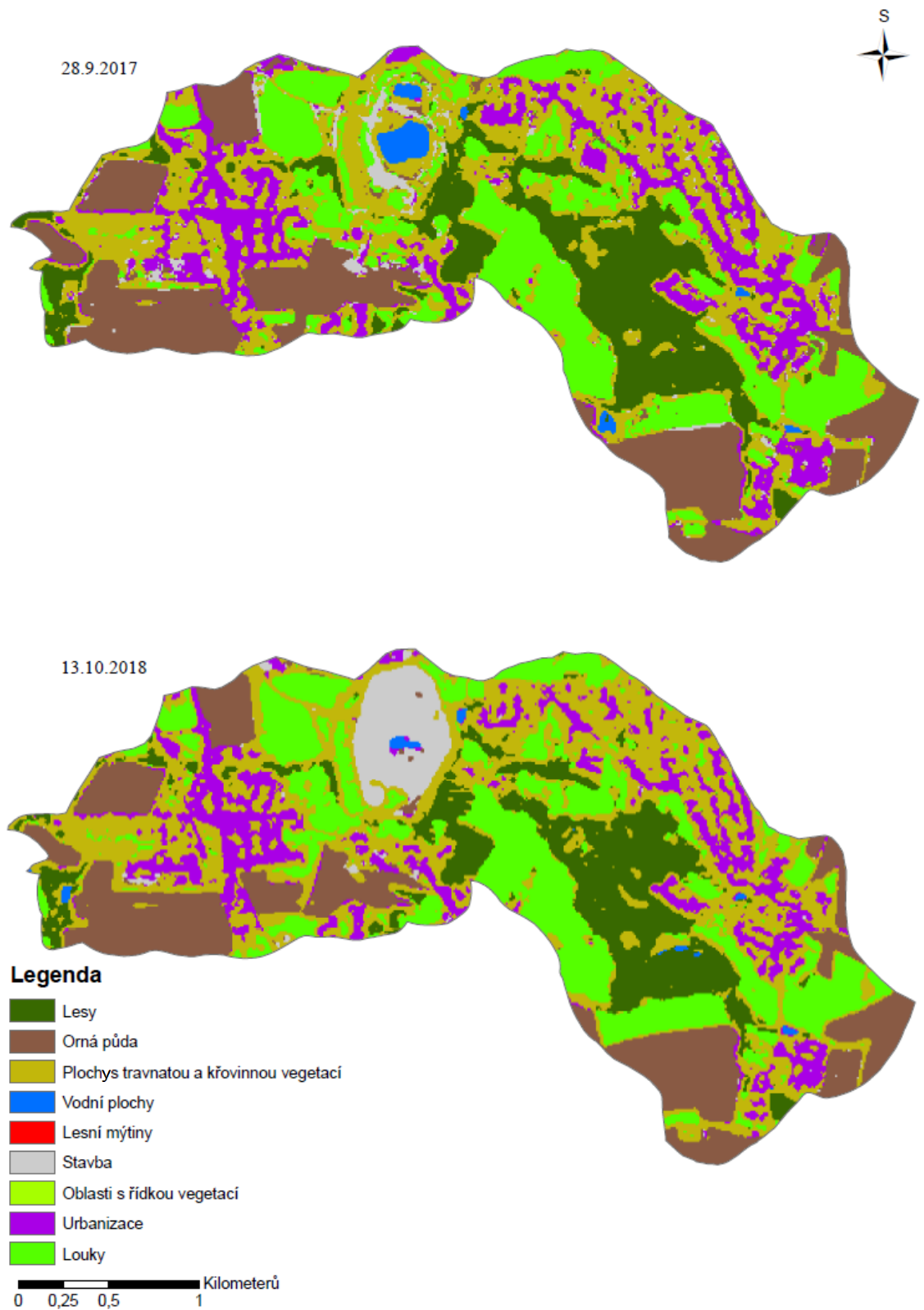
Třída Stavba byla vytvořena pro klasifikaci stavby nového úseku dálnice D3. Dále do ní v různých datech snímků Sentinel-2 dat spadly plochy, na kterých probíhaly například stavební práce ve fázi úpravy terénu (úprava terénu v oblasti bývalého odkaliště z důvodu rekultivace a jiné).



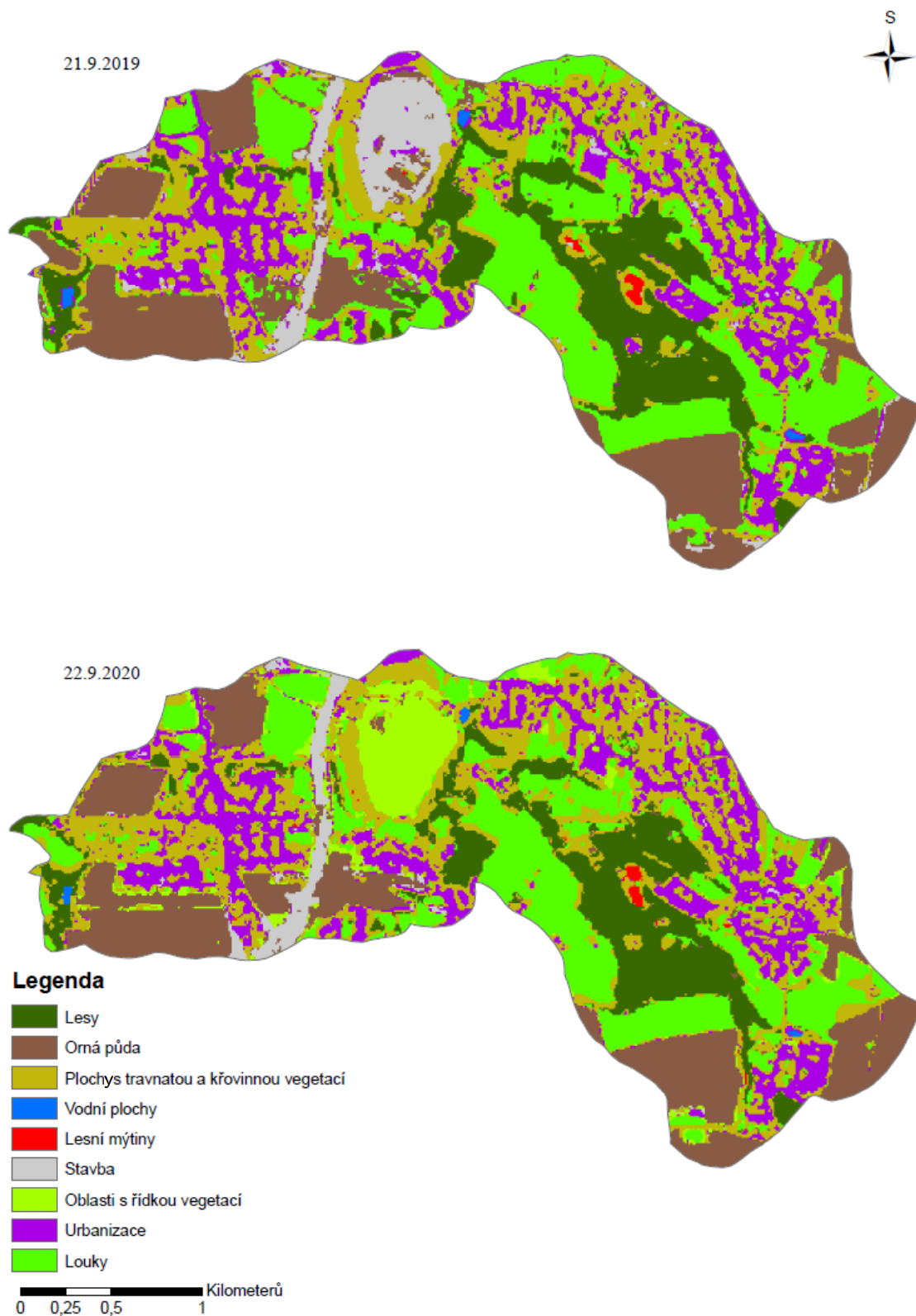
**Obrázek 2.2: Schéma pracovních tříd a podtříd krajinného pokryvu**

Takto klasifikované rastry byly následně dočištěny od jednotlivých pixelů, které narušovali homogenitu klasifikovaných ploch funkcí **Majority Filter**. Tato funkce na základě hodnot osmy sousedních pixelů nahradí daný pixel nejčastěji se vyskytující hodnotou z osmice pixelů. Výsledná data řízené klasifikace použítá k následnému zpracování jsou vyobrazena na obr.č.2.3 a obr.č.2.4. Jedná se o rastrová data pro podzimní termíny snímků Sentinel-2.





Obrázek 2.3: Výsledky klasifikace Maximum Likelihood (2017-2018)



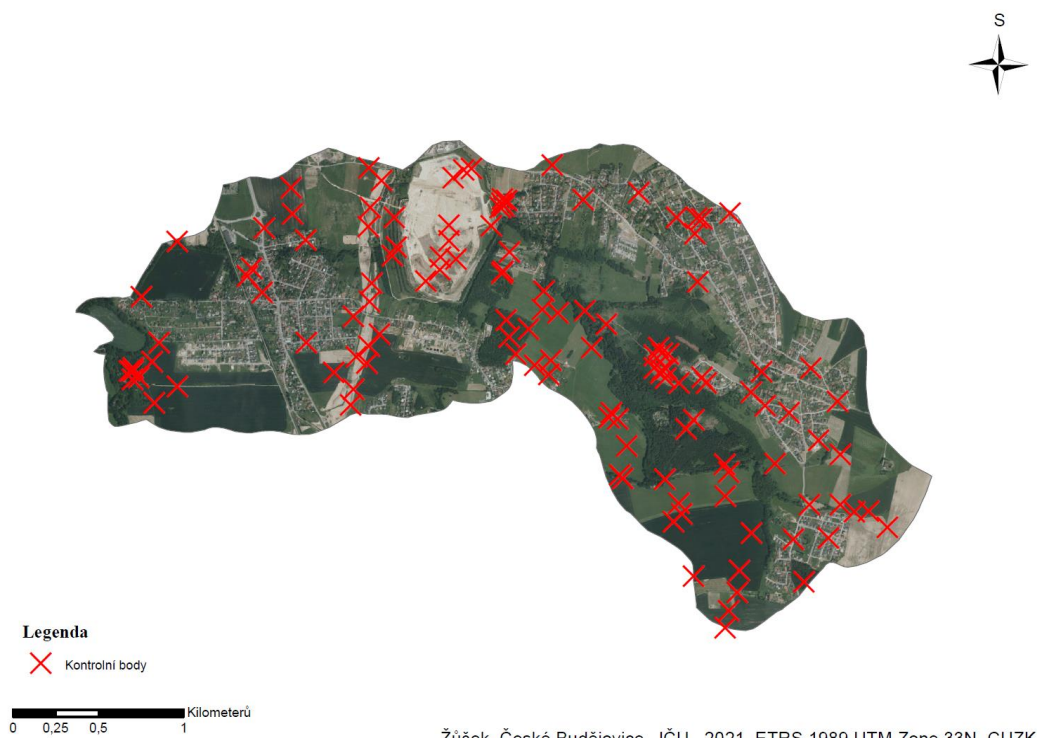
**Obrázek 2.4: Výsledky klasifikace Maximum Likelihood (2019-2020)**

Trénovací plochy tříd vycházeli z velké části z terénního průzkumu povodí Hodějovický potok. Dalšími použitými podklady byly variace RGB kompozic obrazů

Sentinelových dat. Pro zobrazení husté lesní vegetace a její kvality kombinace kanálů B11-B8-B2. Pro porovnání hustoty nízké vegetace a rozeznávání tříd Louky a Orná půda (včetně orné půdy holé) kombinace kanálů B11-B8-B4 a B8-B4-B3. Pro zdůraznění třídy Urbanizace kombinace kanálů B2-B2-B12 a B2-B2-B4. Pro zobrazení holé půdy a tříd Urbanizace, Orná půda (holá) a Stavba kombinace kanálů B12-B8-B4. Třída Vodní plochy byla nejpřesněji určena při zobrazení kanálu B7 a zvýraznění nejnižších hodnot rastru.

### 2.5.3 Zjištění přesnosti provedené klasifikace

Pro zjištění přesnosti klasifikace bylo využito kontrolních/validačních bodů, které byly náhodně vygenerovány funkcí **Create Random Points** a doplněny body zaměřenými v terénu tak, aby každá třída obsahovala nejméně deset kontrolních bodů. Rozmístění kontrolních bodů v zájmovém území je vidět na obr.č.2.5.



**Obrázek 2.5: Kontrolní body**

Celkový počet vytvořených kontrolních bodů byl 128. Rozdělení těchto bodů mezi zvolené kategorie krajinného pokryvu ukazuje tab.č.2.2.

**Tabulka 2.2: Kontrolní body ve třídách pokryvu**

<b>Třída</b>	<b>Počet bodů</b>
Lesy	11
Orná p.	21
Plochy s travnatou a křovinnou vegetací	22
Vodní plochy	10
Lesní mýtiny	10
Stavba	10
Oblasti s řídkou vegetací	10
Urbanizace	15
Louky	19

Pro kontrolní body byla vypočítána chybová matice, ze které se získala data o uživatelské přesnosti dat, zpracovatelské přesnosti dat, celkové přesnosti a vypočten koeficient Kappa. Výsledné hodnoty statistiky kontrolních bodů je možné vidět v tab.č.2.3.

**Uživatelská přesnost:** udává, s jakou pravděpodobností byl pixel správně zařazen do třídy. Jde o podíl pixelů zařazených správně a pixelů zařazených špatně. Počítá se pro každou třídu zvlášť (Lillesand et al., 2008).

**Zpracovatelská přesnost:** vychází z poměru správně klasifikovaných pixelů a pixelů použitých pro testování dané třídy. Počítá se pro každou třídu zvlášť (Lillesand et al., 2008).

**Celková přesnost:** je podíl všech správně klasifikovaných pixelů a sumy všech klasifikovaných pixelů (Křupka et al., 2010; Lillesand et al., 2008).

**Kappa koeficient:** porovnává přesnost klasifikace z chybové matice s přesností, která je dosažitelná náhodným rozřazením pixelů do jednotlivých tříd. Výsledný koeficient může nabývat hodnot od nuly po jedna. Čím vyšší má koeficient kappa hodnotu, tím je výsledek klasifikace přesnější (Olofsson et al., 2013). Hodnoty nad 0,75 se podle Dobrovolného (1998) považují za dobrý výsledek.

Tabulka 2.3: Kontrolní body

	Uživatelská p.	Zpracovatelská p.
Lesy	0,909	0,909
Orná p.	0,857	0,947
Plochy s t. a k. vegetací	0,909	0,769
Vodní plochy	1,000	1,000
Lesní mýtiny	0,900	0,900
Stavba	1,000	1,000
Oblasti s ř. vegetací	0,900	0,900
Urbanizace	0,867	0,929
Louky	0,947	1,000
<b>Celková přesnost</b>		<b>0,914</b>
<b>Kappa koeficient</b>		<b>0,902</b>

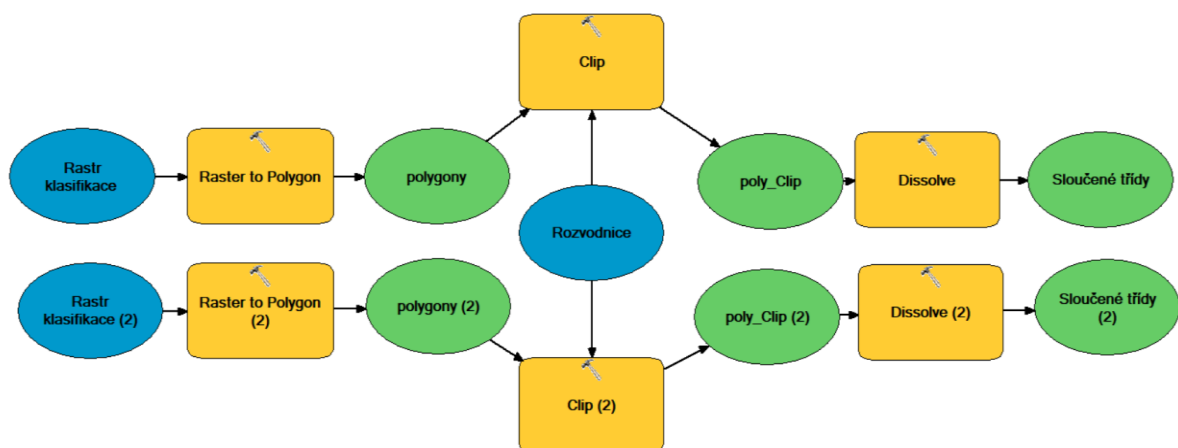
#### 2.5.4 Převedení rastrových dat do tabulek

Pro získání dat o změně jednotlivých tříd na třídy jiné a změně jejich zastoupení v rámci sledovaného povodí, bylo nutné rastrová data zpracovat do tabulek. Zvolenou variantou pro získání těchto dat, bylo převedení rastrových dat do vektorové podoby a jejich následná úprava. Další možností může být zpracování rastrových dat pomocí funkce **Raster Calculator**. Pro další úpravu dat byl použitý modul ArcMapu **ModelBuilder**. Toto rozhraní umožňuje tvorbu funkčního schématického plánu úpravy dat o více následných operacích, které se dá použít jako „forma“ pro totožnou úpravu vrstev. Část úpravy rastru v prostředí ModelBuilderu zobrazuje obr.č.2.6.

##### Postup úpravy dat:

- a) **Raster to Polygon:** Převedení dat do vektorové podoby.
- b) **Clip:** Odstranění hodnot mimo území povodí.
- c) **Dissolve:** Sloučení polygonů se stejnou třídou pokryvu
- d) **Add Field:** Vytvoření sloupce „plocha“ a „změna“
- e) **Calculate Field:** Z dat dvou porovnávaných období vytvoříme jednu hodnotu definující druh změny v daném polygonu.
- f) **Calculate Geometry:** Pro vzniklé polygony překryvu vypočteme plochu.

Data v této podobě byla vyexportována a dále zpracována v programu **Microsoft Excel**.

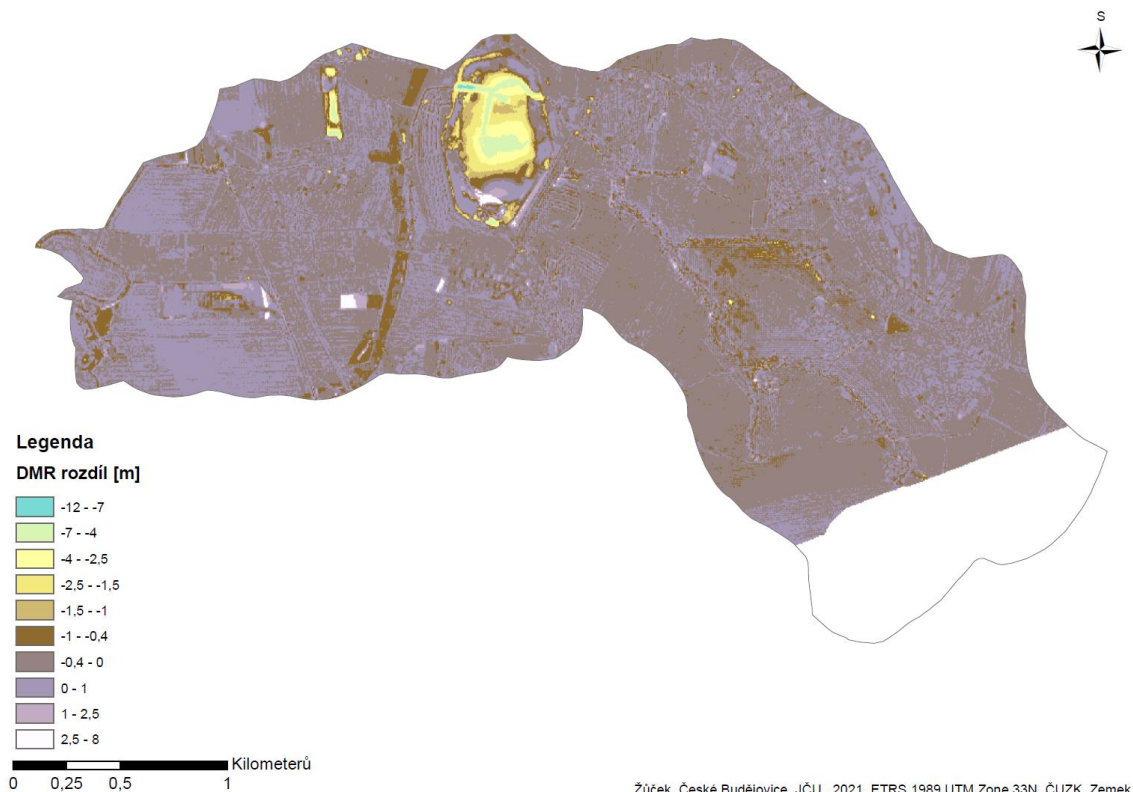


Obrázek 2.6: ModelBuilder

## 2.6 Zpracování dat LiDAR

Vstupními daty byla data DMR 4G o velikosti pixelu 5x5 m a data DMR2019 o velikosti pixelu 2x2 m. Data DMR 4G pro tuto oblast byla skenována roku 2010-2011 a data DMR2019 byla skenována 31. 7. 2019. Časový rozestup mezi daty je přibližně deset let. Porovnávala se změna výšky zemského povrchu a změny odtokových charakteristik povodí.

Zjištění rozdílu bylo dosaženo pomocí funkce **Raster Calculator**, pomocí které byl odečten DMR G4 od DMR2019. Maximální úbytek nadmořské výšky terénu se pohyboval okolo dvanácti metrů a maximální přírůstek byl zjištěn mezi třemi až osmi metry, jak zobrazuje obr.č.2.7.



**Obrázek 2.7: Zjištěný rozdíl nadmořských výšek (2010-2019)**

### 2.6.1 Tvorba potencionálních linií soustředěného odtoku

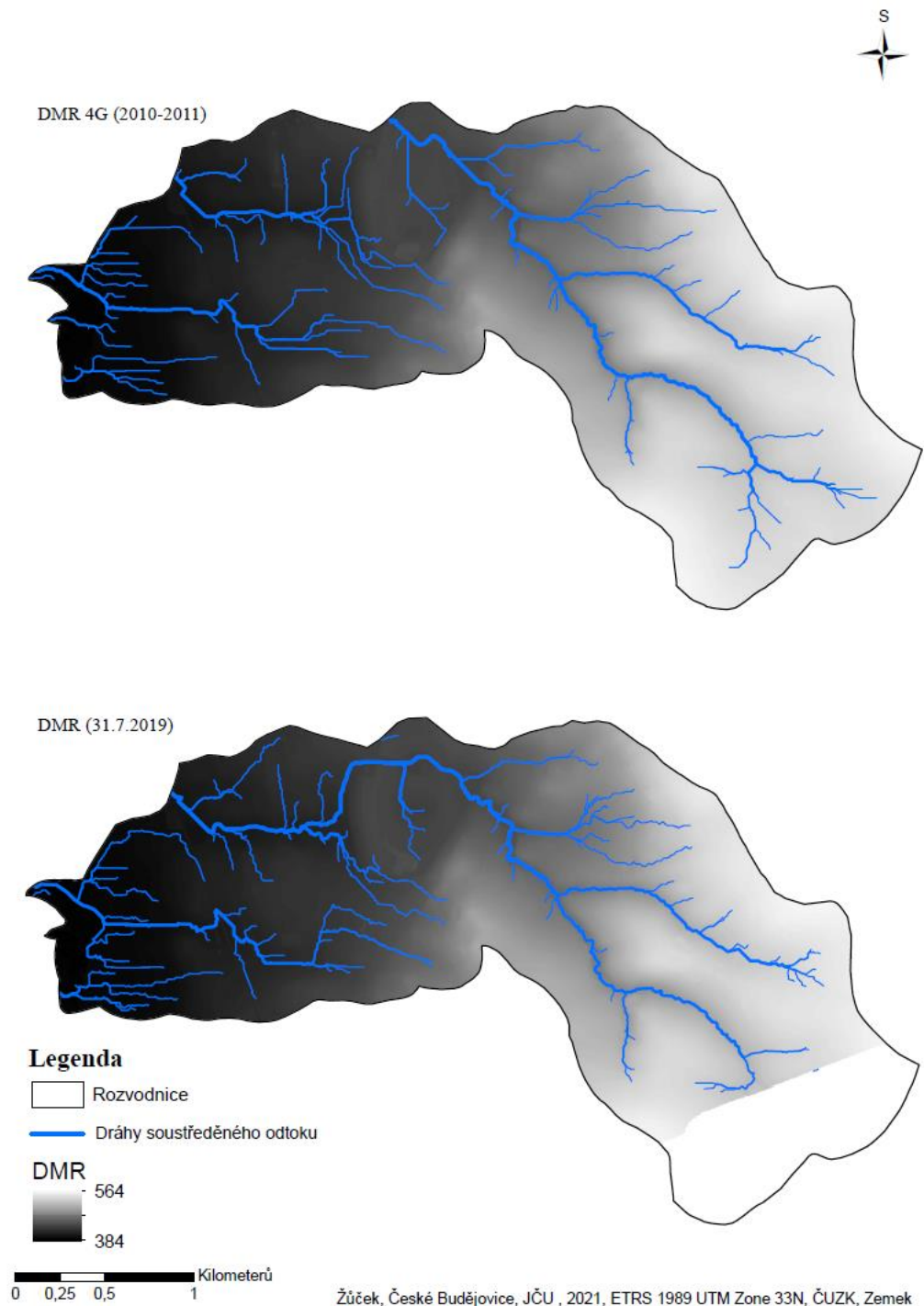
Pro porovnání vlivu změny orografie na odtokové poměry v povodí Hodějovický potok byly pro oba DMR (DMR 4G a DMR2019) vygenerovány a vektorizovány linie soustředěného odtoku. Pro dosažení srovnatelných dat, byla data DMR2019 převzorokována na velikost pixelu 5x5 m. Dle Woolard a Colby (2002) jde o běžný postup, kterým docílíme lepších výsledků než s příliš podrobným DMR.

#### Postup úpravy dat:

- a) **Extract by Mask:** Oříznutí dat dle požadovaného území.
- b) **Fill:** Pro tvorbu hydrologicky korektního DMR.
- c) **Flow Direction:** Tvorba rastru směru odtoků.
- d) **Flow Accumulation:** Generování odtokových linií v závislosti na hodnotách sousedních rastrů.
- e) **Raster calculator:** Vybrání prahové hodnoty, která bude nejmenší hodnotou Flow Accumulation považovanou za dráhu odtoku. Zvolena hodnota 750.
- f) **Stream Order:** Tvorba tříd linií odtoku.

g) **Stream to Feature:** Tvorba vektorové reprezentační vrstvy linií soustředěného odtoku.

Takto získaná data jsou reprezentována na obr.č.2.8.



**Obrázek 2.8: Zjištěné linie soustředěného odtoku**



## 3 Výsledky a diskuse

### 3.1 Změny orografie

Zjištěná změna v orografii odpovídá změně mezi léty 2010 a 2019. Porovnání bylo vytvořeno na základě DMR 4G a DMR2019.

#### 3.1.1 Nadmořská výška terénu

Pro určení důvodu změny orografie byla mimo výše uvedených zdrojů použita archivní ortofoto mapa ČÚZK z roku 2011. Výrazné změny v orografii zobrazuje obr.č.3.1. Jednotlivé oblasti byly označeny „PZ“ a pořadovým číslem. Srovnání jihovýchodního okraje povodí Hodějovický potok nebylo možné z důvodu chybějících dat DMR2019 v této oblasti.



Obrázek 3.1: Výrazné změny orografie

**PZ1:** je oblast, ve které došlo ke zvýšení terénu až o tři a půl metru. Tato oblast vznikla následkem stavby nového úseku dálnice D3. Oblast PZ1 slouží k shromáždění odebrané půdy z plochy staveniště.

---

**PZ2:** vznikla výstavbou nových rodinných domů. V období snímkování DMR G4 se na tomto území nacházela orná půda. Toto území bylo vyrovnáno, tím došlo ke snížení terénu až o metr a půl výšky. V současné době se zde nachází zástavba.

**PZ3:** z původní orné půdy v současné době tvoří val zeminy, který oproti původní výšce terénu vyrostl až o čtyři a půl metru.

**PZ4:** v období skenování DMR G4 představovalo plochu využitou ke skladování sypkého materiálu. V současné době toto území tvoří orná půda. Změna výšky terénu se pohybuje mezi jedním až šesti metry. Toto rozpětí je dáno rozmístěním skladovaného materiálu v době skenování.

**PZ5:** vzniklo odebráním povrchového materiálu na území stavby nového úseku dálnice D3. Jednalo se o přípravnou fázi stavby. Výška terénu byla snížena o půl metru až metr.

**PZ6:** je část území bývalého odkaliště. V této části došlo ke snížení terénu o pět až osm metrů výšky. Vzniklý příkop byl upraven tak, aby plnil funkci nového koryta toku, který zde historicky procházel.

**PZ7:** prošlo velkými orografickými změnami. Toto území představuje část bývalého odkaliště mimo území PZ6. Tato oblast byla vysušena, vyrovnána a v současné době zde dochází k rekultivaci na „lesopark“. Výsledkem srovnání DMR G4 a DMR2019 je rozmanitá proměna orografie zobrazující snížení terénu v centrální části a zvýšení v částech okrajových.

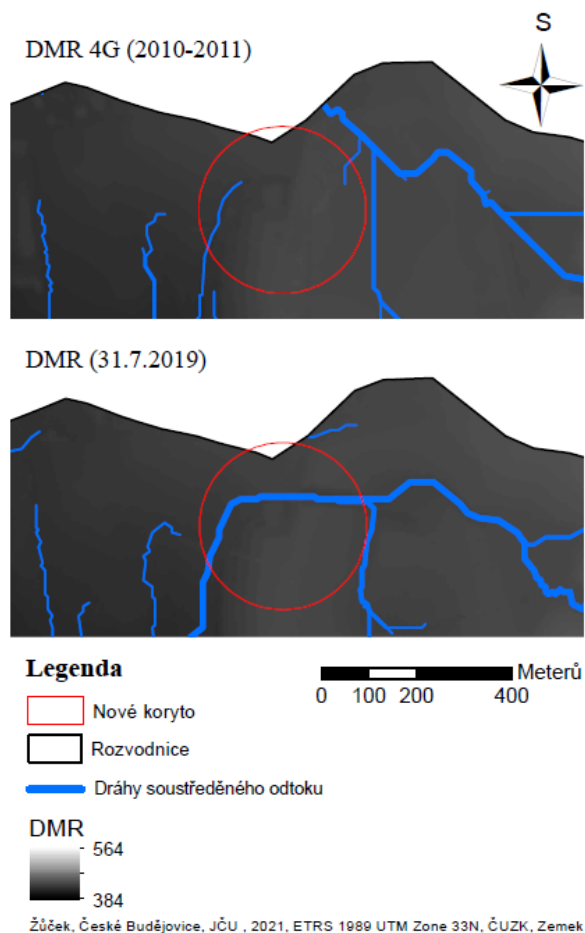
**PZ8:** je okrajové území lesa „Srubecký kopec“. Na tomto území bylo zjištěno snížení výšky terénu až o dva metry.

Z takto získaných dat vyplývá, že v porovnávaném období nedošlo v důsledku stavby nového úseku dálnice D3 k výrazným změnám orografie. Tato skutečnost se v následujících letech může změnit. Vzhledem k této skutečnosti, bych doporučil tyto změny porovnat s měřením, po dokončení stavby tohoto úseku.

### **3.1.2 Odtokové poměry povodí**

Z modelů potencionálních linií soustředěných odtoků pro DMR 4G a DMR2019 vyplývá, že díky výstavbě nového koryta v centru bývalého odkaliště může voda z Hodějovického potoka dosáhnout uzávěrného profilu našeho povodí, jak zobrazuje obr.č.3.2. Z dat získaných pro DMR 4G vyplývá, že v období 2010-2011 část vody ze sledovaného území spadala pod sousední povodí hydrologického

pořadí 1-06-03-0030. Pro zbylou část území nebyly objeveny další výrazné změny  
potencionální sítě soustředěných odtoků.



**Obrázek 3.2: Změna v soustředěném odtoku**

Otázkou je, jakým způsobem dokončení výstavby nového úseku dálnice ovlivní linie soustředěného odtoku po dokončení stavby. Mohlo by zde docházet k odnosu půdy a negativnímu vlivu na vodní režim toku, jak píše Jones et al. (2001). Z tohoto důvodu bych doporučil ve sledování povodí Hodějovický potok pokračovat a srovnat výsledky této práce s daty získanými po dokončení stavby.

LLS data se v průběhu práce ukázala být potencionálně hodnotným podkladem při krajinném plánování. Pro lesní hospodářský plán by tato data mohla sloužit k tvorbě vlhkostních charakteristik. Pro ÚSES (Územní systém ekologické stability) by se tato data dala využít pro orientaci ve tvaru reliéfu a jeho zohlednění při úpravách. Při pozemkových úpravách by tyto DMR mohly být s vysokou přesností použity při navrhování společných zařízení. Jedná se zejména o opatření pro ochranu půdního

fondu a vodohospodářská opatření. DMR může vstupovat jako podklad pro modelování erozní ohroženosti, průběhu potenciačních odtokových linií, nebo konstrukci kritických bodů.

## 3.2 Změny tříd krajinného pokryvu

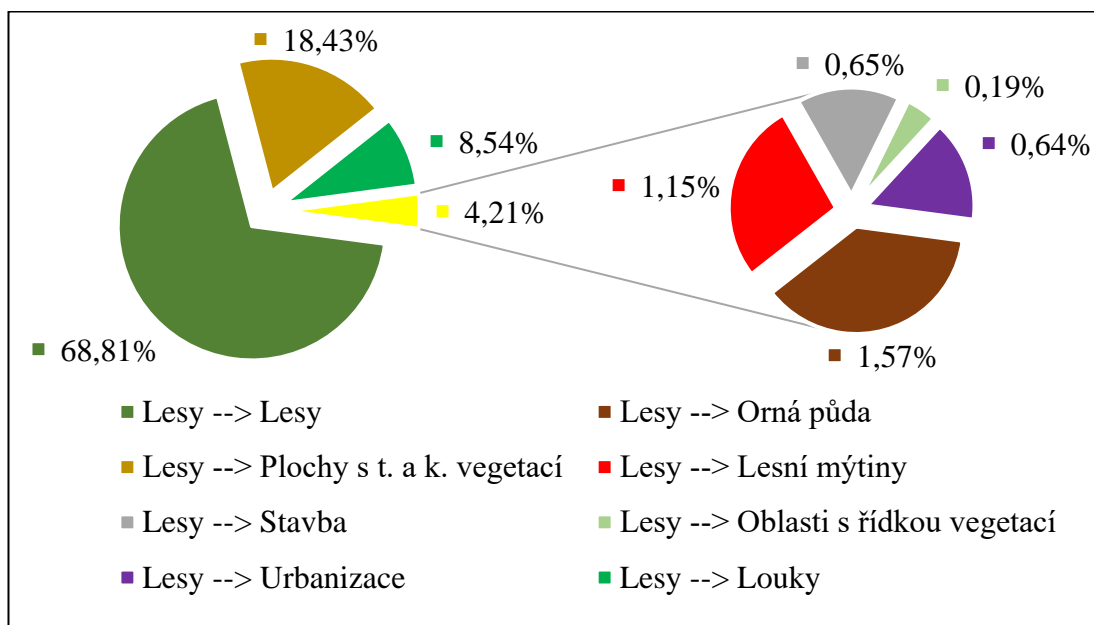
### 3.2.1 Třída pokryvu Les

Největším lesním komplexem ve sledované oblasti je „Srubecký kopec“, na který navazuje několik menších lesních celků. Ve zbylé ploše povodí je les ve velice malém zastoupení. Ve všech sledovaných obdobích docházelo ke snižování plochy třídy Les. Nejvyšší podíl na tomto snížení měly změny plochy klasifikované jako Plochy s travnatou a křovinnou vegetací za období 2017-2018 a 2019-2020, jak můžeme vidět v tab.č.3.1, která zobrazuje průběžné procentuální změny mezi sledovanými obdobími.

**Tabulka 3.1: Zastoupení třídy Lesy (% se vztahují vždy k předešlému termínu)**

Pokryv rok X --> pokryv rok X+1	Zastoupení třídy pokryvu v období X-->X+1 [%]		
	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Lesy --> Lesy	83,86	86,85	80,13
Lesy --> Orná půda	0,00	0,03	1,50
Lesy --> Plochy s t. a k. vegetací	13,79	8,17	12,34
Lesy --> Lesní mýtiny	0,00	1,09	0,03
Lesy --> Stavba	0,28	0,12	0,00
Lesy --> Oblasti s řídkou vegetací	0,00	0,00	0,03
Lesy --> Urbanizace	0,03	0,61	0,29
Lesy --> Louky	2,01	3,06	5,68

Tyto plochy vznikaly na území narušeném náletem lýkožrouta smrkového a lýkožrouta menšího. Jde o plochy zarostlé různorodou vegetací křovin, nízkou vegetací a také o plochy s vysazenými mladými stromky. Další třídou, která nahradila část území třída Lesy je třída Louky v období 2019-2020. Jde o oblasti zarostlé převážně travinnou vegetací. Pokud se zaměříme na změnu této třídy za celé sledované období, můžeme konstatovat, že dle klasifikace došlo ke změně třídy Lesy na třídy jiné u více než 30 % původní rozlohy. Přesná čísla změny třídy Lesy na třídy ostatní zobrazuje obr.č.3.3.



Obrázek 3.3: Změna třídy Lesy 2017–2020

Domnívám se, že důvodem této rozsáhlé změny je dlouhodobý nedostatek srážek a způsobená sucha výrazná v letním období. Souhlasný názor na tuto tematiku projevili například Zahradník a Knížek (2016), kteří tvrdí že dlouhodobý srážkový deficit negativně ovlivňuje vitalitu lesů a převážně smrkového porostu. Smrkový porost je díky mělkému kořenovému systému tímto faktorem silně ovlivněn. Podobný závěr jsme vyvodili také při konzultaci s Laluchem (2021) z Lesů a rybníků České Budějovice. Ztráta lesních porostů také snižuje množství zadržené vody v krajině a zvyšuje teplotu zemského povrchu až o dvacet stupňů celsia, jak uvádí Pokorný (2021). Z tab.č.3.2 můžeme pozorovat jakým způsobem se zjištěné plochy třídy Lesní mýtiny mění. Lesní mýtiny byly klasifikací nalezeny v letech 2019-2020. Z tohoto důvodu nejsou dostupné informace před tímto termínem a v tabulce jsou označeny „n.d.“.

Tabulka 3.2: Zastoupení třídy Lesní mýtiny (% se vztahují vždy k předešlému termínu)

Pokryv rok X --> pokryv rok X+1	Zastoupení třídy pokryvu v období X-->X+1 [%]		
	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Lesní mýtiny --> Plochy s t. a k. vegetací	n.d.	n.d.	41,35
Lesní mýtiny --> Lesní mýtiny	n.d.	n.d.	50,82
Lesní mýtiny --> Oblasti s ř. vegetací	n.d.	n.d.	2,81
Lesní mýtiny --> Louky	n.d.	n.d.	5,00

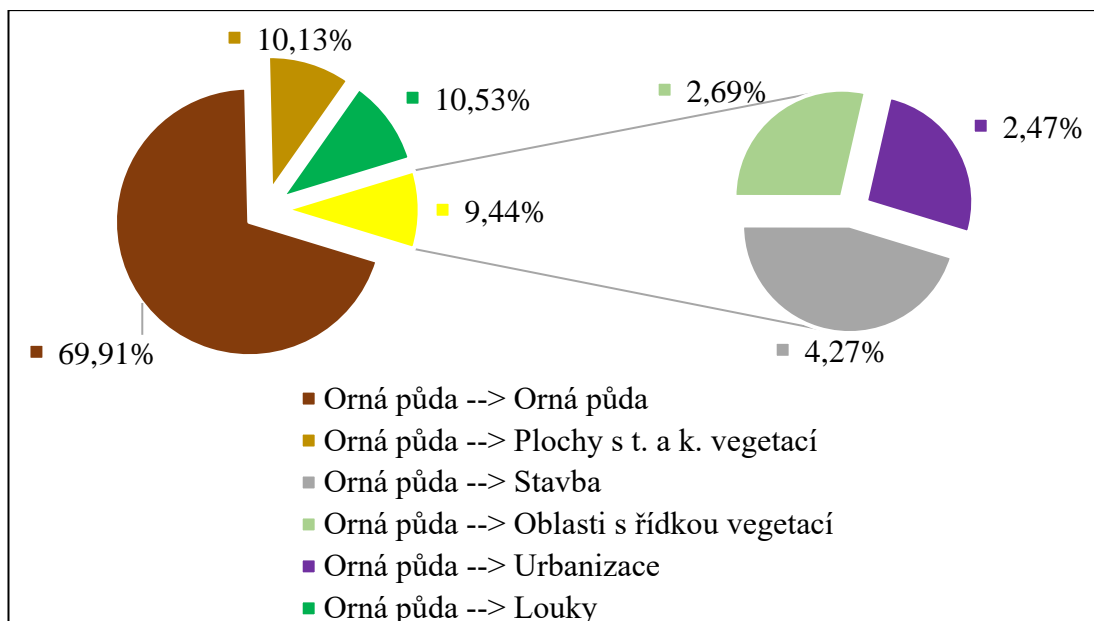
### 3.2.2 Třída pokryvu Orná půda

Orná půda se z hlediska klasifikace zdá být třídou s vysokou ztrátou původní rozlohy. Nejvýraznější změnou byla změna na třídu Plochy s travnatou a křovinnou vegetací mezi roky 2017 a 2018, jak zobrazuje tab.č.3.3. K výraznému snížení plochy třídy Orné půdy došlo mezi jarním a podzimním termínem 2017, kdy vznikla plocha třídy Stavba, na místě stavby nového úseku dálnice D3. Výrazná je také změna mezi obdobími 2019 a 2020, kdy byla plocha bývalého odkaliště v roce 2019 klasifikována do třídy Orná půda. Důvod zařazení do této třídy, je počátek úpravy povrchu pro sázení stromků z důvodu rekultivace bývalého odkaliště. Tato změna však nemá vliv na změnu rozlohy tříd za celé sledované období, jelikož na prvním snímku sledování, je tato plocha z velké části třídou Vodní plocha a na posledním se zde již nalézá třída Oblasti s řídkou vegetací. Úbytek orné půdy v čase ve své práci pozorují také Kilianová et al. (2008).

**Tabulka 3.3: Zastoupení třídy Orná půda (% se vztahují vždy k předešlému termínu)**

Pokryv rok X --> pokryv rok X+1	Zastoupení třídy pokryvu v období X-->X+1 [%]		
	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Orná půda --> Orná půda	85,78	91,26	82,71
Orná půda --> Plochy s t. a k. vegetací	7,84	2,75	4,74
Orná půda --> Stavba	1,32	1,68	1,76
Orná půda --> Oblasti s řídkou vegetací	0,00	0,00	5,45
Orná půda --> Urbanizace	2,01	1,13	1,22
Orná půda --> Louky	3,04	3,18	4,09

Co se týče změny za celé sledované období, je z obr.č.3.4 patrné do jakých tříd se Orná půda změnila. Došlo zde k zarůstání některých okrajových linií třídou Plochy s travnatou a křovinnou vegetací. Tím se přibližně 10 % původní plochy třídy Orná půda změnilo. Další 10 % původní plochy orné půdy se změnilo na třídu Louky. Necelých 5 % z původní rozlohy třídy také zabrala třída Stavba. Tato plocha je využívána pro stavbu nového úseku dálnice D3.



Obrázek 3.4: Změna třídy Orná půda 2017–2020

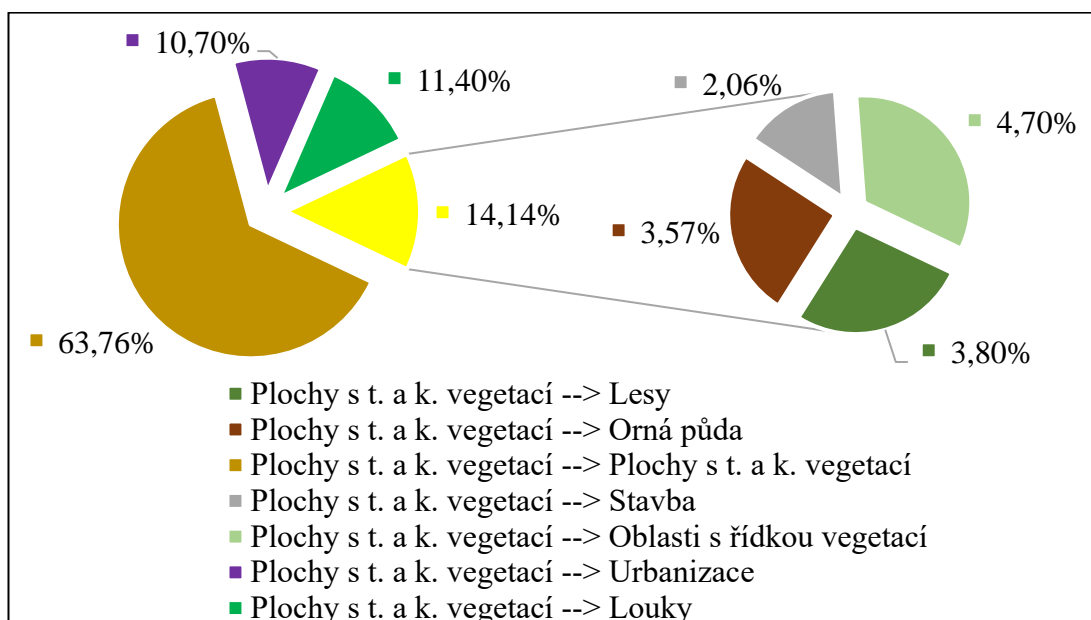
### 3.2.3 Třída pokryvu Plochy s travnatou a křovinnou vegetací

Třída Plochy s travnatou a křovinnou vegetací se z hlediska klasifikace společně s třídou Urbanizace ukázala velice problematickou. Klasifikace jednotlivých pixelů rastru o velikosti 10x10 metrů v území zástavby vychází nepřesná a z tohoto důvodu dochází u těchto tříd k záměně. Důvodem je značná heterogenita tohoto území, kde zahrady, záhony a plochy s živým plotem vykazují charakter pro tuto třídu, ale zastavěná plocha, silnice a střechy budov vykazují charakter třídy Urbanizace. Značná heterogenita působí nepřesnost údajů jednotlivých pixelů a z tohoto důvodu si myslím, že vychází v různých obdobích tak rozdílné hodnoty, které ukazuje tab.č.3.4. Dle studie Steinhausena et al. (2018) by pro zvýšení přesnosti v klasifikaci těchto tříd mohlo být použito kombinace dat Sentinel-2 se snímky optickými. Popřípadně, při porovnávání změn v krátkém časovém horizontu tato území do klasifikace nezařazovat z důvodu stálosti této třídy.

**Tabulka 3.4: Zastoupení třídy Plochy s travnatou a křovinnou vegetací  
(% se vztahují vždy k předešlému termínu)**

Pokryv rok X --> pokryv rok X+1	Zastoupení třídy pokryvu v období X-->X+1 [%]		
	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Plochy s t. a k. vegetací --> Lesy	3,78	6,87	3,59
Plochy s t. a k. vegetací --> Orná půda	0,83	3,67	3,30
Plochy s t. a k. vegetací --> Plochy s t. a k. vegetací	72,65	56,86	70,46
Plochy s t. a k. vegetací --> Stavba	6,07	3,48	1,24
Plochy s t. a k. vegetací --> Oblasti s řídkou vegetací	0,00	0,00	4,94
Plochy s t. a k. vegetací --> Urbanizace	4,11	16,75	11,30
Plochy s t. a k. vegetací --> Louky	12,51	12,34	5,17

Pro celé sledované období jsou změny této třídy povrchu zobrazeny na obr.č.3.5. Ve velké míře je zde zastoupena změna na třídy Urbanizace a Louky. Změna na třídu Urbanizace je dle mého úsudku z velké části zapříčiněna problémovou klasifikací této oblasti. Změna na třídu Louky je způsobena růstem křovin a vyšší vegetace, a naopak jejich ústupem.



**Obrázek 3.5: Změna třídy Plochy s travnatou a křovinnou vegetací 2017–2020**

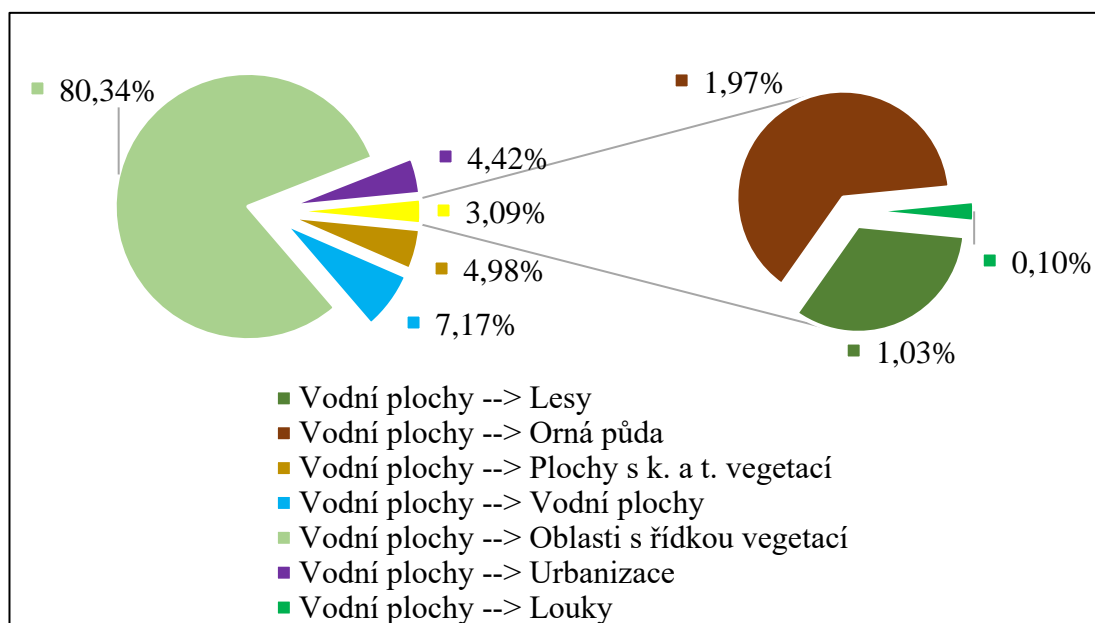
Tato třída byla dle zjištěných dat ovlivněna stavbou nového úseku dálnice, kdy v průběhu sledovaných období došlo ke změně rozlohy ploch třídy. Dle fáze stavby,



docházelo v okolí stavby k růstu vegetace klasifikované jako Plochy s travnatou a křovinnou vegetací. Ve sledovaných termínech se plochy této třídy lemující třídu Stavba, mění v závislosti na stádiu stavebních prací. Ve srovnání území před zahájením stavebních prací a současným stavem, došlo k nárůstu plochy této kategorie v oblasti stavby.

### 3.2.4 Třída pokryvu Vodní plochy

Vodní plochy za pozorované období prošly rozsáhlou změnou. Z obr.č.3.6 je zřetelné že přes 80 % původní rozlohy této třídy se změnilo na Oblasti s řídkou vegetací. Tato změna znázorňuje přechod původního pokryvu odkaliště na plochu s probíhající rekultivací, za účelem vytvoření „lesoparku“. Zbylá změna na Plochy s travnatou a křovinnou vegetací a Urbanizaci je z mého úsudku způsobena nižším stavem vodní hladiny a zarůstáním břehových linií. Rekultivace bývalého odkaliště by dle mého odhadu měla mít pozitivní vliv na zlepšení stavu vegetačních zásob půdní vody. Jak ovšem zdůrazňuje Čermák (2003), důležitým faktorem je také úprava zeminy, kvalita sazenic a následná péče o samotné sazenice. Změny v této třídě nejsou ze zjištěných údajů vyvolané stavbou dálnice D3.



Obrázek 3.6: Změna třídy Vodní plochy 2017–2020

### 3.2.5 Třída pokryvu Urbanizace

Tato třída již byla diskutována v kapitole 3.1.3 Třída pokryvu Plochy s travnatou a křovinnou vegetací. Ze změn plochy klasifikované jako Urbanizace v tab.č.3.5 je patrné že záměna třídy s třídou Plochy s travnatou a křovinnou vegetací je oboustranná. Mým názorem je, že pixely o takovémto rozměru jsou pro klasifikaci takto heterogenní oblasti (zástavba v řešeném území) o příliš velkém rozměru, a tudíž pro tyto účely nedostatečná.

**Tabulka 3.5: Zastoupení třídy Urbanizace (% se vztahují vždy k předešlému termínu)**

Pokryv rok X --> pokryv rok X+1	Zastoupení třídy pokryvu v období X-->X+1 [%]		
	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Urbanizace --> Lesy	0,02	0,11	0,00
Urbanizace --> Orná půda	1,56	1,42	1,52
Urbanizace --> Plochy s t. a k. vegetací	27,04	14,84	21,00
Urbanizace --> Vodní plochy	0,06	0,07	0,02
Urbanizace --> Stavba	1,03	1,69	2,03
Urbanizace --> Urbanizace	70,20	81,17	72,99
Urbanizace --> Louky	0,09	0,71	0,99
Urbanizace --> Oblasti s řídkou vegetací	0,00	0,00	1,43

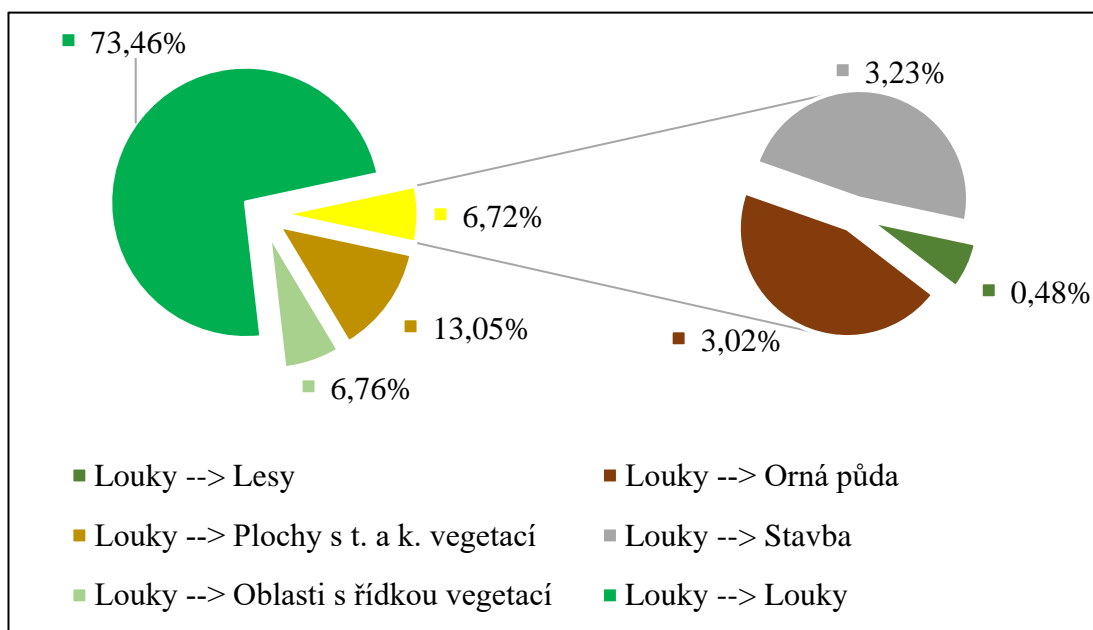
### 3.2.6 Třída pokryvu Louky

Třída Louky se v průběhu času nejvíce měnila v třídu Plochy s travnatou a křovinnou vegetací. Část původní plochy se změnila mezi roky 2019-2020 v třídu Orná půda. V průběhu let 2017-2019 došlo k úbytku ve prospěch kategorie Stavba. Průběžné změny jsou zahrnuty v tab.č.3.6. Tato kategorie pokryvu byla dle klasifikovaných dat ovlivněna stavbou dálnice D3 nejvíce mezi lety 2017-2019.

**Tabulka 3.6: Zastoupení třídy Louky (% se vztahují vždy k předešlému termínu)**

Pokryv rok X --> pokryv rok X+1	Zastoupení třídy pokryvu v období X-->X+1 [%]		
	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Louky --> Lesy	0,89	1,26	0,61
Louky --> Orná půda	0,09	2,63	3,82
Louky --> Plochy s t. a k. vegetací	10,11	8,86	13,78
Louky --> Stavba	3,54	4,74	0,44
Louky --> Oblasti s řídkou vegetací	0,00	0,00	3,94
Louky --> Louky	85,02	82,50	77,27

Změna za celé sledované období ukazuje, že 13,05 % původní třídy Louky se změnilo na Plochy s travnatou a křovinnou vegetací viz. obr.č.3.7. V Klasifikaci mohlo dojít k mírným nepřesnostem z důvodu zahrnutí některých pixelů z urbanizované plochy, nebo okrajů orné půdy. Předpokládám, že tímto důvodem je převaha travnaté vegetace v těchto místech.

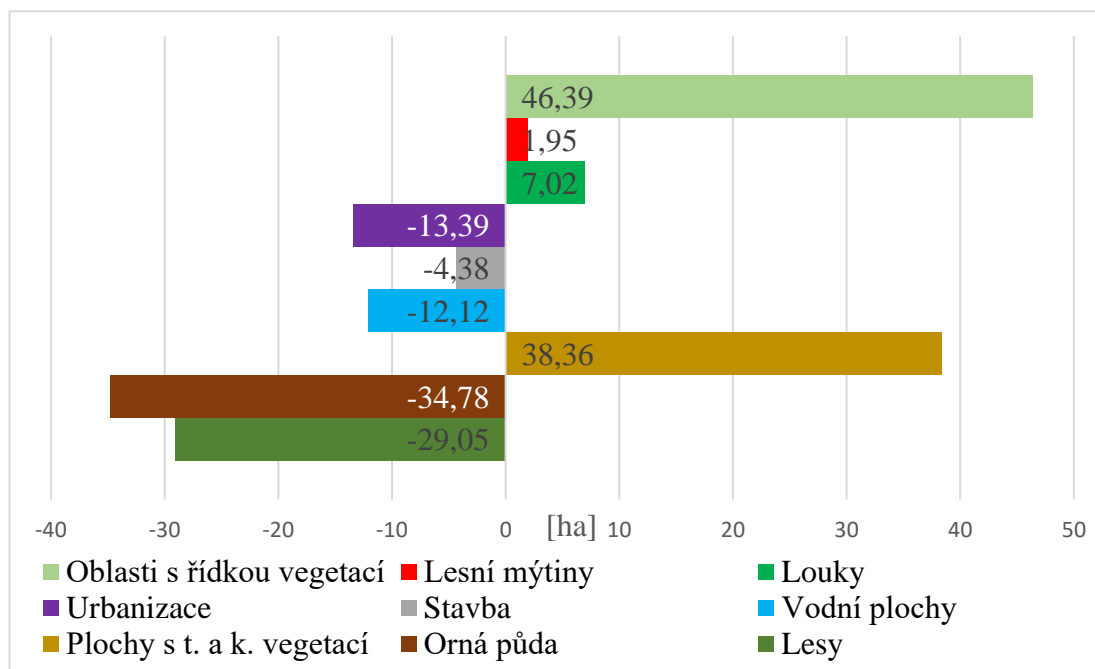


**Obrázek 3.7: Změna třídy Vodní plochy 2017–2020**

### 3.3 Změna zastoupení plochy tříd

Za celé sledované období došlo na povodí Hodějovický potok k mnoha změnám pokryvu, jak je patrné z obr.č.3.8. Jednalo se o rekultivaci bývalého odkaliště, která měla

za následek nárůst Oblasti s řídkou vegetací o 46,39 hektarů půdy a úbytek Vodní plochy 12,12 hektarů a Stavby.



Obrázek 3.8: Změna plochy tříd (24.4.2017-24.9.2020)

I přes nárůst třídy pokryvu Stavba v oblasti nového úseku dálnice, je celková bilance této třídy za celé sledované období negativní. Za sledované období kleslo zastoupení třídy Stavba o 4,38 hektarů. Toto zjištění bylo velice překvapivé. Tento stav nastal, jelikož došlo k zahájení stavby dálnice, ale zároveň ubylo území třídy Stavba v místě bývalého odkaliště a v zastavěném území. V zastavěném území se v roce 2017 nacházelo několik drobných oblastí s probíhající stavbou.

Došlo také k nárůstu třídy Lesní mýtiny v oblasti „Srubecký kopec“ z důvodu přemnožení lýkožrouta smrkového a lýkožrouta menšího o 1,95 hektarů. Toto číslo ovšem není jediným následkem této kalamity. Z informací od Lalucha (2021), terénního průzkumu a také výsledků klasifikace je jisté, že rozsáhlejší plocha napadeného lesa již byla nahrazena zasazením sazenic nových stromků, a přirozenou sukcesí za třídu Plocha s křovinnou a travnatou vegetací. Celkový úbytek plochy klasifikované do třídy Lesy je 29,05 hektarů.

Třída Louky se rozrostla o 7,02 hektarů. Hlavní podíl na tomto růstu má pozemek nacházející se na jižní hranici „Srubeckého kopce“. Tento pozemek byl využíván v roce 2017 jako orná půda, ale v letech 2018-2020 je na něm umístěn travní porost.

Úbytek třídy Urbanizace je spekulativní a mým názorem je, že došlo k chybě v klasifikaci zastavěného území, jak bylo podrobně vysvětleno v kapitole 3.1.3 Třída

---

pokryvu Plochy s travnatou a křovinnou vegetací. Jak doporučuje Steinhausen et al. (2018), doporučuji také pro přesnější výsledek v rámci klasifikace této třídy kombinace satelitních snímků se snímky optickými. Degerickx et al. (2019) zvýšili přesnost klasifikace urbanizovaného území až na 85 % aplikací MESMA (Multiple End-member Spectral Mixture Analysis).

Třída Plochy s travnatou a křovinnou vegetací narostla dle klasifikace o 38,36 hektarů. Je ovšem nutné zdůraznit, že část této plochy je velice pravděpodobně špatně klasifikována. Jedná se o plochy v oblasti zástavby. Zbylá část této plochy vznikla na hranicích stavby nového úseku dálnice, okraji rekultivovaného odkaliště a v oblastech ustupujících lesních porostů a lesních mýtin.

Úbytek byl vyhodnocen také u třídy Orná půda. V této třídě došlo k zabrání části území pro stavbu nového úseku dálnice, k zatravnění pozemku na jižní hranici „Srubeckého kopce“ a při zarůstání okrajové linie Orné půdy třídou Plochy s travnatou a křovinnou vegetací. Výsledná bilance třídy Orná půda za sledované období je -34,78 hektarů.

Zjištěná data mohou být dle mého názoru velice dobrým zdrojem podkladů, pro krajinné plánování, jak je rozebráno v následující kapitole.

---

## Závěr

V oblasti monitorování třídy Lesy a jejich změn v čase se využití dat Sentinel-2 ukázalo být přesné. Díky tomu, že tato data jsou zdarma a frekvence snímkování je vysoká, je tato varianta vhodná pro monitorování pokryvu lesů, jak ve své studii potvrdili i Szostak et al. (2018). Změny v této třídě však nebyly vyvolány stavbou dálnice, ale dlouhodobým srážkovým deficitem, který způsobil snížení vitality lesní vegetace.

Monitorování orné půdy a trvalých travních porostů je dalším odvětvím, pro které je využití Sentinel-2 dat velmi dobrý potenciál, jak uvádí Bontemps et al. (2015). Velkou výhodou je pětidenní frekvence snímání stejného území, která umožňuje podrobné sledování v krátkém časovém období.

Třída Urbanizace a třída Plochy s travnatou a křovinnou vegetací se v této práci ukázaly být problematické. Klasifikace byla do značné míry nepřesná z důvodu velikosti pixelů 10x10m. Tento rozměr dle mého názoru nemůže věrohodně přenést informace o značně heterogenním pokryvu v urbanizované oblasti. Doporučil bych vyzkoušet variantu kombinace sentinel 2 dat s optickými snímky dle Steinhausena et al. (2018).

Klasifikace třídy Vodní plocha proběhla bez problémů. Důvodem může být nízké zastoupení této třídy ve sledovaném povodí Hodějovický potok. Klasifikace dle očekávání nezobrazila drobné vodní toky, které ve srovnání s velikostí rastru nemají dostatečnou šířku. Pro území s vyšším zastoupením vodních ploch doporučuji práci Yun et al. (2016), která se zaměřuje na podrobnější klasifikaci těchto ploch.

Srovnání DMR G4 a DMR2019 nám umožnilo nahlédnout na změnu orografie území za období 2010-2019. Bylo nutné porovnání dat s terénním průzkumem. Výsledky by mohly být interpretovány zkresleně. Dosažený rozdíl výšky terénu mohl být způsobený původní nerovností (například PZ4), která byla zarovnána.

Pro posouzení vlivu stavby nového úseku dálnice D3 na linie soustředěného odtoku budou potřeba data po dokončení stavby. Data dostupná ze současného stavu (DMR2019) neprokázala změnu linií soustředěného odtoku způsobenou současnou fází výstavby. Byla pozorována výrazná změna linií v oblasti bývalého odkaliště, kde díky vybudování nového koryta došlo k propojení Hodějovického potoka v povrchovém korytě.

---

V závěru lze dle mého názoru shrnout, že data získaná postupem popsaným v této práci, můžeme využít v několika částech krajinného plánování. Klasifikace tříd pokryvu ze satelitních dat Sentinel-2 mohou posloužit, jako podklad pro aktualizaci Land Use, určování reálného stavu porostu, nebo pro porovnání stavu lesních komplexů a sledování průběhu rekultivací rozsáhlejších ploch. Lze díky nim získávat data o vysoké kvalitě, pro požadovaná území s vysokou periodou snímkování. Pro všechna území České republiky jsou data Sentinel-2 dostupná každých pět dní. Části území České republiky jsou překryta více snímky a data jsou pro ně dostupná častěji. A velice důležitým faktorem je bezplatná dostupnost těchto dat běžným uživatelům.

Data získaná leteckým laserovým skenováním povrchu mohou být pro vysokou přesnost použita pro porovnání změn orografie, tvorbu přesného DMR, porovnání vlhkostních charakteristik a potencionálních odtokových linií, nebo pro zjištění oblastí ohrožených vodní erozí a následnou realizaci společných zařízení pro ochranu půdního fondu. Získání LiDARových dat je finančně nákladné, z tohoto důvodu nejsou veřejně dostupná a skenování není prováděno v tak vysoké periodě, jako u dat Sentinel-2.

Z údajů zjištěných v této práci se domnívám, že takto zjištěná data se dají využít v několika formách krajinného plánování.

**Obligatorní formy krajinného plánování:** jejichž pořízení je podmíněno zákony mohou data aktualizace a změny porostu, vlhkostní charakteristiky, land cover a jeho změn a zjištění změn orografie, pro **lesní hospodářský plán, ÚSES (Územní Systém Ekologické Stability), plán péče o zvláště chráněné území a rekultivace**

**Podmíněně obligatorní formy krajinného plánování:** mohou využít zjištěná data o stavu zeleně, DMT a modely linií soustředěných odtoků, land cover, identifikaci kritických bodů pro **pozemkové úpravy a územní plánování.**

**Fakultativní formy krajinného plánování:** mohou využít přesný průběh a tvar reliéfu, aktuální stav vegetace, land cover a modely linií soustředěných odtoků pro **revitalizace, krajinářské úpravy, ekologické optimalizace a hospodaření na ZPF.**

---

## Seznam použité literatury

### Seznam klasické literatury

Ahmad, A. a Quegan, S. (2012). Analysis of maximum likelihood classification on multispectral data. *Applied Mathematical Sciences*, 6(129):6425-6436.

Axelsson, P. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33:110-117.

Baltsavias E. P. (1999). Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54:164-198.

Baillarin, S. J. et al. (2012) Sentinel-2 level 1 products and image processing performances. In: *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Melbourne, Australia, pp. 7003-7006.

Barazzetti, L. et al. (2016). Evaluation of registration accuracy between Sentinel-2 and Landsat 8. In: *Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment*. International Society for Optics and Photonics, Miláno, pp. 968809.

Bontemps, S. et al. (2015). Building a Data Set over 12 Globally Distributed Sites to Support the Development of Agriculture Monitoring Applications with Sentinel-2. *Remote sensing*, 7(12):16062-16090.

Brázdil, K. et al. (2016). *TECHNICKÁ ZPRÁVA K DIGITÁLNÍMU MODELU RELIÉFU 4. GENERACE DMR 4G*. Zeměměřický úřad Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Pardubice.

Brunclík, O. et al. (1986) *Geologie a půdoznalství IIIa*. Vysoká škola zemědělská Praha. Praha.

Bürger, W. (1995). *Der paradoxe Eierkocher*. První vydání. Birkhäuser Verlag, Berlin. ISBN 3764351055.

---



---

Cohen, W. B. a Goward, S. N. (2004) Landsat's Role in Ecological Applications of Remote Sensing. *BioScience*, 54(6):535-545.

Čermák, P. (2003). *Severočeská hnědouhelná pánev: Hydrolimity a rekultivace*. První vydání. VUMOP Praha a ČVUT Praha, Praha.

Degerickx, J. et al. (2019). Enhancing the performance of Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (MESMA) for urban land cover mapping using airborne lidar data and band selection. *Remote Sensing of Environment*, 221:260-273.

Dobrovolný, P. (1998). *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. Masarykova univerzita, Brno. ISBN 80-210-1812-7.

Dolanský, T. (2004). *Lidary a letecké laserové skenování*. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem. ISBN 80-7044-575-0.

Dong, P. a Chen, Q. (2017). *LiDAR remote sensing and applications*. CRC Press, New York. ISBN 1351233343.

Drusch, M. et al. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120:25-36.

Gao, B. C. et al. (2009). Atmospheric correction algorithms for hyperspectral remote sensing data of land and ocean. *Remote Sensing of Environment*, 113:17-24.

Goncalves, H. et al. (2009). Measures for an Objective Evaluation of the Geometric Correction Process Quality. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 6:292-296.

Goodman, J. A. et al. (2013). *Coral Reef Remote Sensing*. První vydání. Springer, Dordrecht. ISBN 978-90-481-9292-2.

Hagolle, O. et al. (2010). A multi-temporal method for cloud detection, applied to FORMOSAT-2, VEN $\mu$ S, LANDSAT and SENTINEL-2 images. *Remote Sensing of Environment*, 114:1747-1755.

---

---

Hardin, P. J. a Hardin, J. T. (2010). Small-scale remotely piloted vehicles in environmental research. *Geography Compass*, 4(9):1297-1311.

Hansen M. C. a Loveland T. R. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122: 66–74.

Jones, J. A. et al. (2001). Effects of Roads on Hydrology, Geomorphology, and Disturbance Patches in Stream Networks. *Conservation Biology*, 14(1):76-85.

Kataria, A. a Singh, M. D. (2013). A review of data classification using k-nearest neighbour algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(6):354-360.

Kilianová, H. et al. (2008). Změny využití zemědělské krajiny v povodí Trkmanky. In: *Ochrana a manažment poľnohospodárskej krajiny*. Ústav krajinné ekologie SAV, Bratislava, pp. 199-206.

Křupka, J. et al. (2010). MODELOVÁNÍ KVALITY ŽIVOTA POMOCÍ ROZHODOVACÍCH STROMŮ. *E+ M Ekonomie a Management/E+ M Economics & Management*, 2010(3):130-146.

Kuter, S. et al. (2015). Inversion of top of atmospheric reflectance values by conic multivariate adaptive regression splines. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 23(4):651-669.

Laluch, L. (2021). Rozhovor na téma lesního pokryvu v sledovaném území, České Budějovice, 18.2.2021.

Liang, S. (2004). *Quantitative remote sensing of land surface*. Třetí vydání. John Wiley a Sons, New Jersey. ISBN 0-471-28166-2.

Lillesand, T. M. et al. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Šesté vydání. Wiley, United States of America. ISBN: 978-0-470-05245-7.

---

---

Milěj, T. (2007): *Sluneční záření a atmosféra*. Diplomová práce, Masarykova Univerzita, Pedagogická fakulta.

Netopil, R. et al. (1984). *Fyzická geografie I*. První vydání. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

Olofsson, P. et al. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129:122-131.

Pons, X. a Solé-Sugrañes, L. (1994). A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data. *Remote sensing of Environment*, 48(2):191-204.

Richards, J. A. a Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Čtvrté vydání. Springer, Berlin. ISBN 978-3-540-25128-6.

Richter, R. a Schlapfer, D. (2002). Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 2: Atmospheric/topographic correction. *International Journal of Remote Sensing*, 23:2631-2649.

Shih, K. et al. (2008). Fast real-time LIDAR processing on FPGAs. In: *Proceedings of the 2008 International Conference on Engineering of Reconfigurable Systems & Algorithms*, Las Vegas, Nevada, USA, pp. 231-237.

Smith, R. C. (1983). Nicephore Niepce in England. *History of Photography*, 7(1):43-50.

Steinhausen, M. J. et al. (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*, 73:595-604.

---

---

Stulik, D. et al. (2013) The first scientific investigation of Niépce's images from UK and US collections: image layer and image formation. *The Imaging Science Journal*, 61(8):602-628.

Szostak, M. et al. (2018). Using of Sentinel-2 images for automation of the forest succession detection. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1):142-149.

Woolard, J. W. a Colby, J. D. (2002). Spatial characterization, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *Geomorphology*, 48:269-287.

Xiong, X. a Butler, J. J. (2020). MODIS and VIIRS Calibration History and Future Outlook. *Remote sensing*, 12(16):2523.

Yun, D. et al. (2016). Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sensing*, 8(4):354.

Zahradník, P. a Knížek, M. (2016). Lýkožrouti na smrku a sucho. *Lesnická práce*, 95(4):2-8.

Zemek, F. et al. (2014). *Letecký dálkový průzkum Země*. Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Brno. ISBN 978-80-87902-07-3.

### **Seznam internetových zdrojů**

Bay, J. (2019a). Monitorování území. [online] Copernicus [22.11.2020]. Dostupné z: <https://www.copernicus.eu/cs/sluzby/monitorovani-uzemi>

Bay, J. (2019b). Monitorování mořského prostředí. [online] Copernicus [22.11.2020]. Dostupné z: <https://www.copernicus.eu/cs/sluzby/monitorovani-morskeho-prostredi>

Bay, J. (2019c). Změna klimatu. [online] Copernicus [22.11.2020]. Dostupné z: <https://www.copernicus.eu/cs/sluzby/zmena-klimatu>

---

---

Copernicus, (n.d.). *Program Copernicus*. [online] [22.11.2020]. Dostupné z: <https://copernicus.gov.cz/index.php/o-copernicu/>

Česká geologická služba, (2018). *Geologická mapa 1: 50 000*. [online] [2.1.2021]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr25/>

ČÚZK, (n.d.). *Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G)*. [online] [12.3.2021]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(l0vgtj44cxxlvxfi0j1pw4g0\)\)/Default.aspx?mode=Text-Meta&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis](https://geoportal.cuzk.cz/(S(l0vgtj44cxxlvxfi0j1pw4g0))/Default.aspx?mode=Text-Meta&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis)

ESA, (n.d.). *Overview*. [online] [22.11.2020]. Dostupné z: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Overview4](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4)

Geoobchod, (n.d.). *GEOGIS STANDARD PRO ANDROID*. [online] [6.3.2021]. Dostupné z: <https://www.geoobchod.cz/cs/geogis-standard-pro-android/product>

INSITU, (n.d.). *Observations*. [online] [22.11.2020]. Dostupné z: <https://insitu.copernicus.eu/observations>

Ministerstvo průmyslu a obchodu, (2018). *Program Copernicus (dřívější gmes) slaví a představuje DIAS*. [online] [21.11.2020]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/programy-eu-na-podporu-mssp/horizont-2020/program-copernicus-drivejsi-gmes-slavi-a-predstavuje-dias--238685/>

Pokorný, J. (2021). *Vodní hospodářství*. [online] Management lesů [6.3.2021]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/management-lesu/>

Riegl, (2012). *Data Sheet: LMS-Q680i*. [online] [19.3.2021]. Dostupné z: [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/10\\_DataSheet\\_LMS-Q680i\\_28-09-2012\\_01.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_LMS-Q680i_28-09-2012_01.pdf)

---

---

Riegl, (2015). *Data Sheet: LMS-Q780*. [online] [19.3.2021]. Dostupné z:  
[http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxriegl/downloads/DataSheet\\_LMS-Q780\\_2015-03-24.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/DataSheet_LMS-Q780_2015-03-24.pdf)

Step.esa, (n.d.b). *SNAP - STEP*. [online] [8.11.2020]. Dostupné z:  
<https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>

Vodička, M. (2020). Bývalé odkaliště u Srubce nedaleko Českých Budějovic se mění v přírodní lesopark. [online] Český rozhlas [2.3.2021]. Dostupné z: <https://budejovice.rozhlas.cz/byvale-odkaliste-u-srubce-nedaleko-ceskych-budejovic-se-meni-v-prirodni-lesopark-8153593>

Žubrietovský, L. et. al (2017). Sentinel-2 Optická družice pro monitoring krajinného pokryvu. [online] CollGS Data z družic Sentinel v ČR [29.11.2020]. Dostupné z: <https://collgs.czechspaceportal.cz/flotila-druzic-sentinel/sentinel-2/>

### **Seznam dalších zdrojů**

LESNÍ PROJEKTY České Budějovice, a.s. (2015). *Hospodářská kniha Plochová tabulka 2015–2024*. LHC Lesy a rybníky města České Budějovice, České Budějovice.

LPIS, (2017). *Registr půdy – LPIS*. [online] [11.8.2020]. Dostupné z:  
<http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/data-ke-stazeni/>

HEIS VÚV, (2018). *Hydroekologický informační systém VÚV TGM*. [online] [11.8.2020]. Dostupné z: [https://heis.vuv.cz/data/webmap/is-api.dll?map=mp\\_heis\\_voda&TMPL=MAPWND\\_MAIN](https://heis.vuv.cz/data/webmap/is-api.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=MAPWND_MAIN)

Ortofoto ČÚZK, (2019). *Prohlížeč služba WMS – Ortofoto*. [online] [11.8.2020]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(iejn2rywgi1rgezotuwmsaw\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataXSL=full&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P](https://geoportal.cuzk.cz/(S(iejn2rywgi1rgezotuwmsaw))/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataXSL=full&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P)

Step.esa, (n.d.a). Download - *SNAP*. [online] [8.11.2020]. Dostupné z:  
<https://step.esa.int/main/download/>

---

---

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Spektrum elektromagnetického záření (Zemek et al., 2014).....	12
Obrázek 1.2: Propustnost záření atmosférou (Milěř, 2007).....	14
Obrázek 1.3: Kanály Sentinel 2 (Žubrietovský et al., 2017; vlastní zpracování) .....	19
Obrázek 1.4: Letecký LiDAR (Shih et al., 2008; vlastní zpracování) .....	23
Obrázek 2.1: Sledované povodí 4. řádu .....	26
Obrázek 2.2: Schéma pracovních tříd a podtříd krajinného pokryvu .....	32
Obrázek 2.3: Výsledky klasifikace Maximum Likelihood (2017-2018) .....	33
Obrázek 2.4: Výsledky klasifikace Maximum Likelihood (2019-2020) .....	34
Obrázek 2.5: Kontrolní body.....	35
Obrázek 2.6: ModelBuilder.....	38
Obrázek 2.7: Zjištěný rozdíl nadmořských výšek (2010-2019).....	39
Obrázek 2.8: Zjištěné linie soustředěného odtoku .....	40
Obrázek 3.1: Výrazné změny orografie .....	41
Obrázek 3.2: Změna v soustředěném odtoku.....	43
Obrázek 3.3: Změna třídy Lesy 2017–2020.....	45
Obrázek 3.4: Změna třídy Orná půda 2017–2020.....	47
Obrázek 3.5: Změna třídy Plochy s travnatou a křovinnou vegetací 2017–2020 .....	48
Obrázek 3.6: Změna třídy Vodní plochy 2017–2020.....	49
Obrázek 3.7: Změna třídy Vodní plochy 2017–2020.....	51
Obrázek 3.8: Změna plochy tříd (24.4.2017-24.9.2020).....	52

---

---

## Seznam tabulek

Tabulka 1.1: Pásma Sentinel-2 (Žubrietovský et al., 2017; vlastní zpracování).....	20
Tabulka 1.2: Úrovně zpracování (Žubrietovský et al., 2017; vlastní zpracování).....	21
Tabulka 2.1: Počet pixelů tréninkových ploch pro jednotlivé třídy.....	31
Tabulka 2.2: Kontrolní body ve třídách pokryvu.....	36
Tabulka 2.3: Kontrolní body .....	37
Tabulka 3.1: Zastoupení třídy Lesy (% se vztahují vždy k předešlému termínu).....	44
Tabulka 3.2: Zastoupení třídy Lesní mýtiny (% se vztahují vždy k předešlému termínu) .....	45
Tabulka 3.3: Zastoupení třídy Orná půda (% se vztahují vždy k předešlému termínu) .....	46
Tabulka 3.4: Zastoupení třídy Plochy s travnatou a křovinnou vegetací (% se vztahují vždy k předešlému termínu).....	48
Tabulka 3.5: Zastoupení třídy Urbanizace (% se vztahují vždy k předešlému termínu) .....	50
Tabulka 3.6: Zastoupení třídy Louky (% se vztahují vždy k předešlému termínu)...	51

---