



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra krajinného managementu

Diplomová práce

Možnosti využití satelitních dat Sentinel-2
v krajinném plánování

Autor práce: Bc. Petr Toms

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

České Budějovice
2022

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

Diplomová práce se zaměřuje na analýzu změn krajinného pokryvu a vlhkostních charakteristik na povodí Dobřejovického potoka pomocí Sentinel-2 dat. Cílem práce bylo zjistit, jak mohou být získané výsledky využity pro krajinné plánování. V první části diplomové práce je zpracovaná literární rešerše, týkající se principů dálkového průzkumu Země, elektromagnetického spektra, spektrálního projevu objektů, multispektrálních dat a satelitních dat Sentinelem-2, zajišťovaných Evropskou kosmickou agenturou. Praktická část obsahuje popis zájmového území, využití metody při zpracování Sentinel-2 dat. Důležitá část se zaměřuje na klasifikaci dat, ze kterých jsou vytvořeny výstupy, interpretovány výsledky a zhodnocena přesnost klasifikace změn krajinného pokryvu. Dále se praktická část věnuje vypočítání vegetačních indexů, díky kterým můžeme získat informace o vlhkostních charakteristikách. Část práce dále poukazuje na využitelnost získaných výsledků ve formách krajinného plánování.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, Sentinel-2, krajinný pokryv, vegetační indexy

Abstract

The diploma thesis focuses on the analysis of land cover changes and characteristics of humidity in the Dobřejovický stream basin, using Sentinel-2 data. The aim of the work was to find out how the obtained results can be used for landscape planning. The first part of the thesis deals with the literature search, which is based on the principles of remote sensing, electromagnetic spectrum, spectral expression of objects, multispectral data and satellite data Sentinel-2, provided by the European Space Agency. The practical part contains the description of the area of interest, the methods used in processing Sentinel-2 data. An important part is focused on the classification of data from which the outputs are created, the results are interpreted and the evaluated accuracy of the classification of land cover changes. Furthermore, the practical part is devoted to the calculation of vegetation indices, thanks to which we can obtain information about humidity characteristics. Part of the work also points to the usability of the obtained results in the forms of landscape planning.

Keywords: remote sensing, Sentinel-2, land cover, vegetation indices

Poděkování

Chtěl bych poděkovat blízké rodině a partnerce za podporu při studiu a psaní této práce. Poděkování patří také mému vedoucímu diplomové práce doc. Mgr. Ing. Františkovi Zemkovi Ph.D. za trpělivost a vstřícnost při konzultacích.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Literární rešerše.....	9
2.1	Dálkový průzkum Země.....	9
2.1.1	Definice dálkového průzkumu Země.....	9
2.1.2	Historie dálkového průzkumu Země.....	9
2.1.3	Princip fungování dálkového průzkumu Země.....	10
2.2	Elektromagnetické spektrum.....	12
2.2.1	Rozptyl elektromagnetického záření.....	13
2.2.2	Pohlcování záření.....	14
2.3	Interakce mezi zářením a objekty.....	14
2.4	Spektrální projev objektů.....	15
2.4.1	Spektrální projev vody.....	16
2.4.2	Spektrální projev vegetace.....	17
2.5	Multispektrální data.....	18
2.5.1	Předzpracování obrazu multispektrálních dat.....	18
2.6	Evropská kosmická agentura.....	20
2.6.1	Program Copernicus.....	20
2.7	Sentinel-2.....	21
2.7.1	Úrovně zpracování snímků.....	23
3	Metodika.....	25
3.1	Cíl práce.....	25
3.2	Charakteristika zájmového území.....	25
3.3	Využitá data.....	27
3.4	Využité programy a technika.....	28
3.5	Příprava dat Sentinel-2.....	29

3.5.1	Zpracování dat.....	29
3.5.2	Klasifikace dat.....	30
3.5.3	Hodnocení přesnosti klasifikace	37
3.5.4	Použité vegetační indexy.....	39
3.5.5	Výpočet vegetačních indexů	41
3.5.6	Vyhotovení výstupů a převedení dat do tabulek.....	42
4	Výsledky a diskuse.....	43
4.1	Výsledky tříd krajinného pokryvu.....	43
4.1.1	Třída krajinného pokryvu Lesy	43
4.1.2	Třída krajinného pokryvu Lesní mýtiny	45
4.1.3	Třída krajinného pokryvu Louky	46
4.1.4	Třída krajinného pokryvu Orná půda.....	48
4.1.5	Třída krajinného pokryvu Urbanizovaná území	50
4.1.6	Třída krajinného pokryvu Vodní plochy.....	51
4.1.7	Shrnutí výsledků krajinného pokryvu	52
4.2	Výsledky vegetačních indexů.....	53
4.2.1	Výsledné hodnoty indexu NDVI.....	53
4.2.2	Výsledné hodnoty indexu NDMI.....	57
4.2.3	Shrnutí výsledků vegetačních indexů.....	61
5	Závěr	63
6	Seznamy	64
6.1	Seznam použité literatury	64
6.2	Seznam obrázků	70
6.3	Seznam tabulek.....	70
6.4	Seznam vzorců	71
6.5	Seznam použitých zkratk.....	71
7	Přílohy.....	73

1 Úvod

Současné prostředky dálkového průzkumu Země umožňují získávat aktuální i retrospektivní data o území ve stále vyšším prostorovém a spektrálním rozlišení. Rychle se rozvíjející technické možnosti dovolují vyslat na oběžnou dráhu větší množství družic s multispektrálními, hyperspektrálními nebo radarovými senzory, využívané pro monitorování změn pokryvu na Zemi. Zároveň jsou pro koncové uživatele zdarma dostupné softwary, které jsou využívány k tvorbě cílových informací.

Krajinné plánování se stále více zaměřuje na regulaci zvyšujících se zemědělských nároků, využívání obnovitelných a neobnovitelných přírodních zdrojů, oblasti ekonomického a sociálního rozvoje a na kulturní a estetické funkce krajiny. Pomocí krajinného plánování je krajina funkčně uspořádávána a jsou regulovány nežádoucí procesy. Z těchto důvodů se diplomová práce zabývá využitelností dat Sentinel-2 v krajinném plánování.

Pro ověření využitelnosti dat pro krajinné plánování byly použity satelitní snímky Sentinel-2, které jsou veřejně dostupné. Za velké pozitivum považuji možné využití bezplatného softwaru SNAP, který je přizpůsoben pro práci se satelitními daty. Za sledované území bylo vybráno povodí Dobřejovického potoka, nacházející se severně od obce Hosín. Území bylo sledováno v letech 2017, 2018, 2019, 2020.

V literární rešerši jsou popsány principy dálkového průzkumu Země, vlastnosti elektromagnetického záření, spektrální projevy objektů, multispektrální data a informace popisující Sentinel-2.

V praktické části pomocí klasifikace dat byly vyhotoveny výsledky krajinného pokryvu a vypočteny hodnoty vegetačních indexů. Součástí interpretace výsledků je i jejich využitelnost ve formách krajinného plánování.

2 Literární rešerše

V této kapitole se zaměřím na popis informací týkajících se dálkového průzkumu Země, elektromagnetického záření, multispektrálních dat, programu Copernicus a Sentinel-2. Pro objasnění dané problematiky budou okrajově přiblíženy podkapitoly o interakci mezi zářením a objekty, a spektrální projev objektů.

2.1 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (DPZ) je rozvíjející se metoda pro zkoumání zemského povrchu, dolních vrstev atmosféry, vrstev vodního sloupce, vrstev sedimentů a dalších objektů i jevů, které probíhají na dálku. DPZ má využití v různých sektorech. Mezi ně patří: předpověď počasí, mapování oblastí, sledování stavu vegetace, vyhledávání nerostných surovin (Murdoch, 1985).

2.1.1 Definice dálkového průzkumu Země

Definic DPZ existuje celá řada. Jsou definovány mnoha zahraničními i českými autory. Nejpoužívanější jsou konvenční definice, ale i z nekonvenčních definic si lze udělat představu, co to DPZ vlastně je (Lillesand et al., 2008).

Lillesand et al., (2008) popisují DPZ tímto způsobem: *„Dálkový průzkum Země je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách, či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu“*.

Halounová a Pavelka (2005) zmiňují Huntingtonovu definici DPZ: *„Dálkový průzkum Země je umění rozdělit svět na množství malých barevných čtverečků, se kterými si lze hrát na počítači a odhalovat jejich neuvěřitelný potenciál, který vždy přesahuje naše možnosti“*.

Dobrovolný (1998) poznamenal Bashfieldovu definici DPZ: *„Dálkový průzkum je nejdražší způsob, jak vytvořit obrázek“*.

2.1.2 Historie dálkového průzkumu Země

První dochované zmínky o dálkovém průzkumu Země pochází již ze 4. stol. př. n. l. od Aristotelese, který popsals optické zařízení „kamera obscura“ (Bürger, 1995).

Velkým mezníkem byl vznik prvních černobílých fotografií začátkem 19. století. Pořízení první černobíle fotografie je prisuzováno vynálezci Josephu Nicéphore Niépce (Smith, 1983).

V roce 1858 byla v Paříži pořízena první fotografie ze vzduchu za pomoci horkovzdušného balónu (Svatoňová a Lauermann, 2010). Fotografii pořídil

francouzský vzduchoplavec, spisovatel, známý pod přezdívkou Nadar. Celým jménem Gaspard-Félix Tournachon (Hardin a Hardin, 2010).

Během 1. světové války bylo vyvinuto letecké fotografování, které sloužilo pro vojenské účely. Snímky nebyly použitelné pro vědecké účely ani pro tvorbu map (Svatoňová a Lauermann, 2010).

Z leteckého snímkování se přešlo na využívání snímkování pomocí infračerveného spektra a mikrovlnného záření. V 60. letech 20. století započalo satelitní snímkování Země z oběžné dráhy. V roce 1960 byly vypuštěny první satelity TIROS, který sbíral meteorologická data, která jsou dnes známy pod názvem NOAA (Hansen a Loveland, 2012).

Roku 1967 NASA spustila program pro dálkový průzkum Země ERTS. Program se zabývá monitoringem nerostného bohatství. V té době také došlo k vypuštění satelitů z programu Landsat s lepším spektrálním rozlišením (Cohen a Goward, 2004).

Po roce 1980 byly vypuštěny systémy MERIS a MODIS. Tyto družicové systémy byly opatřeny skenery schopného hyperspektrálního průzkumu, který umožňoval pomocí jednoho zařízení snímat data v mnoha různých spektrálních kanálech (Xiong a Butler, 2020).

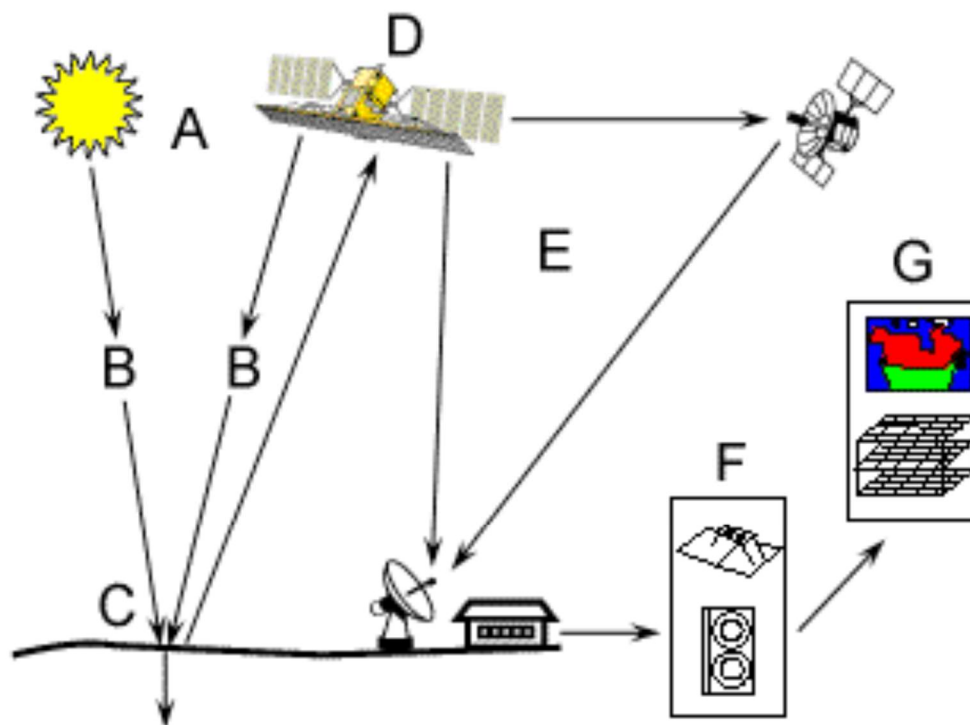
Další velký mezník se vyvinul na začátku 90. let minulého století, kdy začaly vznikat skenery LiDAR. První LiDAR skenery měly kapacitu od 2 až 25 tisíc pulzů za sekundu. Dnešní LiDAR technologie má příjmy pulzů až šestnáctinásobné (Baltasvias, 1999).

Na vzestupu byly také termální dálkové průzkumy. Využití termálních dálkových průzkumů vedlo k vyvinutí vícekanálového termálního skeneru TIMS, který byl použit k sestrojení družice Landsat 3 (Zemek et al., 2014).

2.1.3 Princip fungování dálkového průzkumu Země

Princip DPZ je měření **elektromagnetického záření (EMZ)**, vyzářeného nebo odraženého zemským povrchem. Zdrojem EMZ je každý objekt na zemském povrchu, který má teplotu větší než absolutní nula. Absolutní nula je stav látky, ve kterém ustane pohyb částic, a to při teplotě $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Uvažuje se záření vydané samotným povrchem Země, sluneční záření povrchem odražené, ale i záření vydané umělým zdrojem, které povrch odráží. Pod zdrojem umělého záření si můžeme představit radar. Díky určitým fyzikálním vlastnostem zemského povrchu a objektů dojde při dopadu EMZ k interakci s povrchem, na který EMZ dopadá.

Poté dostáváme informaci o povrchu na základě záření odraženého zemským povrchem (Copernicus, n.d.a). Na obr.č.2.1 je znázorněno sedm částí popisujících základní princip DPZ.



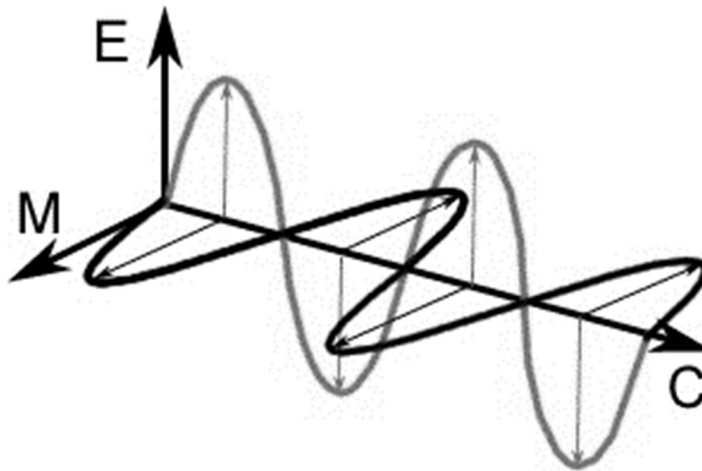
Obrázek 2.1: Princip fungování DPZ (Fiala a Jedlička, 2010)

- Zdroj energie (A) – první podmínkou je zdroj energie, který objekty ozařuje nebo jim poskytuje elektromagnetickou energii.
- Záření a atmosféra (B) – energie pohybující se od svého zdroje k danému objektu se dostane do interakce s atmosférou. Poté dochází k další interakci, když se energie dostává od daného objektu ke snímači.
- Interakce s objekty (C) – po prostupu energie atmosférou dochází k interakci s objektem, v závislosti na typu záření a vlastnostech objektu.
- Zaznamenání energie snímacím zařízením (D) – po odrazu energie od objektu (popřípadě vyzáření energie objektem) dochází k záznamu EMZ snímacím zařízením, které není v přímém kontaktu s objektem.
- Přenos, příjem a zpracování (E) – energie, kterou zaznamenal snímač, se přenese v elektronické podobě do zpracovatelské stanice, kde jsou data dále zpracovávána.

- Analýza a interpretace (F) – obraz je zpracován ve vizuální nebo digitální podobě k získání informací o objektu zájmu.
- Aplikace (G) – závěrečná část DPZ je využitelnost informací získaných ze zpracování obrazového záznamu (Fiala a Jedlička, 2010).

2.2 Elektromagnetické spektrum

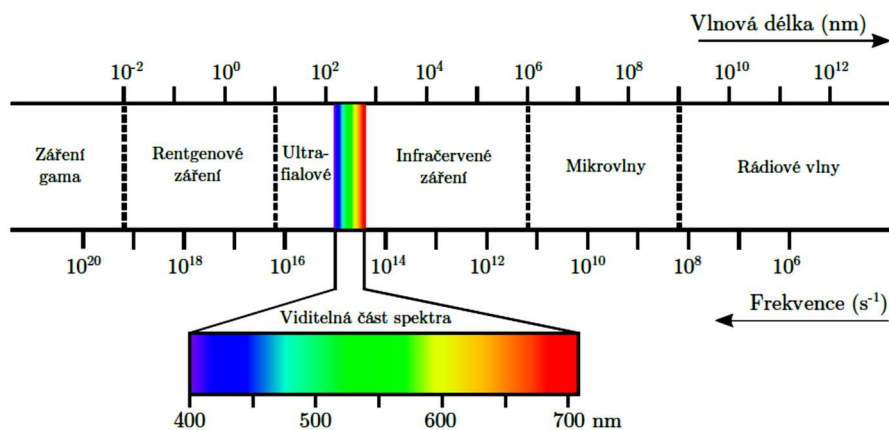
Dálkový průzkum Země je založen na získávání informací o objektech a jevech pomocí EMZ. Zkoumané objekty daný druh záření odrážejí, pohlcují nebo vyzařují. Elektromagnetické spektrum je stupnice rozdělující EMZ podle vlnové délky a frekvence na dílčí záření. Vlnová délka je vzdálenost sousedních vrcholů vlny. Frekvence je počet vrcholů, které procházejí fixním bodem za jednotku času. Frekvence a vlnová délka jsou mezi sebou v nepřímé úměře. Elektromagnetické vlnění se šíří prostorem ve formě **elektromagnetických vln**, které jsou složeny z elektrické vlny E a magnetické vlny M. Tyto vlny jsou rovnoběžné ve směru šíření, svírají spolu pravý úhel a šíří se rychlostí světla C (Dobrovolný, 1998). Elektromagnetickou vlnu znázorňuje obr.č.2.2.



Obrázek 2.2: Elektromagnetická vlna (Fiala a Jedlička, 2010)

Hlavní pozorovatelný zdroj EMZ je Slunce. Objekty, které mají vyšší teplotu než absolutní nula, také vyzařují EMZ. Nejnámější částí elektromagnetického spektra je záření viditelné, vnímané jako barva objektů. Jedná se o záření, které zahrnuje pouze zlomek z celého elektromagnetického spektra (400-700 nm). Další elektromagnetické záření je ultrafialové záření v rozmezí 300-380 nm. Ultrafialové záření není pro DPZ příliš využitelné, protože je ovlivněno rozptylem v atmosféře. Rozsah vlnových délek prakticky využitelných pro DPZ je v rozmezí 380 nm-1 m. Pasivní senzory jsou využitelné pro snímání odrazové části spektra

v rozptylu 380-3000 nm. Toto záření se dělí na viditelnou část v rozpětí 400-720 nm, blízkou infračervenou část v rozpětí 720-1300 nm, střední infračervenou část v rozpětí 1300-3000 nm. Pro DPZ se používá termální infračervené záření v rozmezí 8-14 μm (Zemek et al., 2014). Části elektromagnetického spektra, jsou znázorněny na obr.č.2.3.



Obrázek 2.3: Elektromagnetické spektrum (Zemek et al., 2014)

2.2.1 Rozptyl elektromagnetického záření

Rozptyl záření v atmosféře je popisován jako změna směru záření s interakcí částic přítomných v atmosféře. Nejčastěji se jedná o molekuly plynů. Rozptyl EMZ je dán její nehomogenitou (Zemek et al., 2014). Částice vzduchu, kterými jsou molekuly plynů a aerosoly, představují pro záření nehomogenitu. Na povrchu částic dochází k odrazu, absorpci a lomu EMZ (Halounová a Pavelka, 2005). Rozptyl je závislý na množství a velikosti rozptylujících se částic, vlnové délce rozptylového záření a na trajektorii záření procházející atmosférou (Zemek et al., 2014). Mezi atmosférické plyny, které způsobují rozptyl, patří: kyslík, dusík a ozon. Aerosoly v podobě mořských solí nebo částic prachu, také zapříčiňují rozptyl. Pomocí velikosti rozptylujících se částic se rozptyl dělí na rozptyl nezávislý na vlnové délce a na rozptyl ovlivněný částí elektromagnetického spektra (Mather a Koch, 2011).

Rayleighův rozptyl je molekulární rozptyl velmi malých částic, které jsou menšího rozměru než vlnová délka záření. Princip molekulárního rozptylu je dán účinky vlnové délky, záření kratší vlnové délky je ovlivňováno více než záření delší vlnové délky (Zemek et al., 2014). Rayleighův rozptyl je při výborných meteorologických podmínkách zaznamenatelný pomocí barvy na obloze.

Červené zabarvení oblohy při západu slunce je způsobeno rozptýlením modrého záření s kratší vlnovou délkou o mnoho více, než červené záření s delší vlnovou délkou (Richards a Jia, 2006).

Mieův rozptyl je definován jako kontakt záření s částicemi o stejné nebo velmi podobné velikosti vzhledem k viditelné vlnové délce nebo termální části spektra elektromagnetického záření. Částice způsobující Mieův rozptyl se pohybují v rozsahu od 0,1 μm do 10 μm (Mather a Koch, 2011).

Částice přesahující poloměr 10 μm jsou pozorovatelné jako vodní kapky nebo ledové částí způsobují **neselektivní rozptyl**. Jedná se o rozptyl, který nezávisí na vlnové délce. Ve viditelné části spektra je stejnoměrně rozptýleno modré, zelené a červené záření, které vytváří bílou barvu mlhy a oblaků (Dobrovolný, 1998).

2.2.2 Pohlcování záření

Pohlcování záření, jinak řečeno absorpce, je ztráta energie na určité vlnové délce. K pohlcování dojde, když částice v atmosféře zadrží procházející záření. Pohlcování záření je způsobeno plyny, jako je vodní pára, oxid uhličitý, ozon. Tyto plyny pohlcují záření s rozdílnou intenzitou v daných intervalech vlnových délek. Ačkoliv tyto plyny tvoří jen zanedbatelnou část atmosféry, jsou odpovědné za převážnou část absorpce procházejícího slunečního záření. Části spektra, ve kterých je rozptyl a pohlcování minimální, se jmenují atmosférická okna. Největší část atmosférického okna je ve viditelném záření. Tato část dále navazuje na oblast blízkého infračerveného záření a vystupuje z viditelné části elektromagnetického spektra. Poté jsou další absorpční okna ve středním infračerveném spektru a termální oblasti. Atmosférická okna umožňují snímání povrchu, z tohoto hlediska jsou nepostradatelná pro získání dat DPZ (Zemek et al., 2014).

2.3 Interakce mezi zářením a objekty

Záření, které se nerozptýlilo nebo nebylo pohlceno v atmosféře a dosáhne na zemský povrch, se dostane do interakce s objekty. Interakce při dopadu záření se dělí na tři typy: **absorpce**, **průchod** a **odraz**. Integrace dopadajícího záření s objekty probíhá vyjmenovanými třemi typy. Pokud je záření pohlceno objektem, jedná se o absorpci. Za průchod se považuje záření, které objektem projde. Odraz je uváděn jako záření odražené od objektu a následně přeměřováno. Poměr dílčích typů podléhá vlnové délce záření, materiálu nebo stavu objektu (Fiala a Jedlička, 2010).

Velká část systémů DPZ využívá odrazivou část elektromagnetického spektra.

Z principů DPZ je důležitá také geometrie odrazu, závislá na drsnosti povrchu (Zemek et al., 2014).

Rozlišují se dva typy odrazů. Jedná se o **zrcadlový** a **difúzní odraz**. Zrcadlový odraz je optimální odraz od hladkého objektu, kde nedojde k rozptylu odraženého záření a úhel dopadu je stejný jako úhel odrazu. Difúzní odraz, jindy popisován jako Lambertíánský odraz vzniká při odrazu od hrubého objektu, kde je energie odražena do všech směrů. Většina objektů a zemských povrchů má difúzní odrazivost. Zrcadlový odraz nastává na klidné hladině vodní plochy. Objekty se mohou v různých spektrech chovat jako hladké, ale také jako drsné (Mather a Koch, 2011). Typy odrazivosti jsou znázorněny na obr.č.2.4.



Obrázek 2.4: Typy odrazivosti (Zemek et al., 2014)

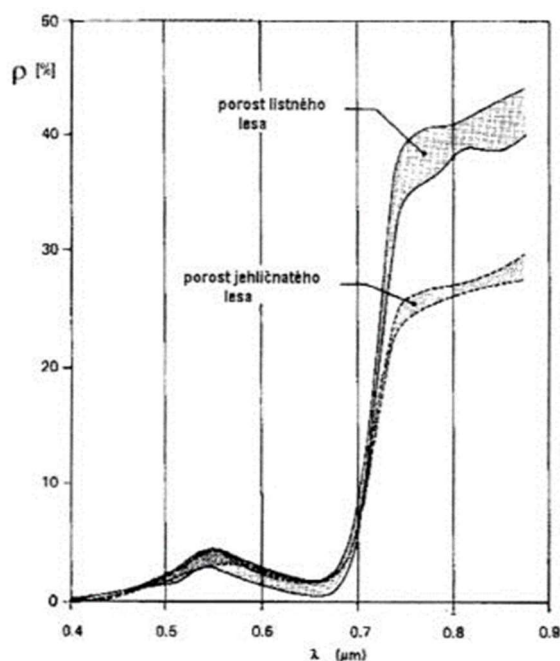
Celková charakteristika odrazivosti je vyjádřena funkcí BRDF (z angl. Bidirectional Reflectance Distribution Function). Funkce BRDF představuje teoretický popis dané problematiky. Popisuje geometrickou závislost intenzity odraženého záření na úhlu dopadu a odrazu. Skutečné měření DPZ neodpovídá teoretickému popisu funkce BRDF, protože dopadající záření na detektor je integrováno z poněkud širokého zorného úhlu. Funkce BRDF je závislá na vzájemné poloze zdroje záření a snímajícího senzoru. Hodnoty odrazivosti při výpočtech se mohou lišit při zohlednění prostorové distribuce dopadajícího a odraženého záření (Zemek et al., 2014).

2.4 Spektrální projev objektů

Reflektance neboli spektrální odrazivost udává procentuální podíl odraženého záření ku množství záření dopadajícího na vlnové délce (Dobrovolný, 1998). Objekty se prezentují fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Jedná se o teplotu, vlhkost, chemické složení. Proto se podobné objekty prezentují obdobnou odrazivostí v určité

části elektromagnetického spektra. Tomuto jevu se říká spektrální chování objektů. Spektrální chování objektů je závislé na odrazivosti a vyjadřuje se pomocí **spektrální křivky odrazivosti** (Halounová a Pavelka, 2005).

Spektrální křivka odrazivosti je popsána jako množina bodů pro určitý rozsah vlnových délek. Stejně třídy objektů se vyznačují obdobným průběhem. Spektrální křivky odrazivosti pro rozdílné objekty jsou porovnávány s objekty, které již známe. Porovnáním spektrálních křivek odrazivosti rozdílných objektů se známými objekty můžeme zjistit, o jaký druh objektu jde. Pro správné zjištění objektu je důležitá volba intervalu vlnových délek pozorovaných objektů. Volba intervalu se stanovuje podle průběhu spektrální křivky odrazivosti. Pokud bychom pozorovali listnaté a jehličnaté stromy ve viditelném spektru, nedokázali bychom je od sebe rozlišit. Zvolili bychom infračervenou část spektra, spektrální projev by byl na křivkách odlišný a druhy stromů by šli od sebe snadno rozpoznat (Dobrovolný, 1998). Na obr.č.2.5 je znázorněna odrazivost listnatého a jehličnatého lesa.



Obrázek 2.5: Odrazivost listnatého a jehličnatého lesa (Dobrovolný, 1998)

2.4.1 Spektrální projev vody

Z hlediska DPZ jsou pro vodu typické tyto vlastnosti. Jedná se o homogenní látku, odrazivost v jiných skupenstvích se liší, pozměňuje spektrální chování všech látek, ve kterých je voda. Voda proniká do hloubky kolem dvaceti metrů v oblasti modrého světla, s rostoucí vlnovou délkou odrazivost vody stále klesá. Voda se chová jako absolutně černé těleso. Neodráží skoro žádné záření, které proniká dále pod hladinu

a většina záření je zde pohlcena, proto jde voda snadno rozeznat od ostatních těles. Voda se v tuhém skupenství vyznačuje ve viditelném blízkém infračerveném spektru skvělou odrazivostí. Sníh a led jde od sebe odlišit až ve středním infračerveném spektru v delších vlnových délkách (Dobrovolný, 1998).

2.4.2 Spektrální projev vegetace

Výskyt vegetace je vidět na většině snímků zemského povrchu, kromě polárních oblastí a pouští. Z tohoto důvodu je spektrální projev vegetace nedílnou součástí DPZ. Za obvyklou vegetaci je považován travní porost, zemědělsky obdělávané pole, pastviny, lesy, louky. Vegetace se od sebe liší spektrálním chováním. Spektrální chování vegetace se projevuje pomocí odrazových vlastností částí rostliny (listy, větve, květy, ale i jejich pozadí). Nejběžnější je využití odrazových vlastností listů (Dobrovolný, 1998).

Vegetace je v DPZ ovlivňována zejména: vnějším uspořádáním vegetačního krytu, vodním obsahem, zdravotním stavem rostlin, vnitřní strukturou jednotlivých částí rostlin (Halounová a Pavelka, 2005).

Spektrální křivka odrazivosti u vegetace se dělí na tři části podle faktorů, které ovlivňují odrazivost. Jde o část pigmentační absorpce v rozptylu 400-700 nm. Oblast buněčné struktury v rozmezí 700-1300 nm a poslední oblast vodní absorpce v rozmezí 1300-3000 nm (Kolář, 1990).

Pigmentační absorpce má velký vliv na průběh spektrální křivky vegetace pomocí pigmentačních látek. Hlavní pigmentační látka je chlorofyl, který může zaujímat až 65 % listového pigmentu a způsobuje zelenou barvu rostlin, díky maximální odrazivosti v okolí vlnové délky zeleného světla. Listy obsahují i jiné pigmentační látky: karoten a xantofyl. Tyto látky způsobují zbarvení listů do žlutých barev, za předpokladu snížení obsahu chlorofylu. Anthokyan může být produkován rostlinami místo chlorofylu, jehož důsledkem je červená barva listů (Halounová a Pavelka, 2005).

Buněčné struktury jsou známé nárůstem vysoké odrazivosti v části spektra s blízkým infračerveným zářením. Dílčím činitelem ovlivňující odrazivost je morfologická struktura listů, která se u vegetace významně liší. Vysoká odrazivost je způsobena několikanásobným odrazem uvnitř listu. Rozdíly mezi červenou částí spektra a částí blízkého infračerveného záření poukazují na zdravotní stav rostlin nebo přítomnost chlorofylu (Dobrovolný, 1998).

Vodní absorpce je formována výraznými absorpčními pásy se středy na vlnových délkách 1400 nm, 1900 nm, 2700 nm. Lokální maxima odrazu jsou na vlnových délkách 1600 nm a 2200 nm. Pokles vodního obsahu může za nárůst odrazivosti, dále se mění i obsah chlorofylu a vnitřní struktura listu. Tato odrazivost je využívána k určování vodního stresu rostliny (Dobrovolný, 1998).

Kolář (1990) popisuje využití spektrálního projevu vegetace jako indikátory výskytu daných druhů hornin, protože obsah živin a minerálů v půdě ovlivňuje obsah chlorofylu a vody v listech.

2.5 Multispektrální data

Multispektrální data jsou založena na snímání a zaznamenávání oblastí do několika kanálů. Ze kterých je možné vytvářet barevné syntézy, zkoumat data ze samotných kanálů v odstínech šedi. Multispektrální data se skládají z 5-10 kanálů o vlnové délce 70-400 nm (Liang, 2004). Slovo multispektrální vychází ze spojení latinských slov. *Multi* znamená mnoho a pod slovem *spectrum* si můžeme představit obraz, zjevení (Gisat, n.d.).

V této práci pracuji s daty Sentinel-2, které jsou ošetřeny pomocí korekcí od poskytovatele, proto je tato kapitola jen stručně popsána.

2.5.1 Předzpracování obrazu multispektrálních dat

Získaná multispektrální data pomocí snímačů musejí být předzpracována do daného formátu. Výsledné snímky jsou ovlivněny řadou faktorů, které zhoršují kvalitu snímku. Cílem zpracování multispektrálních dat je utlumení nebo odstranění chyb a odchylek (Dobrovolný, 1998). Předzpracování obrazu se dělí na atmosférické korekce, geometrické korekce a radiometrické korekce (Goodman et al., 2013).

Atmosférické korekce jsou ovlivňované efekty atmosféry v takové míře, že naměřené hodnoty neodpovídají charakteristikám snímaných objektů. Atmosférické korekce mají za úkol upravit data do požadované podoby, tak aby bylo možné získat úplná data pro zkoumané charakteristiky objektů. Atmosféra zkresluje naměřené hodnoty pomocí rozptylu a pohlcování v elektromagnetické části spektra. Ve viditelném blízkém infračerveném záření je hlavním cílem odstranit zákal nebo kouřmo (Dobrovolný, 1998).

Goodman et al. (2013) popisují cíle atmosférické korekce, jako odstranění špatného vlivu atmosféry a radiační převod na hodnoty odrazivosti povrchu. Pro

nejvyšší možnou kvalitu snímaných dat se současně s dálkovým snímáním dělají i místní povrchová měření pozičních bodů a odrazivosti.

Atmosférické korekce se dělí na dva typy skupiny. První typ skupiny je postaven na empirických metodách s koncovými metodami zjevné odrazivosti. Druhý typ skupiny má základy na simulacích průchodu atmosférou s koncovými hodnotami v absolutní odrazivosti (Gao et al., 2009).

Hodnocení kvality atmosférických korekcí je prováděno ke vztahu pozemního spektrálního měření společně se snímáním multispektrálních dat. Porovnávají se referenční hodnoty spekter a hodnoty pozemního měření, odpovídající velikosti pixelu. Předběžné určení shodných dat lze určit pomocí vizuálního průzkumu (Richter a Schlöpfer, 2002).

Geometrické korekce mají odstranit dopady, tak aby šlo transformovat obraz do daného souřadnicového systému, propojit obrazová data s geografickými informačními systémy a vytvořit ortofotomapy (Dobrovolný, 1998).

Geometrické zkreslení způsobují nesourodé geometrické podmínky. Největší vliv mají změny polohy, rychlost nosiče, zemská rotace a zakřivení zemského povrchu (Kolař, 1990).

Dělení geometrických korekcí se rozděluje do dvou hlavních typů. Dělí se na přímé geokódování a na převzorkování do daného referenčního systému. Přímé geokódování postupně odstraňuje chyby související s pohybem letadla a ortogonalizaci, která se zabývá zkreslením v důsledku topografie pozorovaného terénu a geometrií senzoru družice. V druhém typu jsou hodnoty pixelů přidány do mřížky cílových referenčních systémů (Zemek et al., 2014).

Goncalves et al. (2009) uvádí, že kvalita provedení geometrických korekcí je závislá na horizontální poziční přesnosti. V terénu se určují skupiny daných bodů, které jsou jasně zjištělné z naměřených multispektrálních snímků.

Radiometrické korekce spočívá v převedení naměřené digitální hodnoty na fyzikálně definované jednotky radiance (Zemek et al., 2014). Cílem radiometrických korekcí je úprava nasnímaných obrazových dat, tak aby hodnoty obrazu byly co nejvíce shodné se skutečnými odrazovými nebo zářivými vlastnostmi objektů (Dobrovolný, 1998).

Různé faktory způsobují radiometrické zkreslení, které je děleno na čtyři typy. Jedná se o zkreslení vlivem atmosféry, zkreslení vzniklá současně při vzniku obrazu

v optickém systému, zkreslení určování velikosti naměřených dat a zkreslení vytvořena různým rozptylem dopadajícího záření (Kolář, 2008).

2.6 Evropská kosmická agentura

Pro tuto práci jsou využity data z programu Copernicus, proto se v této podkapitole zabývám základními informacemi o Evropské kosmické agentuře a programu Copernicus, jehož součástí je mise Sentinel-2.

Evropská kosmická agentura (ESA) je organizace, která je spjata s DPZ a družicovými systémy. EAS získává informace o vesmíru, naší sluneční soustavě, kosmickém prostoru a Zemi. ESA byla založena v roce 1975, nyní je složena z dvaadvaceti členských států. Přes 40 let podporuje vědecké a průmyslové aktivity v kosmu. ESA zpřístupňuje vesmír, vypouští rakety, družice a školí astronauty (ESA, 2019a).

ESA zaměstnává více než dva tisíce odborníků. Hlavní středisko sídlí v Paříži. Dále má ESA kancelář v Bruselu, která upevňuje vazby s Evropskou komisí a se zástupci Francouzské Guyany. Největší středisko se nachází v nizozemském městě Noordwijku. Toto středisko slouží jako testovací centrum pro kosmické aktivity a řízení projektu ESA. Poskytuje také technickou podporu družicových programů, pilotovaných vesmírných letů a kosmických programů. Další střediska jsou v Itálii, Německu a Španělsku (ESA, 2019b).

Evropská unie společně s ESA spolupracuje na programech týkajících se monitorování Země a programech týkajících se kosmické navigace. Mezi nejznámější programy patří Galileo a Copernicus (ESA, 2019c).

2.6.1 Program Copernicus

Program Copernicus byl založen Evropskou unií. Hlavním účelem programu je pozorování charakteristik bezpečnosti a životního prostředí. Program je založen na pozorování DPZ pomocí družic. Data toho projektu jsou veřejné a je k nim bezplatný přístup, řadí se mezi velmi dobře přístupné zdroje jak pro akademickou část, tak i pro veřejný sektor nebo běžného uživatele. Program Copernicus se dělí na tři části. První část je kosmická komponenta, která je složena z družic Sentinel a přispěvatelů. Přispěvatelé jsou družice jiných agentur, které spolupracují s programem Copernicus. Druhá část programu je in-situ komponenta, která tvoří pozemní stanice členských států Evropské unie. Třetí část jsou služby, které jsou poskytovány široké veřejnosti (Drusch et al., 2012).

Kosmická komponenta je tvořena družicemi Sentinel a družicemi, které vlastní jiné agentury. Družice Sentinel jsou děleny na šest misí. Satelity Sentinel 4-6 budou vypuštěny v nejbližších letech. Mise Sentinelu 1-3 a Sentinelu-5P jsou v současnosti v provozu (Copernicus, n.d.b).

In-situ komponenta zahrnuje pozemní měření, pomocí senzorů, lodí, letadel, dronů a mnoha dalších. Tyto data doplňují data získané z družic a využívají se jako geoprostorová data. Dále se používají k atmosférickým korekcím (INSITU, n.d.).

Služby slouží široké veřejnosti a dělí se na sektory: monitorování atmosféry, monitorování mořského prostředí, monitorování území, změny klimatu, monitorování krizového řízení a bezpečnosti. Roku 2012 vznikly služby monitoringu území a řízení bezpečnosti. Tyto data mají využití v územním plánování, lesním hospodářství, vodním hospodářství, ochrany krajiny, rozvoji venkova a zemědělství (Bay, 2016a). Roku 2015 byly spuštěny služby monitoringu atmosféry a mořského prostředí. Poskytovaná data obsahují informace o ozónových vrstvách, kvalitě ovzduší, složení atmosféry, slunečního záření, antropogenního ovlivňování klimatu, ultrafialového záření, určování mořských zdrojů a předpovědi počasí, klimatu (Bay, 2016b). V roce 2016 přibyla služba bezpečnost. Služba je zaměřená na podporu politiky Evropské unie. Služba dodává informace a napomáhá předcházet krizím. Cílem služby je podpora vnější činnosti Evropské unie, ostraha hranic nebo námořní dohled. Následující služba se věnuje monitorování změn klimatu, kde je hlavním úkolem předcházet opatřením dopadajících na lidi a životní prostředí (Bay, 2016c).

2.7 Sentinel-2

Sentinel-2 poskytuje multispektrální snímky s vysokým prostorovým rozlišením a velkou šířkou záběru. Sentinel-2 je složena ze dvou družic, které se pohybují po stejné oběžné dráze, v 786 km nad povrchem Země. Hlavní úkol družic je sledování využitelnosti ploch na Zemi, monitoring krajiny, monitoring změn pokryvu. Jedna družice prolétne nad totožným místem nad povrchem Země jednou za deset dní. Obě družice se dostanou na stejné místo na povrchu jednou za pět dní (ESA, 2018a).

Družice Sentinel-2 pravidelně získává data nad pevninou a pobřežím. Jedná se o oblasti od Jižní Ameriky po oblast Grónska. Družice Sentinel-2 snímají ostrovy

Evropské unie, ostrovy o velké rozloze, ostrovy do 20 km od pobřeží, Středozemní moře, vnitrozemské vodní plochy, uzavřená moře (Žubrietovský et al., 2017).

První družice označená jako Sentinel-2A byla vypuštěna v červnu roku 2015, druhá družice s označením Sentinel-2B byla vypuštěna v březnu roku 2017. Aktivita družic je odhadovaná na minimálně sedm let, ale jejich životnost je odhadovaná až na dvanáct let (ESA, 2018b).

Družice jsou vybaveny na palubách optickými senzory MSI, které zaručují spojitost se staršími satelitními systémy SPOT nebo Landsat (Drusch et al., 2012). Senzor MSI dokáže snímat třináct pásem záření. Jedná se o viditelné spektrum záření až po infračervenou část spektra. Kanály jsou děleny podle rozlišení na 10 m, 20 m, 60 m (Drusch et al., 2012).

Sentinel-2 data jsou získávány ve třinácti kanálech o odlišných vlnových délkách. Čtyři kanály jsou v prostorovém rozlišení 10 m. Jedná se o kanály B2, B3, B4, které jsou v barevném modelu RGB a kanál B8 v blízkém ultrafialovém záření. Kanály v prostorovém rozlišení 20 m jsou dobré na monitoring sněhu a ledu nebo stavu vegetace. Jde o kanály B5, B6, B7, B8a, B11, B12. Tři kanály mají prostorové rozlišení 60 m. Kanál B1 je vhodný na pozorování aerosolů. Kanály B9 a B10 jsou vhodné na pozorování oblačnosti a vodní páry (Žubrietovský et al., 2017).

K pokrytí celého úhlu záběru snímajícího 290 km široký pás na Zemi je uspořádáno dvanáct detektorů na každé ohniskové rovině (ESA, 2018c). Důležitý parametr je radiometrické rozlišení. **Radiometrické rozlišení** udává nejmenší rozdíl, zachycený senzory. V podstatě nám znázorňuje hloubku pixelu. Hodnota senzoru MSI je dvanáct bitů. MSI dokáže rozlišit 4096 odlišných hodnot jasu pixelů (Drusch et al., 2012).

Multispektrální senzory umístěné na družicích Sentinel-2, snímají sluneční záření odražené zemským povrchem. Záření je rozděleno filtrem na dvě spektrální ohniskové sestavy: záření viditelné a blízké infračervené a krátkovlnné infračervené záření. Spektrální separace dílčích kanálů do vlnových délek je docílena pomocí pruhového filtru na detektoru (Žubrietovský et al., 2017).

Tabulka 2.1: Prostorové rozlišení pásma Sentinel-2 (Drusch et al., 2012, vlastní zpracování)

Pásmo	Střední vlnová délka [nm]	Šířka pásma [nm]	Prostorové rozlišení [m]
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

2.7.1 Úrovně zpracování snímků

Sentinel-2 data jsou dostupná v úrovních 1B, 1C a 2A. Snímky jsou volně dostupně ve formě tzv. granulí neboli dlaždic. Granule jsou nejmenší části snímku obsažené ve všech spektrálních pásmech (Žubrietovský et al., 2017). Rozdělení jednotlivých úrovní je znázorněno v tab.č.1.2.

Tabulka 2.2: Úrovně zpracování snímků (Žubrietovský et al., 2017, vlastní zpracování)

Úroveň produktu	Popis	Vytvoření a distribuce	Objem dat
Level-1B	Top-of-atmosphere radiance v geometrii senzoru	System vytváření a online distribuce	27 MB (1 granule 25x23km ²)
Level-1C	Top-of-atmosphere reflektance v kartografické projekci	System vytváření a online distribuce	500 MB (1 granule 100x100 km ²)
Level-2A	Bottom-of-atmosphere reflektance v kartografické projekci	Vytvoření na straně uživatele s využitím Sentinel 2 toolboxu	600 MB (1 dlaždice 100x100km ²)

Data procházejí řadou úrovní zpracovatelnosti. Úroveň L0 není přístupná veřejnosti. Obsahuje neupravená data, vytvořená v průběhu snímání. Data úrovně L0 mají rozměry 25 x 23 km. Úroveň L1 vzniká zpracováním dat úrovně L0. Úroveň L1A vzniká dekomprimací z dat L0. Má stejné rozměry jako úroveň L0, a také je její přístup zamezen veřejnosti. Následující úroveň L1B obsahuje atmosférickou a geometrickou korekci senzoru a tato úroveň je přístupná veřejnosti. Pomocí převzorkování a ortorektifikaci vzniká úroveň L1C s prostorovým rozlišením 10 m, 20 m a 60 m (Žubrietovský et al., 2017).

Úroveň L2A obsahuje atmosférické korekce narozdíl od úrovně L1C. Atmosférická korekce je uživatelům poskytována od roku 2016. Snímky staršího data postupně převádí společnost ESA do úrovně L2A (ESA, 2018d).

3 Metodika

3.1 Cíl práce

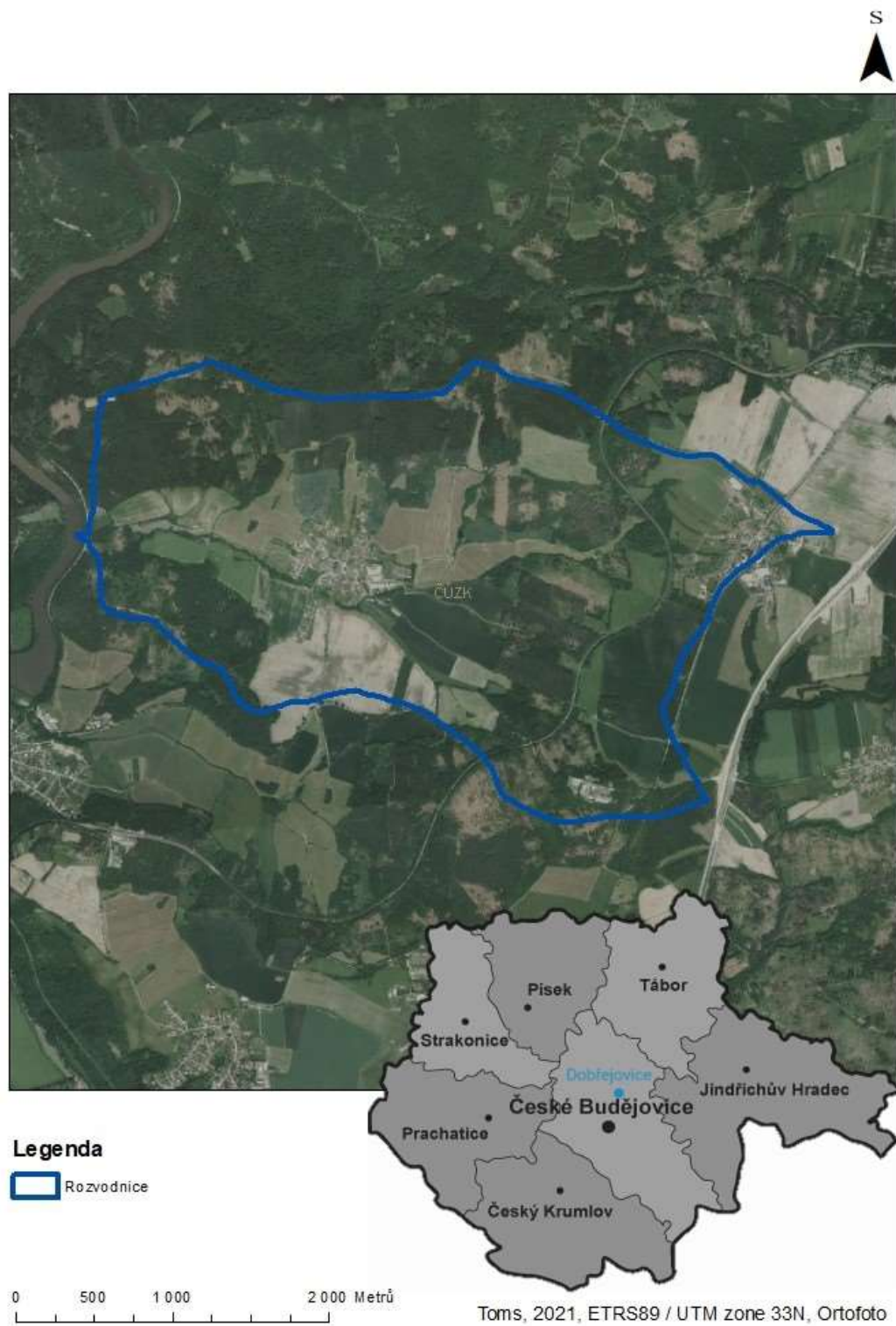
Cílem diplomové práce je zhodnotit využitelnost Sentinel-2 dat ve formách krajinného plánování. Hlavními cíli práce je vyhotovit analýzu změn krajinného pokryvu a získat informace o vlhkostních charakteristikách pro povodí čtvrtého řádu 1-06-03-0630-0-00, kterým protéká Dobřejovický potok. Pro analýzu změn byly využívány klasifikační metody a pro získání vlhkostních charakteristiky byly vypočteny vegetační indexy. Následně byla zhodnocena přesnost provedené klasifikace pro krajinný pokryv a zhodnoceno prostorové rozlišení využitých družicových snímků. Závěrem byla popsána využitelnost získaných výsledků a poznatků této práce pro formy krajinného plánování.

3.2 Charakteristika zájmového území

Zájmové povodí bylo vybráno z jednoduchých důvodů. Hlavním důvodem bylo trávení času společně s rodinou na naší chatě. Chata se nachází na okraji obce Chotýčany u železničního koridoru s krásným výhledem na celé zájmové území. Dalším podnětem pro výběr daného území byla vizuální proměna lesů za poslední roky. Ve zkoumaném období byly lesy poznamenány lesní těžbou, která měla za následek vznik lesních mýtin. Z těchto důvodů jsem si částečně zvolil danou práci, abych se dostal k informacím jako je úbytek lesa a dalších jiných kultur nebo zdravotní stav vegetace na zkoumaném území.

Zájmové území je povodí Dobřejovického potoka s plochou 8,45km² a hydrologickým pořadím 1-06-03-0630-0-00 (Český hydrometeorologický ústav, 2021). Povodí Dobřejovického potoka se rozprostírá v Jihočeském kraji severně od Českých Budějovic. Na území se vyskytuje převážně geologicky staré podloží Českého masivu. Půdy jsou zde kyselé a chudé na živiny. Část území je pokryta horninami křídové tabule a vyskytují se zde i harcovské ostrůvky. V daném povodí se vyskytuje vesnice Dobřejovice, ležící v katastrálním území Dobřejovice u Hosína.

V Dobřejovicích žije přes 270 obyvatel. Významná stavba ve vesnici je kaplička postavena v letech 1870 a 1871 a bývalá budova školy postavena v roce 1901. Dobřejovice disponují také vodovodem a v roce 2005 byla vystavěna čistička odpadních vod (Hosín a Dobřejovice, 2021).



Obrázek 3.1: Zájmové území

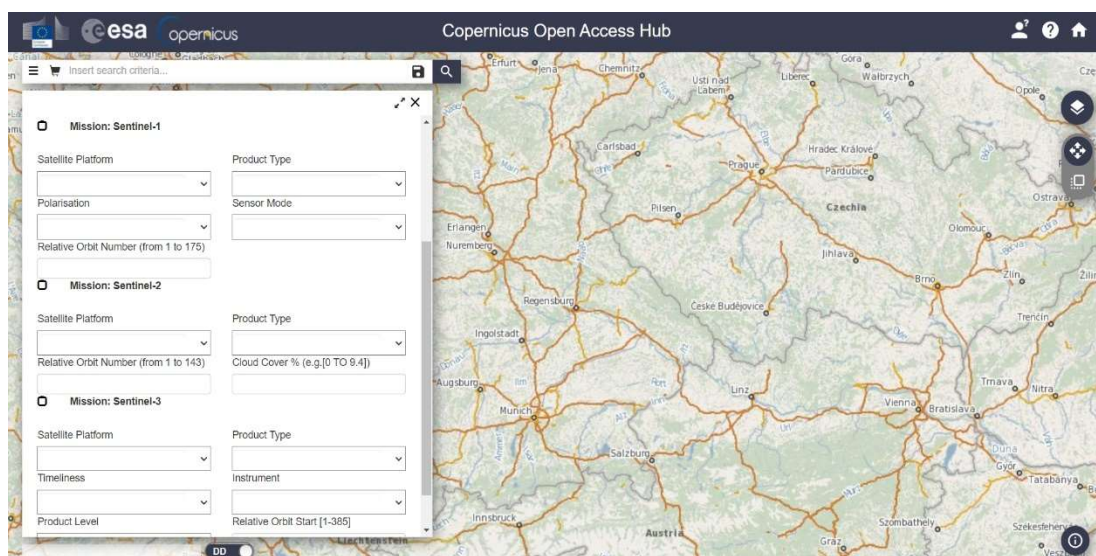
V katastrálním území Dobřejiovice u Hosína je zahájena komplexí pozemková úprava (KPÚ). Nejvíce zastoupeným krajinným pokryvem na zkoumaném území jsou lesy. Druhým nejvíce zastoupeným krajinným pokryvem je orná půda, vyskytující se převážně kolem obcí v zájmovém území. Třetí největší zastoupení

krajinného pokryvu tvoří louky. Skupinu urbanismu tvoří obec Dobřejovice a částečně i obec Chotýčany, vodní plochu zaujímá z velké části Dobřejovický potok a rybníky poblíž obce Dobřejovice. Na jihovýchodní části území je kafilerie, sloužící k odstranění odpadů živočišného původu.

Roku 2023 by se měla začít realizovat modernizace tranzitního koridoru železnice. Na území by měl být vybudován železniční tunel podél Chotýčan v délce 4,77 km. Koridor by měl dále pokračovat po dvoukolejné trati přibližně půl kilometru od obce Dobřejovice. Trať by dále měla navazovat na železniční tunel u Hosína v délce 3,12 km. Zaváděcí rychlost vlaků na koridoru je navržena na 200 km/h (Koridory, 2019).

3.3 Využitá data

Družicová data mise Sentinel-2 využívaná pro tuto práci byla získána z programu Copernicus. Přístup a stažení dat je po registraci a přihlášení do **Copernicus Open Access Hub** pro veřejnost zdarma. Sentinel-2 data byla stažena ve sledovaném období z dat satelitní platformy S2A a produktovým typem S2MSI2A. Rozmezí oblačnosti bylo nastaveno od 0 až 70 %. Na obr.č.3.2 je znázorněn webový přístup k datům Sentinel.



Obrázek 3.2: Přístup k datům Sentinel-2 (SCIHUB, n.d.)

Při psaní diplomové práce byly také využity jako podkladové vrstvy tyto zdroje:

- Základní mapa České republiky 1: 10 000 (ZM 10),
- Georeferencované ortofotografické zobrazení zemského povrchu (Ortofoto České republiky),

-
- Land Parcel Identification System (LPIS),
 - Český hydrometeorologický ústav (CHMÚ).

3.4 Využité programy a technika

ArcGIS Desktop: je program od firmy Esri obsahující aplikace ArcMap a ArcGIS Pro. Při práci byla využita bezplatná studentská verze aplikace ArcMap, zprostředkovaná Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích. ArcMap je určen pro analýzu a editaci geografických informačních systémů, umožňuje tvorbu mapových výstupů, analýzu a zpracování dat za pomoci ArcMap nadstaveb. V ArcMapu byly dělány mapové výstupy, dále jsem využil ModelBuilder pro opakující se procesy a převedl data do tabulek.

Sentinels Application Platform (SNAP): je speciální program pro práci s daty družic Sentinel. Program SNAP vyvíjí evropská kosmická agentura. SNAP obsahuje v rámci platformy balíky nástrojů pro dané družicové snímky v podobě toolboxu, jedná se o Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 a Radar-Sat. V programu se dají zpracovávat i snímky jiných družic. Největší výhodou programu SNAP je jeho přístupnost široké veřejnosti a hlavně jeho bezplatnost. Dalšími výhodami je zpracování grafů a velká klientská platforma. SNAP byl pro práci využit k převzorkování pásem, oříznutí území, klasifikaci snímků a výpočtu vegetačních indexů.

Draw.io: je webový nástroj pro tvorbu diagramů. Nástroj je bezplatný a volně přístupný. Nástroj byl využit pro tvorbu Model Builderu.

Microsoft Office: je kancelářský balík aplikací od firmy Microsoft, ze kterých jsem využil klientskou aplikaci Microsoft Word k sepsání textové a praktické části diplomové práce, dále byla využita aplikace Microsoft Excel pro vizualizaci dat do tabulek a grafů.

DJI Spark: je malý dron, který natáčí video v rozlišení 1080p a 30-ti snímcích za vteřinu. Fotky jdou pořizovat v několika režimech v rozlišení 12 Mpx. Jediný podporovaný formát fotek je ve formě JPEG. Dron byl používán v bezpečné výšce a nebyl ve větší vzdálenosti než 150 m. Při používání dronu jsem se snažil vyhnout přeletu přes elektrické vedení, železniční trať, soukromé pozemky a držel dron v bezpečné vzdálenosti od lidí a budov. Dron byl využit k terénnímu průzkumu, zejména k pozorování méně přístupných oblastí, dále byl dron využit k pořízení fotodokumentace.



Obrázek 3.3: Dron DJI Spark (vlastní)

3.5 Příprava dat Sentinel-2

V této části práce je popsáno zpracování dat Sentinel-2 od stažení snímků, úpravy snímků, postup klasifikačních metod a vegetačních indexů v programu SNAP, následné načtení dat do programu ArcMap a vyhotovení výstupů a převedení výsledku do grafů a tabulek.

3.5.1 Zpracování dat

Po registraci a přihlášení do Copernicus Open Access Hub, byly vybrány snímky obsahující zájmové území, poté byly snímky staženy z jarních a letních termínů pro roky 2017, 2018, 2019, 2020. Snímky byly staženy v souřadnicovém systému World Geodetic System 1984 (WGS84).

Dalším krokem bylo otevření dat v programu SNAP a následný výběr zkoumaného území a výběr spektrálních pásem. V programu SNAP bylo pomocí funkce **Spatial subset from view** vybráno zájmové území a spektrální pásma, která byla pro práci využita. Vybraná spektrální pásma byla B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B11, B12. Pomocí funkce byl vytvořen nový soubor s určenou oblastí a danými spektrálními pásmy.

Poté bylo nutné udělat převzorkování spektrálních pásem na stejné rozměry o velikosti 10 x 10 m. Pro tento krok byla využita funkce **Resampling**. Funkce Resampling se nachází v programu SNAP v záložce Raster v operacích Geometric. Pro Resampling byla využita metoda **Nearest neighbour**. Metoda Nearest neighbour vytvoří nový pixel na základě hodnot nejbližších sousedních pixelů (Baboo a Devi, 2010).

Dále byla využita funkce **Reprojection**. Pomocí funkce Reprojection byl soubor převeden do Evropského terestrického referenčního systému z roku 1989 s Mercatorovo válcovým zobrazením se základním poledníkem 15° (ETRS89/UTM zone 33N).

Poslední krok před samotnou klasifikací snímků bylo oříznutí zkoumaného území podle rozvodnice. Rozvodnice Dobřejovického potoka byla nahrána do programu SNAP ve formátu shapefilu. V záložce Raster se vybrala operace Masks, ve které byla využita funkce **Land/Sea Mask**. V nastavení parametrech funkce Land/Sea Mask byla vybrána možnost použít vektorová data jako masku. Datový soubor se ořízl přesně podle rozvodnice Dobřejovického potoka.

3.5.2 Klasifikace dat

Před samotnou klasifikací dat se dělal terénní průzkum. Celkem jsem se na zájmovém území vydal hned několikrát. V dubnu roku 2021 jsem zde identifikoval druhy kultur a zaznamenával je do vytisknuté slepé mapy. Další výlet na zkoumané území byl doplňující a pomocí dronu jsem identifikoval i méně přístupné oblasti. Poslední návštěva zájmového území proběhla na začátku října roku 2021, jejíž hlavním cílem bylo pořízení fotodokumentace pomocí dronu. Následně jsem si významné informace z terénních průzkumů lépe zaznamenal, aby byly využitelné pro klasifikaci dat. Důležité bylo rozeznávání holé orné půdy a orné půdy zatrávněné a kategorie louky. Lesy jsem dělil na jehličnaté, listnaté a smíšené.

Pro klasifikaci dat byl využit program SNAP. Klasifikační metody v programu jsou v záložce Raster a operacích **Classification**, dále se dělí na **řízenou a neřízenou klasifikaci dat**.

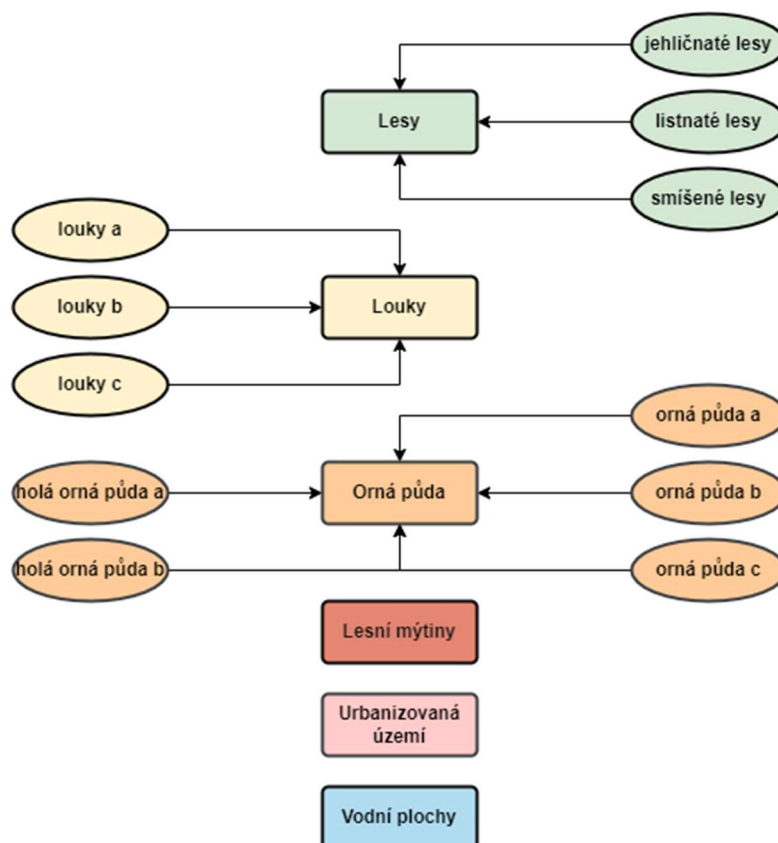
Nejprve byla vyzkoušená neřízená klasifikace **K-Means Cluster Analysis**. Neřízená klasifikace K-Means Cluster Analysis vypočítá počáteční třídy rovnoměrně rozložené v datovém prostoru. Dále iterativně seskupuje pixely do nejbližší třídy pomocí minimální vzdálenosti. Každá iterace přepočítá střední hodnotu třídy a překlasifikuje pixely s ohledem na nové střední hodnoty. Všechny pixely jsou klasifikovány na nejbližší třídu, pokud není nastaven práh vzdálenosti nebo standartní odchylka. Tento proces se opakuje, dokud není dosaženo maximálního počtu iterací (Everitt et al.,2011).

Poté jsem vyzkoušel řízené klasifikace **Random Forest Classification**, **K-Nearest Neighbour Classification** a **Maximum Likelihood Classification**. Nejlepších výsledků jsem dosahoval pomocí klasifikace Maximum Likelihood

Classification. Následující klasifikace Sentinel-2 dat jsem prováděl pouze s touto klasifikací.

Maximum Likelihood Classification, díky vypočtené pravděpodobnosti přiřazuje pixely do daných tříd. Posuzuje se rozptyl, korelace pixelů a poté je pixel zařazen do třídy s největší pravděpodobností. Kvalita výstupů je z velké části ovlivněna dobře zvolenými tréninkovými plochami. Klasifikace dosahuje dobrých výsledků na území s normálním rozdělením pixelů do jednotlivých kategorií (Ahmad a Quegan, 2012).

V programu SNAP jsem nejprve musel vytvořit vektorové kontejnery do kterých jsem mohl kreslit polygony pro dané třídy pokryvu a tím vznikly i tréninkové plochy. Třídy jsem po několika klasifikacích rozdělil do 6-ti hlavních tříd, které se následně dělily na podtřídy. S větším množstvím podtříd jsem začal dostávat přesnější výsledky klasifikace. Po dokončení klasifikace byly podtřídy sloučeny do hlavních tříd. Hlavní třídy a podtřídy jsou znázorněny na obr.č.3.4.



Obrázek 3.4: Znázornění tříd a podtříd krajinného pokryvu (vlastní zpracování)

Pro větší přesnost a čitelnost výsledků a výstupů bylo nutné některé objekty na území zařadit do jiných tříd. Jednalo se převážně o železniční trať a roztroušenou zeleň. Tyto třídy byly zanedbány z důvodu rozlišení snímků a malé velikosti území.

Pro výběr konkrétních trénovacích ploch byly využívány informace a poznámky z terénního průzkumu. První klasifikace byla dělána pro rok 2020, poté byly udělány klasifikace pro roky 2019, 2018, 2017. Důležitým pomocníkem v klasifikaci u starších snímků bylo zobrazení **RGB kompozice**. Pomocí různé kombinace kanálů jsem mohl lépe určit do jaké třídy daný objekt nebo kultura patří. Pro přirozené zobrazení barev byla použita kombinace kanálů B4-B3-B2. Pro rozeznávání orné půdy a třídy Louka byla použita kombinace kanálů B8-B4-B3. Kombinací kanálů B11-B8-B2 jsem mohl lépe určit lesní vegetaci. Pro zvýraznění třídy Urbanizované území jsem použil kombinaci kanálů B2-B2-B4. Na obr.č.3.6 a obr.č.3.7, jsou znázorněny snímky v naturálních barvách v kombinaci kanálů B4-B3-B2.

Datum pořízení snímku: 24.4.2017






Datum pořízení snímku: 6.5.2018



Legenda

RGB

-  Červená: Pásmo 4
-  Zelená: Pásmo 3
-  Modrá: Pásmo 2

0 250 500 1 000 Metrů

Toms, 2021, ETRS89 / UTM zone 33N

Obrázek 3.5: Zobrazení snímku v naturálních barvách (2017-2018)

Datum pořízení snímku: 21.4.2019






Datum pořízení snímku: 18.5.2020



Legenda

RGB

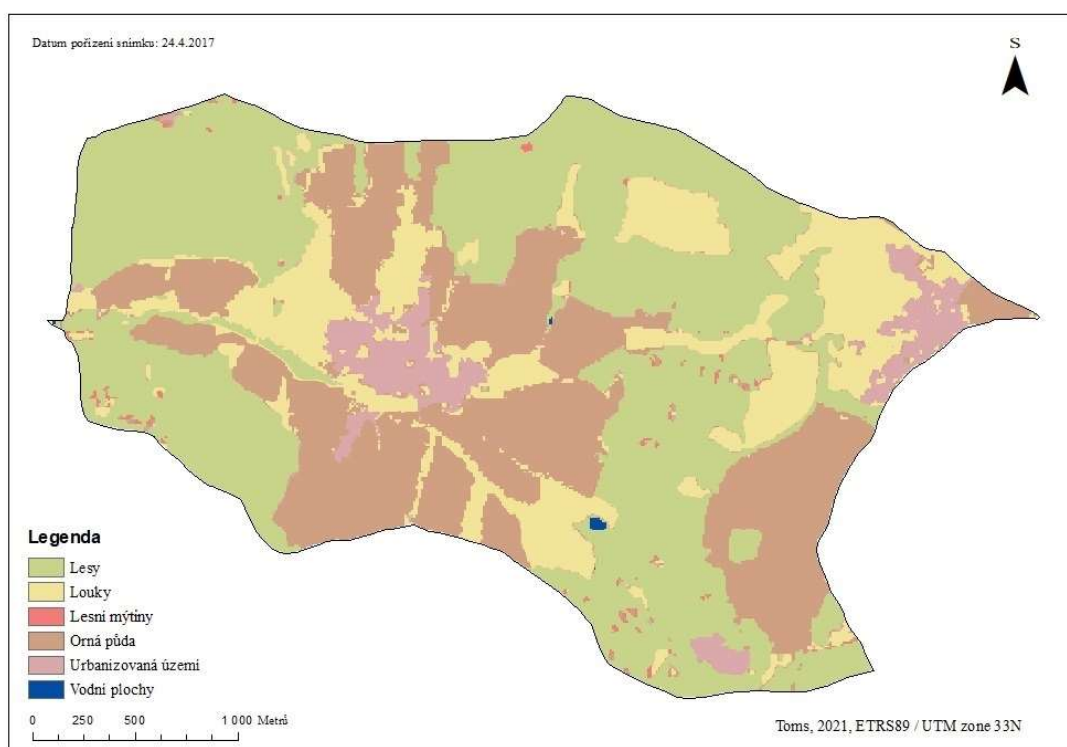
-  Červená: Pásmo 4
-  Zelená: Pásmo 3
-  Modrá: Pásmo 2

0 250 500 1 000 Metrů

Toms, 2021, ETRS89 / UTM zone 33N

Obrázek 3.6: Zobrazení snímku v naturálních barvách (2019-2020)

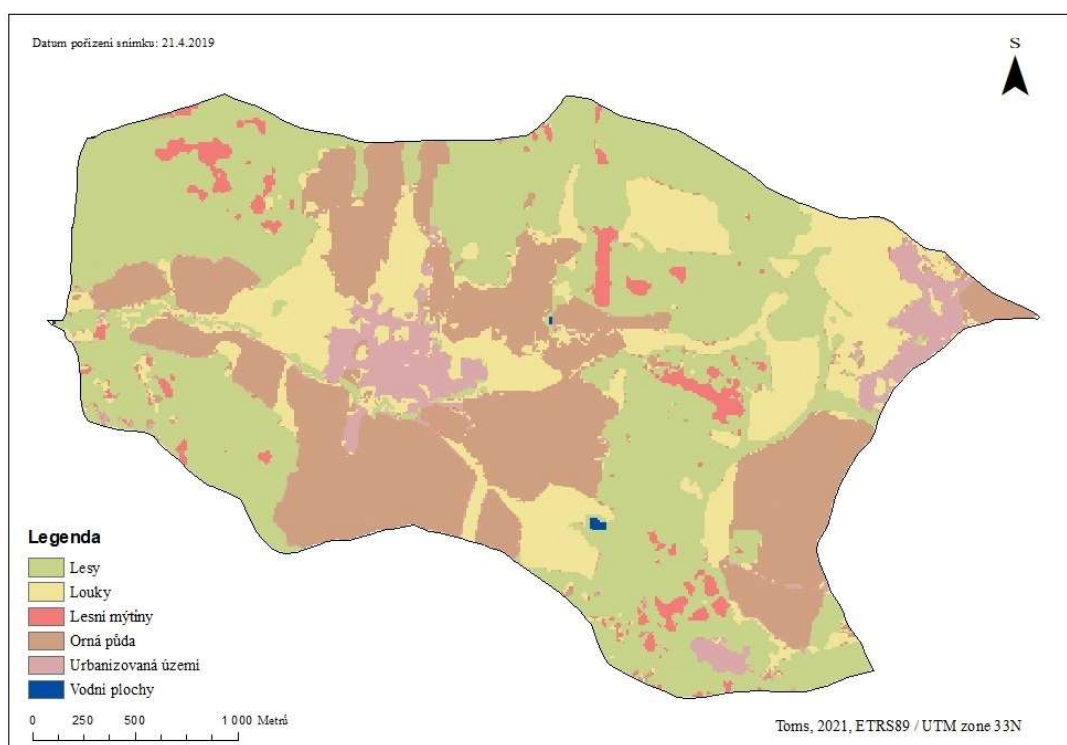
Po správném výběru tréninkových ploch a vypočtení klasifikační metody Maximum Likelihood Classification jsem použil na výsledné rastry dočišťovací filtry. V programu SNAP v záložce Rast a operacích **Filtered Band** nalezneme mnoho dočišťovacích filtrů. Mezi nejběžněji používané patří filtry **Erosion** nebo **Majority**. Ve své práci jsem využil filtr Majority, který na základě hodnot osmi sousedních pixelů, nahradí pixel s nejčastější hodnotou pixelu právě z těchto osmy pixelů. Použití Majority filtru dodala rastrovým datům lepší čitelnost a vizuální podobu. Poté byla výsledná rastrová data exportována do formátu GeoTIFF/BigTIFF, pomocí kterého se dají načíst data do programu ArcMap. Výsledky řízené klasifikace jarních termínů jsou zobrazeny na obr.č.3.7, obr.č.3.8, obr.č.3.9 a obr.č.3.10.



Obrázek 3.7: Výsledek řízené klasifikace (2017)



Obrázek 3.8: Výsledek řízené klasifikace (2018)



Obrázek 3.9: Výsledek řízené klasifikace (2019)



Obrázek 3.10: Výsledek řízené klasifikace (2020)

3.5.3 Hodnocení přesnosti klasifikace

Tato kapitola je věnována zhodnocení přesnosti klasifikace. Klasifikace se považuje za dokončenou, pokud jsou udělány všechny postklasifikační kroky a následně zhodnocení přesnosti klasifikace. Hodnocení přesnosti klasifikace je porovnání klasifikovaného obrazu s realitou. Jako podklad byla využita ortofoto mapa. Další využívané podklady jsou data globálního polohového systému (GPS) nebo komplexní data ZABAGED.

Pomocí formátu GeoTIFF/BigTIFF byla načtena rastrová data do programu ArcMap. Pro hodnocení přesnosti klasifikace jsou velmi důležité validační body, které byly vytvořeny pomocí funkce **Create Accuracy Assessment Points**. Pro rozvržení validačních bodů ve sledovaném území byl využit způsob Simple random. Tento způsob vygeneruje daný počet bodů náhodně po zadané ploše.

Po vygenerování sto validačních bodů některé třídy neměli zastoupení ani deseti validačních bodů, proto byly tyto třídy doplněny o další body. Každá třída obsahovala nejméně deset validačních bodů. Počty validačních bodů jsou znázorněny v tab.č.3.1.

Tabulka 3.1: Počet validačních bodů (vlastní zpracování)

Třída pokryvu	Počet bodů
Lesy	35
Louky	23
Lesní mýtiny	10
Orná půda	29
Urbanizovaná území	11
Vodní plochy	10
Celkem	118

Znázornění vygenerovaných validačních bodů pomocí funkce Create Accuracy Assessment Points je znázorněno na obr.č.3.11.



Obrázek 3.11: Rozložení validačních bodů

Poté se pro validační body vypočítala chybová matice. Výsledkem chybové matice byly hodnoty validačních bodů, pro které se vypočetl Kappa koeficient, uživatelská,

zpracovatelská a celková přesnost. Výsledné hodnoty validačních bodů jsou znázorněny v tab.č.3.2.

Tabulka 3.2: Výsledné hodnoty validačních bodů (vlastní zpracování)

Třídy pokryvu	Zpracovatelská přesnost	Uživatelská přesnost
Lesy	0,914	0,914
Louky	0,875	0,913
Lesní mýtiny	0,909	1,000
Orná půda	0,966	0,966
Urbanizovaná území	1,000	0,909
Vodní plochy	1,000	0,900
Kappa koeficient		0,914
Celková přesnost		0,932

Kappa koeficient porovnává přesnost provedené klasifikace s přesností, které se dosáhlo náhodným zařazením pixelů do daných tříd. Kappa koeficient nabývá hodnot od nuly do jedné, čím je hodnota koeficient vyšší, dá se klasifikace považovat za přesnější (Olofsson et al., 2013).

Uživatelská přesnost představuje pravděpodobnostní zařazení pixelu do dané třídy, kterou daný pixel reprezentuje. **Zpracovatelská přesnost** je poměr správně klasifikovaných pixelů a pixelů využitých pro testování zvolené třídy. Uživatelská a zpracovatelská přesnost je vždy počítána pro každou třídu samostatně (Lillesand et al., 2008).

Celková přesnost je počítána jako celkový počet správně klasifikovaných pixelů k celkovému počtu klasifikovaných pixelů (Campbell a Wynne, 2011).

3.5.4 Použité vegetační indexy

Kvalitní informace o půdní vlhkosti se dají získat z několika svrchních milimetrů půdního profilu, proto jsou metody založené na spektrální odrazivosti nedostatečné. Půdní vlhkost a spektrální projev vegetace jsou spolu v přímém vztahu, proto je vhodné využití spektrálních vegetačních indexů pro získávání informací o vlhkostních charakteristikách (Qiu et al., 2006). Dle Dobrovolného (1998) jsou indexy děleny na poměrové a ortogonální. Poměrové indexy se udávají v poměru

odrazivosti povrchů, a to ve viditelné červené části a blízké infračervené části spektra. Ortogonální indexy se počítají na lineární kombinaci pásem multispektrálního snímku.

Wang a Qu (2007) uvádí nejpoužívanější vegetační indexy pro získávání informací o vlhkosti, kterými jsou **Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**, **Triangular Chlorophyll Index (TCI)**, **Vegetation Condition Index (VCI)**, **Normalized Difference Moisture Index (NDMI)**.

Pro zjišťování půdní vlhkosti a sledování dalších změn, existuje celá řada indexů. V práci byly použity vegetační indexy NDVI a NDMI. Tyto indexy jsou v podstatě založeny na obdobném principu. Výsledné hodnoty vykazují korelaci mezi množstvím vody obsažené v listech vegetace a půdní vlhkostí.

NDVI je využíván převážně pro hodnocení stavu vegetace, nepřímo jej lze využít i pro hodnocení vlhkosti. Chlorofyl silně absorbuje elektromagnetické záření v pásmu RED, díky morfologické struktuře listu je záření v near infrared (NIR) pásmu odraženo. Hodnota indexu NDVI se pohybuje od -1 do 1. Zdravá vegetace vykazuje vyšší půdní vlhkost a dosahuje vysokých kladných hodnot, kamenitá a holá půda hodnot blízko nule, vodní plochy a sníh se pohybují v záporných hodnotách (Singh et al., 2003; Jain et al., 2009). Index NDVI se počítá dle následujícího vzorce (1) (Tucker, 1979):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} = \frac{Pásmo\ 8 - Pásmo\ 4}{Pásmo\ 8 + Pásmo\ 4} \quad (1)$$

NDMI se nejčastěji využívá pro monitoring půdní a vegetační vlhkosti. Index NDMI je velice přesný a jdou s ním zaznamenat i malé rozdíly vlhkosti. Je využitelný v zemědělství k zjišťování vodního stresu vegetace a sucha. Odrazivost short-wave infrared (SWIR) negativně souvisí s obsahem vody v listech. Index nabývá hodnot od -1 do 1. Vyšší hodnoty znamenají větší obsah vody v rostlinách (Wang a Qu, 2007). Index NDMI se počítá dle vzorce (2) (Gao, 1996):

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} = \frac{Pásmo\ 8 - Pásmo\ 11}{Pásmo\ 8 + Pásmo\ 11}$$

(2)

Index NDMI bývá často zaměňován s indexem NDWI (Normalized Difference Water Index). Pomocí pásem NIR a GREEN je vhodný pro monitoring změn obsahu vody ve vodních plochách. Index NDWI se počítá dle (3) (McFeeters, 1996):

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} = \frac{Pásmo\ 3 - Pásmo\ 8}{Pásmo\ 3 + Pásmo\ 8}$$

(3)

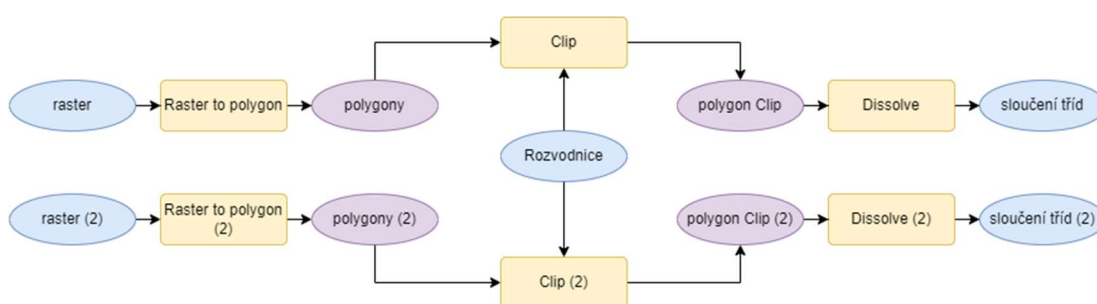
3.5.5 Výpočet vegetačních indexů

Vegetační indexy byly vypočítány v programu SNAP, pomocí nástroje **Band Maths**, který je v záložce Raster. Pomocí funkce Edit Expression byla zadána rovnice indexu tvořená ze spektrálních pásem. Dále byla rovnice uložena do textové podoby a pro další užití stačila do programu jen nahrát. Nejprve byly vypočítány vegetační indexy pro celé sledované území. Poté byl vytvořen vektorový kontejner, do kterého byly pomocí vektoru vyznačeny plochy pro jehličnaté lesy, listnaté lesy, smíšené lesy, louky a roztroušenou vegetaci. Tyto plochy jsem nazval jako tzv. reprezentativní plochy. Plochy byly určeny pomocí terénního průzkumu a porovnáním satelitních snímků. V terénu byly vybrány větší plochy daného krajinného pokryvu, tak aby vybraná plocha obsahovala pouze sledovaný krajinný pokryv. Pomocí dřívějších satelitních snímků jsem dokázal ověřit, zda každá reprezentativní plocha znázorňuje vybraný krajinný pokryv ve všech sledovaných termínech. Do výsledků byly zahrnuty pouze průměrné hodnoty reprezentativních ploch. V záložce Analysis pomocí nástroje **Statistics** byly vypočteny hodnoty pro vybrané plochy. Poté byly hodnoty exportovány do formátu Comma-Separated Values (CSV) a otevřeny v textovém souboru a následně zpracovány v programu Microsoft Excel. Pro vyhotovení výstupů vegetačních indexů byla rastrová data exportována do formátu GeoTIFF/BigTIFF, a zpracována v programu ArcMap. Výpočty vegetačních indexů byly provedeny pro každý sledovaný rok. Vzorce použitých indexů společně se stručným využitím indexů jsou popsány v kapitole 3.5.4 Použité vegetační indexy.

3.5.6 Vyhotovení výstupů a převedení dat do tabulek

V programu ArcMap byly data nejprve upraveny do finálních výstupů a následně převedeny do tabulek. Načtená rastrová data výsledných klasifikací a vegetačních indexů byly vhodně umístěny na grafické rozvržení stránky. Dále byla grafická část opatřena severkou, měřítkem, legendou a popisem informací (autorem, souřadnicovým systémem, podkladovou mapou). Poté už stačilo výstupy jen vyexportovat ve formátu JPEG.

Pro převedení rastrových dat do tabulek byl využit nástroj **ModelBuilder**, který byl využit k tvorbě funkčního modelu. Tvorba modelu umožňuje zautomatizovat opakující se úlohy, které jsou složeny z několika po sobě jdoucích úkonů.



Obrázek 3.12: ModelBuilder (vlastní zpracování)

Nejprve byly rastrová data převedena do vektorů pomocí nástroje Raster to Polygon. Dále museli být odstraněny některé nově vzniklé polygony, které zasahovaly mimo sledované území. K odstranění polygonů byl použit nástroj Clip. Pomocí nástroje Dissolve jsem sloučil polygony do stejných tříd. Poté byl využit nástroj Intersect a Calculate Field, pomocí kterých jsem získal informace o změně jednotlivých tříd, které se změnily na jiné třídy. Poté byla vypočtena plocha na nově vzniklých polygonech překryvu. V posledním kroku byla data zpracovávána v programu Microsoft Excel.

4 Výsledky a diskuse

4.1 Výsledky tříd krajinného pokryvu

V této kapitole jsou popsány výsledky pro každou třídu krajinného pokryvu mezi lety 2017-2020. Výsledky vycházejí z velké části z výstupů s porovnáním z terénního průzkumu.

4.1.1 Třída krajinného pokryvu Lesy

V povodí Dobřejovického potoka jsou lesy nejvíce zastoupenou třídou. Velké lesní komplexy se vyskytují ve velké míře po celém sledovaném území. Na celém sledovaném území docházelo postupně k úbytku třídy Lesy. Úbytek třídy Lesy je znázorněn pro jednotlivé roky v hektarech na následujícím obrázku.



Obrázek 4.1: Zastoupení třídy Lesy (vlastní zpracování)

Na úbytku lesního pokryvu měla největší podíl třída Lesní mýtiny. V roce 2018 značně narostlo kácení v lesních komplexech na sledovaném území. Kácení se značně promítlo i do změn mezi lety 2018-2019 (21,77 ha) a 2019-2020 (23,37 ha). Úbytek lesů, byl způsoben lýkožroutem smrkovým a menším, který se v této oblasti typicky vyskytuje. Kůrovcem napadené části lesa byly z velké části dospělé stromy, ale taky plochy s křovinou vegetací. Jako další se lesy proměnily z části na třídu Louky. Tuto změnu přisuzují výsledkům klasifikace a následnému vyhlazení rastru. Problematické plochy roztroušené vegetace, které byly zahrnuty do třídy Lesy se z části přeměnily na louky, jako hlavní důvod tomu přisuzují špatně zvolené vybrané tréninkové plochy v klasifikaci. Dle výsledků klasifikace se lesní porov

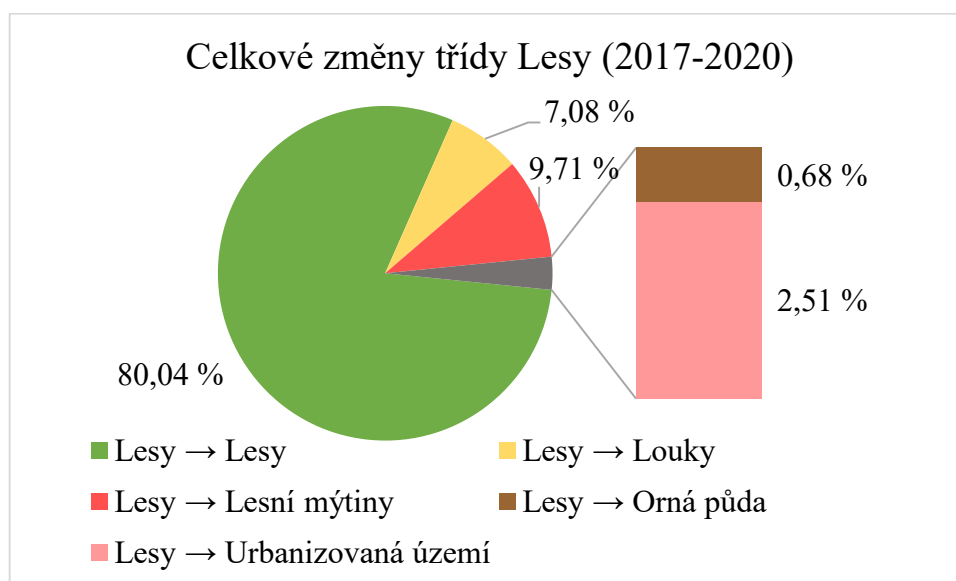
zmenšil o více než 25 hektarů své původní rozlohy v období mezi lety 2017-2020. Změny třídy Lesy v hektarech jsou znázorněny v tab.č.4.1.

Tabulka 4.1: Zastoupení změny třídy Lesy (vlastní zpracování)

Pokryv → změna pokryvu	Změna pokryvu v daných letech [ha]		
	ha se týkají předchozího termínu		
	2017 → 2018	2018 → 2019	2019 → 2020
Lesy → Lesy	342,99	332,27	315,68
Lesy → Louky	17,88	16,54	26,38
Lesy → Lesní mýtiny	17,79	21,77	22,37
Lesy → Orná půda	4,35	12,87	2,86
Lesy → Urbanizovaná území	0,97	1,94	2,43
Lesy → Vodní plochy	0,05	0,02	0,08

Změny úbytku lesa mohli být způsobeny suchem v roce 2015, kdy byly teploty nadstandartní a prohlubovalo se tak hydrologické, meteorologické a zemědělské sucho. Změny se začaly projevovat v následujících letech. Haeussler et al. (1995) popisují dopady sucha jako hydrometeorologické extrémy, které se projevují se zpožděním. V názoru se shodují s Daňhelka et al. (2016), že meteorologické důsledky sucha se projevují nedostatkem srážek s vysokou teplotou a výparem, který se první projeví ve vlhkosti půdy. Domnívám se, že sucho v roce 2015 způsobilo nálet lýkožrouta smrkového a malého na zkoumané území a zvýšilo tak jeho výskyt v území. Dle Rouaulta et al. (2006) se po dlouhodobých teplotách a suchu projevuje snížení odolnosti lesů, převážně u smrku. Obdobní názor projevil Knížek (2016), který popisuje období po suchu jako extrémně stresové situace pro vegetaci a vysoký výskyt kůrovce, lýkožrouta smrkového, lesklého a malého. Mrkva (2000) považuje chřadnutí lesa za komplexní nemoc jednotlivých stromů nebo celých lesních komplexů. Chřadnutí je nejvíce obvyklé pro smrky. Každá vlna chřadnutí je nejčastěji způsobena obdobím sucha nebo po dlouhodobých nízkých teplotách. Domnívám se, že chřadnutí lesa ve zkoumaném období mohlo být také způsobeno z malé části dřevokaznými houbami, nejčastěji václavkou smrkovou, která v tomto území hojně roste.

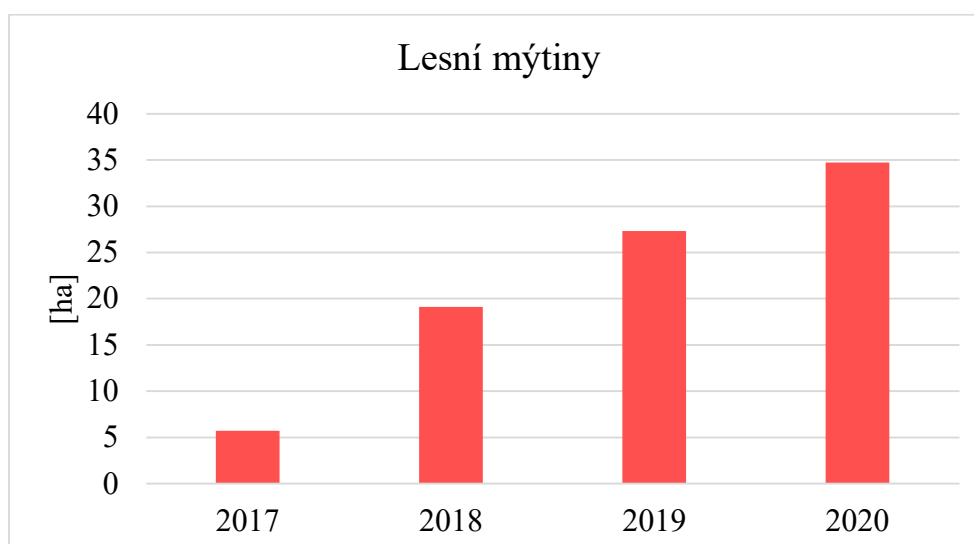
Celkové změny třídy Lesy na jiné třídy za celé sledované období v procentech jsou znázorněny na obr.č.4.2.



Obrázek 4.2: Celkové změny třídy Lesy (vlastní zpracování)

4.1.2 Třída krajinného pokryvu Lesní mýtiny

Na povodí Dobřejovického potoka mezi lety 2017-2020 třída Lesní mýtiny každý rok výrazně narůstala. Hlavním důvodem vzniku lesních mýtín byla těžba lesních komplexů napadených kůrovce a chřadnutím lesů. Nárůst lesních mýtín v roce 2020 byl vyšší než třicet hektarů. Výskyt lesní mýtiny v jednotlivých rocích je znázorněn na obr.č.4.3.



Obrázek 4.3: Zastoupení třídy Lesní mýtiny (vlastní zpracování)

Velký nárůst vzniku lesních mýtín byl zaznamenán mezi lety 2017-2018 a 2018-2019. Jako problémové se ukázaly paseky v lesních komplexech, zahrnuté do třídy

Louky. Nárůst této třídy přisuzují prostorovému rozlišení družicových snímků. Steinhausen et al. (2018) se ve studii zabývali použitím kombinace snímků satelitních a optických. Tato kombinace mu pomohla zpřesnit klasifikaci a dosáhnout lepších výsledků. Změny třídy Lesní mýtiny v hektarech jsou znázorněny v tab.č.4.2.

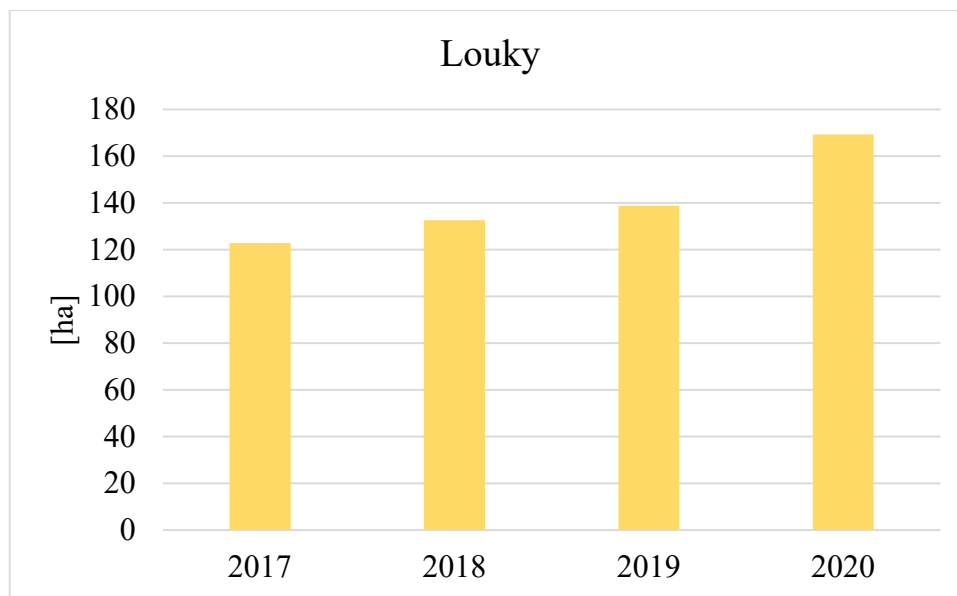
Tabulka 4.2: Zastoupení změny třídy Lesní mýtiny (vlastní zpracování)

Pokryv → změna pokryvu	Změna pokryvu v daných letech [ha]		
	ha se týkají předchozího termínu		
	2017 → 2018	2018 → 2019	2019 → 2020
Lesní mýtiny → Lesy	3,28	17,64	4,71
Lesní mýtiny → Louky	0,89	1,59	4,70
Lesní mýtiny → Lesní mýtiny	0,69	2,17	15,50
Lesní mýtiny → Orná půda	0,64	1,62	0,56
Lesní mýtiny → Urbanizovaná území	0,22	2,05	1,82

Satelitní snímky stažené v první polovině května dosahují výrazně vyššího olistnění vegetace, jak uvádějí Persson et al. (2018). Pokud by v práci byly využity satelitní snímky pouze z první poloviny května, domnívám se o dosažení lepších výsledků klasifikace. Výsadby nových stromů majiteli lesů, přispívají k jejich obnově a znovuzalesnění. Vysazené stromky je možná pozorovat na pořízené fotodokumentaci z roku 2021, která je přiložena do příloh této práce. Výsledky třídy Lesy a Lesní mýtiny považuji za dále využitelné.

4.1.3 Třída krajinného pokryvu Louky

Na sledovaném území jsou louky třetí nejrozšířenější třídou. Nejčastější výskyt třídy Louky je v blízkosti obce Dobřejovice a Chotýčany. V roce 2017 se rozloha třídy Louky pohybovala okolo 120 hektarů. V roce 2020 se rozloha luk pohybovala přes 160 hektarů. Nárůst luk v jednotlivých rocích je znázorněn na obr.č.4.4.



Obrázek 4.4: Zastoupení třídy Louky (vlastní zpracování)

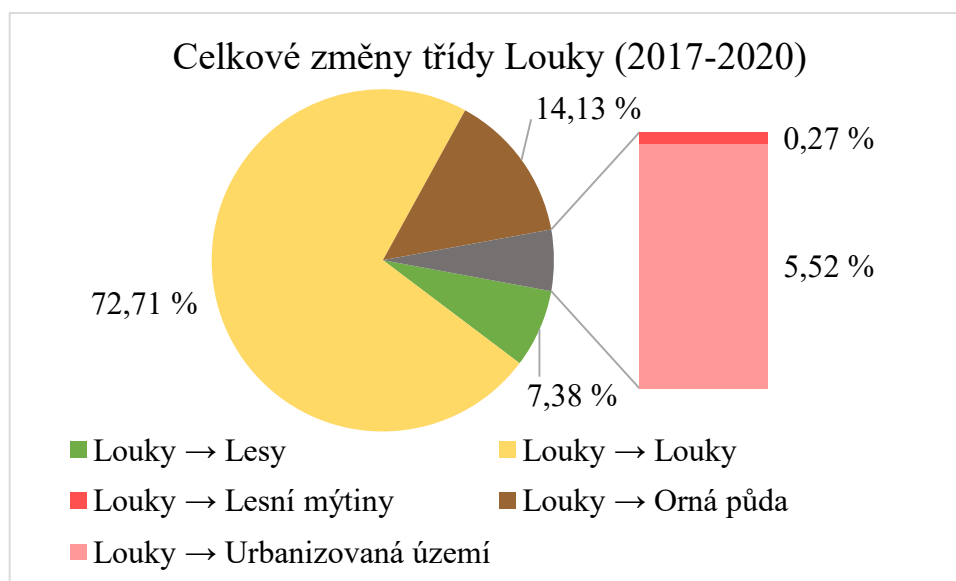
Změny třídy Louky je možné pozorovat v roce 2018-2019 (23,33 ha) a 2019-2020 (16,34 ha) na třídu Lesy. Tuto změnu přisuzují malým nepřesnostem v klasifikaci, špatným zařazením některých pixelů do ploch pasek, klasifikovanou jako třídu Louky. Ve sledovaném období 2017-2018 se louky přeměnily o 16,88 hektarů na ornou půdu tento nárůst pokračoval i v dalších letech. V případě těchto ploch šlo o ornou půdu pokrytou trvalým travním porostem. Změny třídy Louky na jiné třídy, uváděné v hektarech, jsou zobrazeny v tab.č.4.3.

Tabulka 4.3: Zastoupení změny třídy Louky (vlastní zpracování)

Pokryv → změna pokryvu	Změna pokryvu v daných letech [ha]		
	ha se týkají předchozího termínu		
	2017 → 2018	2018 → 2019	2019 → 2020
Louky → Lesy	4,35	23,33	16,34
Louky → Louky	99,02	110,61	102,13
Louky → Lesní mýtiny	0,59	2,01	1,10
Louky → Orná půda	16,88	30,72	14,09
Louky → Urbanizovaná území	2,01	5,13	5,08

Celkové změny třídy Louky, uváděné v procentech, za celé sledované období znázorňují změnu luk na ornou půdu o 14,13 %. Tuto změnu jsem podle rastrových

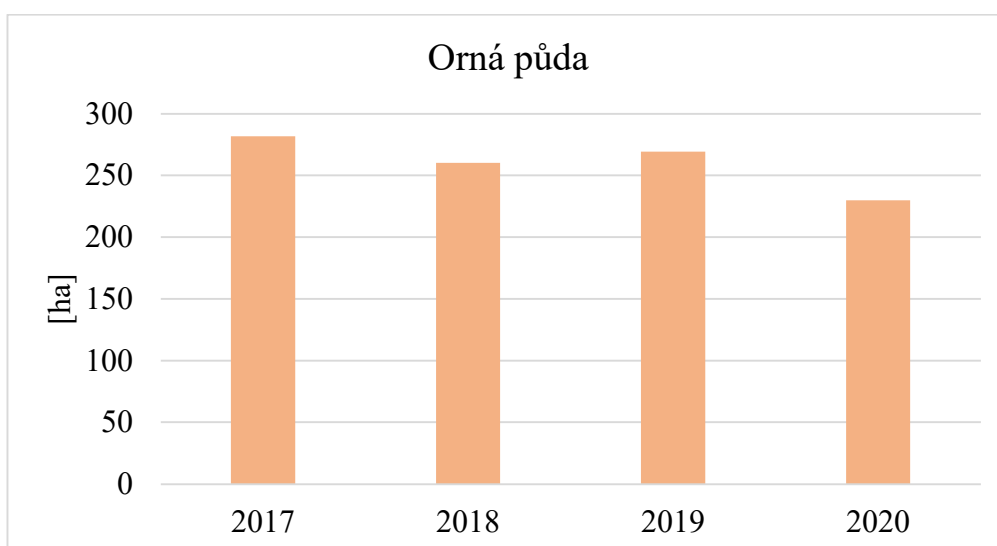
výstupů neočekával, po vyhodnocení dat to pro mě byl překvapivý výsledek. Výsledky třídy Louky bych považoval za dále využitelné. Celkové procentuální změny za období 2017-2020 třídy Louky jsou znázorněny na obr.č.4.5.



Obrázek 4.5: Celkové změny třídy Louky (vlastní zpracování)

4.1.4 Třída krajinného pokryvu Orná půda

Orná půda je třída s druhým největším plošným zastoupením ve sledovaném období. Výrazný úbytek orné půdy je možné pozorovat v roce 2020. Za celkové sledované období orná půda ubyla přibližně o padesát hektarů. Úbytek orné půdy v hektarech je zobrazen na obr.č.4.6.



Obrázek 4.6: Zastoupení třídy Orná půda (vlastní zpracování)

Třída Orná půda se z malé části změnila na lesy a urbanizované území. Urbanizované území bylo velmi problémové z hlediska klasifikace. Holá půda

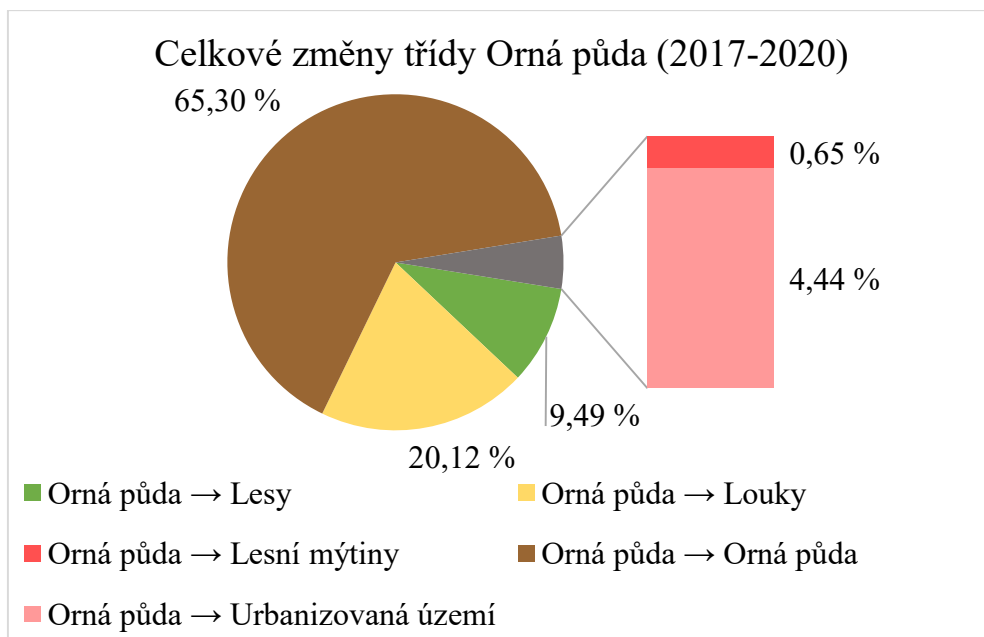
vykazovala vlastnosti jako zastavěné území. Pomocí rozdělení holé půdy na více tréninkových ploch jsem dosáhl lepších výsledků. Část orné půdy ve výstupech z roku 2018 a 2019 se mi nepodařilo oddělit. Tricht et al. (2018) poukázali na problémovost nižší přesnost klasifikace u třídy urbanismu. Změny třídy Orná půda v hektarech jsou znázorněny v tab.4.4.

Tabulka 4.4: Zastoupení změny třídy Orná půda (vlastní zpracování)

Pokryv → změna pokryvu	Změna pokryvu v daných letech [ha]		
	ha se týkají předchozího termínu		
	2017 → 2018	2018 → 2019	2019 → 2020
Orná půda → Lesy	11,76	4,88	20,36
Orná půda → Louky	24,48	14,46	42,59
Orná půda → Lesní mýtiny	4,11	1,00	1,11
Orná půda → Orná půda	211,21	193,98	193,23
Orná půda → Urbanizovaná území	12,09	13,27	9,91

Orná půda se z velké části přeměnila na třídu Louky. K největší změně orné půdy na třídu Louky došlo v letech 2019-2020 (42,59 ha). Orná půda byla v období 2019-2020 zatravněna. Jedná se o plochy západním směrem od obce Dobřejovice. Do klasifikace jsem tuto změnu zařadil do třídy Louky, protože se jedná o ornou půdu zatravněnou trvalým travním porostem. Změna třídy byla ověřena pomocí terénního průzkumu a následně ověřena na portálu LPIS.

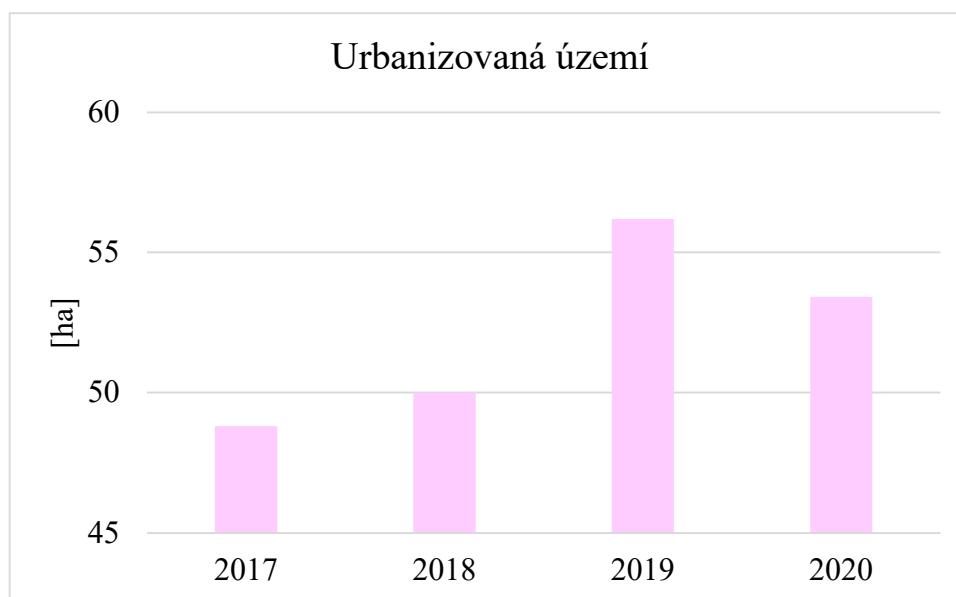
Orná půda se za celé sledované období 2017-2020 změnila o více než 30 % své původní rozlohy. Velkou část změny tvořila třída Louky, přibližně 20 %. Orná půda se dále změnila z 9,49 % na lesy. Celkovou procentuální změnu třídy Orná půda je možné pozorovat na obr.č.4.7. Výsledná data pro ornou půdu byly ovlivněny ne příliš uspokojivou klasifikací zástavby, která vykazovala obdobné hodnoty jako orná půda. Přesto považuji výsledky orné půdy za dobré a dále využitelné.



Obrázek 4.7: Celkové změny třídy Orná půda (vlastní zpracování)

4.1.5 Třída krajinného pokryvu Urbanizovaná území

Největší zastavěné části představující třídu Urbanizovaná území jsou obce Dobřejovice a Chotýčany. Obec Chotýčany se vyskytuje z velké části na sledovaném území. Další objekt vyskytující se na jihovýchodě zkoumaného povodí je kafilerie. Problémovost této třídy byla rozebírána v kapitole 4.1.4 Třída krajinného pokryvu Orná půda. Třída Urbanizovaná území dosahují odlišných hodnot. Výsledné hodnoty v hektarech je možné vidět na obr.č.4.8.

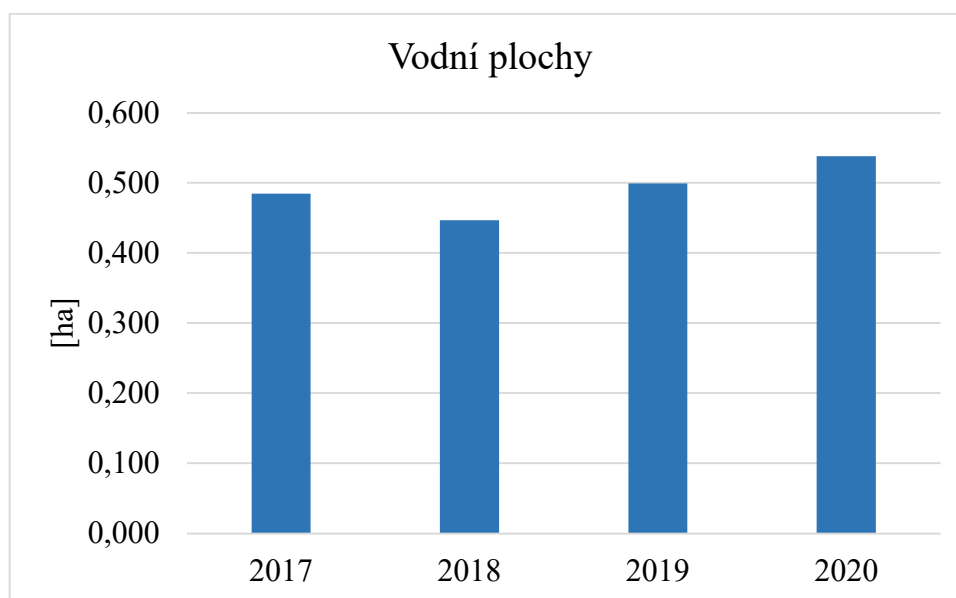


Obrázek 4.8: Zastoupení třídy Urbanizovaná území (vlastní zpracování)

Podle porovnání terénního průzkumu a dřívějších mapových podkladů by zastavěná plocha v daném území měla vykazovat jen minimální rozdíly. Výsledné hodnoty zpracovaných dat vykazují vysoké rozdíly v rozloze a procentuálních změnách. Dle výsledků klasifikace se třída Urbanizovaná území částečně změnila na třídy Orná půda, Lesy a Louky. Výsledné hodnoty třídy Urbanizovaná území nepovažují za využitelné. Důvodem je nedostatečná velikost zkoumaného území a prostorového rozlišení snímku.

4.1.6 Třída krajinného pokryvu Vodní plochy

Třída Vodní plochy je nejméně zastoupenou třídou ve sledovaném období. Na výsledných rastroch klasifikace je možné vidět dva malé rybníky a malou část ústí Dobřejovického potoka do Vltavy. Hodnoty získaných výsledků pro vodní plochy odpovídají přibližným hodnotám 0,5 hektaru za každý sledovaný rok. Zastoupení třídy Vodní plochy je zobrazeno na obr.č.4.9.



Obrázek 4.9: Zastoupení třídy Vodní plochy (vlastní zpracování)

Z hlediska klasifikace můžeme považovat výsledné hodnoty vodních ploch za velmi dobré. Vodní plochy nebyly ovlivněny žádnou jinou třídou a celkové zastoupení třídy za jednotlivé roky ukazuje obdobné hodnoty. Z důvodu omezení prostorovým rozlišením satelitního snímku nebyl Dobřejovický potok a ostatní drobné vodní plochy vykresleny. Pro zlepšení a větší přesnost výsledku, bych doporučoval zvolit jiné zájmové území, na kterém by se vyskytovaly vodní plochy, které by v tomto rozlišení satelitní snímky umožňovaly vykreslit do rastru. Z hlediska krajinného

plánování výsledky třídy Vodní plochy považuji za nedostatečné. Důvodem je malé území, málo vodních ploch v území a prostorové rozlišení satelitních snímků.

4.1.7 Shrnutí výsledků krajinného pokryvu

Na povodí Dobřejovického potoka v období 2017-2020 došlo k výrazným změnám. Část lesů se přeměnila na lesní mýtiny v období 2018-2020. Rozloha lesního pokryvu se ve sledovaném období zmenšila o více než 25 hektarů. Vznik lesních mýtin se vyšplhal až na 9,71 % z počáteční rozlohy lesa. Dle Perssona et al. (2018) satelitní snímky z první poloviny května, zaznamenávají lepší olistnění vegetace. Práce pouze se snímky v květnových termínech by měla zlepšit přesnost klasifikace lesů.

Louky se v období 2017-2020 přeměnily na ornou půdu o 14,13 % a o 7,38 % na lesy. Domnívám se, že došlo k malým nepřesnostem u výběru špatně zvolených tréninkových ploch v klasifikaci.

Orná půda se za období 2017-2020 změnila o více než 30 % své původní rozlohy. Nejvíce se orná půda změnila na louky a to v obdobích 2018-2019 a 2019-2020, v těchto obdobích se jednalo o plochy, které byly trvale zatravněny. Ve sledovaném období se orná půda přeměnila na louky o více než 20 %.

Urbanizovaná území se ukázala jako problémová. Zastavěná plocha v takto krátkých sledovaných termínech by měla vykazovat jen minimální rozdíly rozloh. Přesto se rozlohy výrazně liší. Tricht et al. (2018) poukázali na nižší přesnost klasifikace u třídy urbanismus. Výsledky zastavěné plochy považuji za velmi nepřesnou.

Vodní plochy jsou ve sledovaném území málo zastoupeny. Dobřejovický potok a další drobné vodní plochy se v tomto rozlišení satelitních snímků nepodařilo do rastru vykreslit. Na takto malém území považuji výsledky vodních ploch za uspokojivé, ale pro krajinné plánování nevyužitelné.

Výsledná data krajinného pokryvu mohou být dle mého názoru využitelná jako podkladové zdroje pro **obligatorní formy krajinného plánování**. Data by mohla být využita pro stanovení zásad a komplexní řešení využitelnosti území v **územním plánování**. Výsledky třídy Lesy a Lesních mýtin by mohly být využity jako podkladová data pro určení cílů a hospodaření v lesích v **lesním hospodářském plánu**. Data změn krajinného pokryvu mohou být dále využitelná pro **územní systém ekologické stability**. Souhrnná výsledná data mohou být využita pro úpravu ploch a pro splnění původních krajinných funkcí ve formě **rekultivací**. Výsledná

data o lesích a půdě mohou být dále využitelná v **plánu péče o zvláště chráněná území**. Zjištěné výsledky mohou být užitečné i pro **fakultativní formy krajinného plánování**, jako podklady pro zakládání nových biotopů a návrat rozptýlené zeleně do krajiny. Následně by mohla zjištěná data být využita pro **hospodářský plán zemědělského podniku**.

4.2 Výsledky vegetačních indexů

V této kapitole jsou shrnuty výsledné hodnoty vegetačních indexů. Indexy byly vypočítány pro celé sledované území a reprezentativní plochy v daných termínech. V kapitole jsou porovnány výsledky indexů NDVI a NDMI v jarních a letních termínech. Výsledné hodnoty indexů krajinného pokryvu byly vypočítány pro stejné reprezentativní plochy v jarních a letních termínech. Pro lepší přehlednost jsou reprezentativní plochy označeny písmeny A, B, C atd. Výběr a vytvoření reprezentativních ploch je blíže popsáno v kapitole 3.5.5 Výpočet vegetačních indexů. Ještě před samotným porovnáním výsledných hodnot indexů jsem vyhledal data denního úhrnu srážek naměřených na stanicích ve správě CHMÚ. Výsledné hodnoty indexů mohou být srážkami ovlivněny a vykazovat zvýšené hodnoty. Použitá data o úhrnu srážek byla převzata ze stanice Hluboká nad Vltavou. Data o úhrnu srážek poukazovala na suché týdny před zkoumanými termíny.

4.2.1 Výsledné hodnoty indexu NDVI

Průměrné hodnoty NDVI se v daných termínech pohybovaly v rozmezí 0,6 až 0,7. Výsledné hodnoty mohou poukazovat na středně vysokou hustotu vegetace. Z hlediska vlhkosti se jedná o dobrý zdravotní stav vegetace, tedy i o středně vysoký obsah vody ve vegetaci. Menší úpadek vlhkosti můžeme pozorovat v letních termínech, kdy není vertikální kryt korun vegetace tak hustý. V průměrných hodnotách pro celé území jsou zahrnuty vodní plochy, urbanizovaná území a holá orná půda, které nabývají zpravidla nižších hodnot. Hodnoty NDVI pro dané snímky jsou znázorněny v tab.č.4.5.

Tabulka 4.5: Celkové výsledné hodnoty NDVI (vlastní zpracování)

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
24.04.2017	0,696	0,951	-0,070
06.05.2018	0,703	0,951	-0,070
21.04.2019	0,706	0,941	-0,140
18.05.2020	0,595	0,926	-0,034
02.08.2017	0,573	0,846	-0,117
04.08.2018	0,678	0,933	-0,288
23.07.2019	0,661	0,937	-0,154
13.08.2020	0,712	0,936	-0,142

Průměrné hodnoty indexu NDVI jehličnatého lesa se převážně pohybují od 0,6 až do 0,8. Tyto hodnoty poukazují na střední až vysoký zdravotní stav vegetace. Jehličnatý les A z termínu 6.5.2018 vykazuje hodnotu 0,342, která značí nízkou hustotu vegetace a snížený obsah vody ve vegetaci. Nižší hodnoty byly zaznamenány i u jehličnatého lesa C a D v termínu 23.7.2019. Hodnoty se pohybovaly kolem 0,5, a naznačovaly středně nízký krajinný pokryv. Obdobné hodnoty byly zjištěny i pro jehličnatý les C a D v termínu 18.5.2020. Výsledné hodnoty jehličnatých lesů jsou zobrazeny v tab.č.4.6.

Tabulka 4.6: NDVI hodnoty jehličnatých lesů (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Jehličnatý les A	0,593	0,342	0,847	0,633
Jehličnatý les B	0,809	0,808	0,790	0,757
Jehličnatý les C	0,833	0,841	0,791	0,505
Jehličnatý les D	0,834	0,758	0,803	0,481
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Jehličnatý les A	0,675	0,795	0,791	0,808
Jehličnatý les B	0,623	0,780	0,789	0,804
Jehličnatý les C	0,614	0,777	0,521	0,580
Jehličnatý les D	0,623	0,782	0,458	0,591

Převážná část průměrných hodnot smíšených lesů se pohybovala kolem hodnot 0,7 a 0,8. Hodnoty poukazovaly na vysoký zdravotní stav vegetace. Hodnoty z termínu 18.5.2020 smíšeného lesa A, B a C poukazují na střední zdravotní stav vegetace. Domnívám se, že za toto snížení zdravotního stavu z velké části může nulový úhrn srážek. Výsledné hodnoty smíšených lesů znázorňuje tab.č.4.7.

Tabulka 4.7: NDVI hodnoty smíšených lesů (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Smíšený les A	0,630	0,709	0,889	0,623
Smíšený les B	0,791	0,792	0,850	0,520
Smíšený les C	0,733	0,706	0,733	0,614
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Smíšený les A	0,744	0,850	0,868	0,888
Smíšený les B	0,694	0,830	0,673	0,712
Smíšený les C	0,608	0,736	0,734	0,792

Hodnoty listnatých lesů se pohybovaly ve středním až vysokém zdravotním stavu. Hodnota 0,181 u listnatého lesa A v termínu 6.5.2018 nasvědčovala o nedostatku obsahu vody ve vegetaci. Hodnoty letních termínů byly oproti jarním termínům převážně vyšší a naznačovaly jejich velmi vysoký zdravotní stav. Hodnoty indexu listnatých lesů je možné vidět v tab.č.4.8.

Při porovnání reprezentativních ploch jehličnatých a listnatých lesů, se prokázala obecně nižší odrazivost u jehličnatých lesů než u lesů listnatých. Listnaté lesy v jarních termínech poukazovaly na dobrý zdravotní stav vegetace. Pomocí využití dat z poloviny května, kdy dochází k nejvyššímu olistnění, by pravděpodobně výsledné hodnoty NDVI byly vyšší. Výsledná data poukazují na typické hodnoty NDVI v jarních a letních termínech. Hodnoty NDVI u listnatých lesů v jarních termínech se vyznačují nižšími hodnotami oproti jehličnatým lesům. Nižší výsledné hodnoty NDVI se dále prokázaly u jehličnatých lesů v letních termínech.

Tabulka 4.8: NDVI hodnoty listnatých lesů (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Listnatý les A	0,633	0,181	0,868	0,682
Listnatý les B	0,679	0,772	0,893	0,628
Listnatý les C	0,660	0,678	0,886	0,636
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Listnatý les A	0,755	0,862	0,883	0,827
Listnatý les B	0,734	0,793	0,855	0,890
Listnatý les C	0,759	0,870	0,887	0,893

Index NDVI nabýval hodnot pro střední až vysoký zdravotní stav u roztroušené vegetace. V termínu 13.8.2020 byly hodnoty vyšší a odpovídaly velmi vysokému zdravotnímu stavu. Průměrné hodnoty roztroušené vegetace jsou popsány v tab.č.4.9.

Tabulka 4.9: NDVI hodnoty roztroušené vegetace (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Roztroušená vegetace A	0,724	0,778	0,828	0,679
Roztroušená vegetace B	0,736	0,719	0,895	0,677
Roztroušená vegetace C	0,712	0,671	0,808	0,668
Roztroušená vegetace D	0,730	0,615	0,881	0,675
Roztroušená vegetace E	0,793	0,808	0,891	0,690
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Roztroušená vegetace A	0,606	0,723	0,774	0,733
Roztroušená vegetace B	0,737	0,797	0,887	0,900
Roztroušená vegetace C	0,719	0,856	0,849	0,857
Roztroušená vegetace D	0,694	0,752	0,880	0,898
Roztroušená vegetace E	0,708	0,766	0,793	0,865

Průměrné hodnoty luk nabývají vyšších hodnot od 0,6 do 0,9. Z pohledu vlhkosti není na loukách pozorován zdravotní stres. Mírný propad hodnot je možné pozorovat v letních termínech 2.8.2017, 4.8.2018 a 23.7.2019, kde se hodnoty pohybují

v rozmezí pro střední hodnoty jejich zdravotního stavu. Průměrné hodnoty luk je možné vidět v tab.č.4.10.

Tabulka 4.10: NDVI hodnoty luk (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Louka A	0,905	0,643	0,880	0,837
Louka B	0,754	0,654	0,713	0,662
Louka C	0,810	0,778	0,804	0,722
Louka D	0,792	0,756	0,821	0,721
Louka E	0,869	0,778	0,859	0,746
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Louka A	0,634	0,832	0,746	0,873
Louka B	0,578	0,537	0,532	0,775
Louka C	0,633	0,549	0,681	0,870
Louka D	0,600	0,494	0,690	0,857
Louka E	0,673	0,786	0,802	0,896

4.2.2 Výsledné hodnoty indexu NDMI

Průměrné hodnoty NDMI se na jaře pohybovaly na rozmezí nízkého stresu vegetace. Hodnoty poukázaly na mírné sucho ve sledovaném území. V termínu 18.5.2020 byla průměrná hodnota zvýšena, přesto bylo v krajině mírné sucho a nízký stres vegetace. Průměrné hodnoty pro letních termíny poukázaly na větší sucho v krajině a nízký stres vegetace. Průměrné, maximální a minimální hodnoty NDMI na sledovaném území, je možno vidět v tab.č.4.11.

Tabulka 4.11: Celkové výsledné hodnoty NDMI (vlastní zpracování)

Datum	Průměr	Maximum	Minimum
24.04.2017	0,217	0,631	-0,470
06.05.2018	0,222	0,631	-0,470
21.04.2019	0,262	0,651	-0,423
18.05.2020	0,330	0,718	-0,757
02.08.2017	0,184	0,590	-0,670
04.08.2018	0,155	0,528	-0,451

23.07.2019	0,155	0,575	-0,793
13.08.2020	0,196	0,552	-0,480

Reprezentativní plochy jehličnatých lesů poukazovaly na mírný vláhový deficit s nízkým stresem. Hodnota jehličnatého lesa C a D v termínu 23.7.2019 naznačovala velký vodní stres a velké sucho. Obdobné výsledné hodnoty jehličnatého lesa C a D je možné pozorovat i v následujících termínech 18.5.2020 a 13.8.2020. Z tohoto důvodu se domnívám, že na území nebyl dostatek vlhkosti a reprezentativní plochy mohly být zasaženy kůrovcem. Průměrné hodnoty jarních a letních termínů jehličnatých lesů zobrazeny v tab.č.4.12.

Tabulka 4.12: NDMI hodnoty jehličnatých lesů (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Jehličnatý les A	0,052	-0,048	0,324	0,436
Jehličnatý les B	0,360	0,299	0,361	0,316
Jehličnatý les C	0,426	0,304	0,378	-0,074
Jehličnatý les D	0,435	0,245	0,396	-0,036
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Jehličnatý les A	0,221	0,156	0,186	0,155
Jehličnatý les B	0,401	0,346	0,345	0,354
Jehličnatý les C	0,432	0,336	-0,099	-0,031
Jehličnatý les D	0,435	0,319	-0,133	-0,012

Průměrné hodnoty smíšených lesů se pohybovaly v rozmezí pro nízký vodní stres. U smíšeného lesa A v termínu 24.4.2017 je možné pozorovat nižší hodnotu, odpovídající vyššímu vodnímu stresu. Na následujícím termínu 2.8.2017 hodnota vypovídá o lepších vlhkostních podmínkách, tedy i nízkému vodnímu stresu. Hodnota smíšeného lesa B v termínu 23.7.2019 poukazovala na mírné sucho s nízkým stresem. Mírné sucho u smíšeného lesa B pokračovalo i v následujících termínech 18.5.2020 a 13.8.2020, kdy se hodnoty pohybovaly od 0,1 až do 0,2. Výsledné hodnoty smíšených lesů jsou znázorněny v tab.č.4.13.

Tabulka 4.13: NDMI hodnoty smíšených lesů (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Smíšený les A	0,017	0,174	0,382	0,425
Smíšený les B	0,335	0,279	0,413	0,167
Smíšený les C	0,202	0,213	0,219	0,222
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Smíšený les A	0,354	0,266	0,318	0,329
Smíšený les B	0,430	0,345	0,091	0,107
Smíšený les C	0,276	0,195	0,189	0,233

Reprezentativní plochy listnatých lesů A, B a C v termínu 24.4.2017 vykazovaly známky velkého vodního stresu a nárustu většího sucha. Letní termín pro tyto plochy naznačoval jejich zvyšující se vlhkost a nízký vodní stres. Přehled hodnot indexu NDMI listnatých lesů zobrazuje tab.č.4.14.

Porovnání výsledných hodnot jehličnatých a listnatých lesů vyplývá, že listnaté lesy v jarním termínu 24.4.2017 poukazovaly na nárůst většího sucha. V následujících jarních a letních termínech výsledné hodnoty listnatých lesů naznačovaly zvyšující se vlhkost a nízký vodní stres. Oproti tomu hodnoty jehličnatých lesů naznačovaly nízký vodní stres a mírný vláhový deficit, který se v následujících letech zvýšil a poukazoval na velké sucho.

Tabulka 4.14: NDMI hodnoty listnatých lesů (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Listnatý les A	0,046	-0,128	0,339	0,476
Listnatý les B	0,037	0,258	0,344	0,410
Listnatý les C	0,061	0,149	0,385	0,428
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Listnatý les A	0,307	0,257	0,333	0,216
Listnatý les B	0,270	0,067	0,248	0,300
Listnatý les C	0,350	0,276	0,356	0,332

Průměrné hodnoty roztroušené vegetace poukazovaly na nízký vodní stres. Jarní termín 24.4.2017 u roztroušené vegetace B, C a D nasvědčoval mírnému suchu na reprezentativních plochách. Reprezentativní plocha roztroušené vegetace A v jarních termínech odpovídala nízkému vodnímu stresu, tedy i dobré vlhkosti. Roztroušená vegetace A v termínu 15.5.2020 měla hodnotu indexu 0,508. Tato hodnota vyjadřuje, že na reprezentativní ploše nebyl zaznamenán žádný vodní stres. Důvodem vyšší hodnoty indexu může být výběr reprezentativní plochy v blízkosti Dobřejevického potoka. Průměrné hodnoty roztroušené vegetace je možné sledovat v tab.č.4.15.

Tabulka 4.15: NDMI hodnoty roztroušené vegetace (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Roztroušená vegetace A	0,268	0,250	0,338	0,508
Roztroušená vegetace B	0,099	0,180	0,384	0,403
Roztroušená vegetace C	0,146	0,184	0,258	0,389
Roztroušená vegetace D	0,104	0,083	0,346	0,381
Roztroušená vegetace E	0,253	0,308	0,366	0,436
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Roztroušená vegetace A	0,203	0,141	0,230	0,229
Roztroušená vegetace B	0,298	0,120	0,312	0,300
Roztroušená vegetace C	0,288	0,260	0,294	0,285
Roztroušená vegetace D	0,246	0,056	0,283	0,280
Roztroušená vegetace E	0,185	0,075	0,178	0,303

Reprezentativní plochy luk se v jarních termínech vyznačovaly nízkým vodním stresem. Letní termíny poukazovaly na vyšší suchu a velký vodní stres. Letní termíny na loukách B, C a D dosahovaly hodnot pro velké suchu. Nejnížší hodnoty indexu byly zaznamenány 4.8.2018 u luk B, C a D, kdy se hodnoty pohybovaly pod -0,1. Na hodnoty letních termínů značících vyšší suchu měla zásadní vliv teplota, která obvykle dosahuje nejvyšších hodnot v červenci a srpnu. Letní termíny mohly být dále ovlivněny nedostatkem srážek, kdy termínům předcházely suché týdny. Průměrné hodnoty indexu NDMI reprezentativních ploch luk jsou znázorněny v tab.č.4.16.

Tabulka 4.16: NDMI hodnoty luk (vlastní zpracování)

Reprezentativní plochy	Snímky z jarních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	24.4.2017	6.5.2018	21.4.2019	18.5.2020
Louka A	0,464	0,041	0,425	0,557
Louka B	0,204	0,185	0,132	0,225
Louka C	0,285	0,301	0,285	0,313
Louka D	0,275	0,252	0,305	0,301
Louka E	0,401	0,277	0,390	0,494
Reprezentativní plochy	Snímky z letních termínů (hodnoty -1 až 1)			
	2.8.2017	4.8.2018	23.7.2019	13.8.2020
Louka A	0,145	0,291	0,265	0,386
Louka B	0,006	-0,089	-0,074	0,177
Louka C	0,123	-0,127	0,071	0,346
Louka D	0,083	-0,151	0,086	0,331
Louka E	0,197	0,204	0,293	0,422

4.2.3 Shrnutí výsledků vegetačních indexů

Na povodí Dobřejovického potoka poukazovaly výsledné hodnoty NDVI na střední zdravotní stav vegetace a střední hodnoty vlhkosti. Thenkabail et al. (2004) poukazují na zpožděnou odezvu k suchu u indexu NDVI při monitorování vlhkosti. Opožděná reakce je závislá na způsobu zavlažování dané lokality. Menší opoždění odezvy k suchu nastává pouze pokud je daná lokalita závislá na dešťových srážkách.

NDVI dosahuje vyšších hodnot v oblastech s přívětivými podmínkami než v oblastech s nepříznivými podmínkami. Dále je při monitorování vlhkosti pomocí NDVI důležitý stav počasí (Kogan, 1995). Dle Chena et al. (2008) jde pomocí indexu VCI dosáhnout lepších výsledků při získávání vlhkostních podmínek pro dané území. VCI vzniká transformací indexu NDVI, a narozdíl od indexu NDVI umožňuje odloučit vliv počasí působící na vegetaci od vlivů přírodních podmínek.

Výsledné hodnoty NDMI ukazovaly na mírné sucho a nízký vodní stres na reprezentativních plochách. Index NDVI byl převážně navržen pro rozlišení vegetace, popřípadě k hodnocení zdravotního stavu vegetace. Zatímco index NDMI bývá využíván převážně pro monitoring půdní a vegetační vlhkosti. Z tohoto hlediska jsou výsledné hodnoty NDVI zpochybnitelné. Přesnější hodnoty vlhkosti byly získány pomocí indexu NDMI.

Celkově dostáváme pomocí vegetačních indexů jen hrubé odhady o půdních vlastnostech, protože žádný index nám neurčuje vybrané vlastnosti přímo. Vlhkost pomocí indexů je určována pomocí korelace s půdní vlhkostí a dalšími vstupujícími charakteristikami pedologických procesů. Důležité je také spektrální a prostorové rozlišení, které ovlivňuje využitelnost pro větší množství indexů.

Hodnoty indexů mohou být nadále zkresleny a vykazovat vyšší hodnoty, jak poukazují Bazzi et al. (2019) ve své studii. Uvádí, že malý srážkový úhrn několika hodin před přeletem satelitu často vede k vyšším hodnotám vlhkosti, než velký úhrn srážek několika dní před přeletem satelitu.

Výsledná data vegetačních indexů, se dle mého názoru mohou využít v krajinném plánování. Data mohou být využita zejména v **obligatorní formě krajinného plánování**. Mohla by být využita v podobě vlhkostních charakteristik a zjištění aktuálního stavu porostu pro **plán péče o zvláště chráněné území, lesní hospodářský plán a územní systém ekologické stability**. Pomocí indexů jsem získal informace o stavu zeleně, které lze využít v **podmíněné obligatorní formě krajinného plánování**, a to v **pozemkových úpravách a územním plánování**. Data o aktuálním stavu porostů mohou být využita i ve **fakultativní formě krajinného plánování pro krajinářské úpravy a ekologickou optimalizaci**.

5 Závěr

Hlavním tématem diplomové práce bylo vyhotovit analýzu změn krajinného pokryvu a získat informace o vlhkostních charakteristikách ve vybraném povodí. Výběr povodí, byl důležitý z hlediska znalosti dané lokality. Zvolené povodí Dobřejovického potoka se nachází v Jihočeském kraji v okrese České Budějovice severně od obce Hosín.

Pomocí Sentinel-2 dat bylo dosaženo pro některé třídy krajinného pokryvu spolehlivých výsledků, které mohou být dále využitelné jako podkladová nebo orientační data pro krajinné plánování.

Sledování změn krajinného pokryvu pomocí Sentinel-2 dat mezi lety 2017-2020 se ukázalo vhodné pro třídu Lesy. Díky bezplatnému stažení dat a vysoké frekvenci snímání bylo dosaženo věrohodných informací o pokryvu lesa. Částečné kácení lesů bylo způsobeno napadením kůrovce a dlouhodobým suchem v krajině.

Využití Sentinel-2 dat se také ukázalo vhodné pro třídy Louky a Orná půda. Třída Urbanizovaná území nedosahovala použitelných výsledků. Důvodem nepřesnosti u této třídy může být heterogenita pokryvu a prostorové rozlišení snímku.

Třída Vodní plochy byla klasifikována bez problémů, ale z důvodu omezení prostorovým rozlišením satelitního snímku nebyl Dobřejovický potok a ostatní drobné vodní plochy vykresleny.

Výsledné hodnoty vegetačních indexů poukazovaly na mírné sucho a nízký stres vegetace. Musíme však brát v úvahu, že pomocí vegetačních indexů dostáváme jen hrubý odhad o vlhkostních charakteristikách, protože žádný index neurčuje vlhkost přímo.

Stanovený cíl diplomové práce byl splněn. Z analýzy změn krajinného pokryvu vyplývá, že využitá data Sentinel-2 jsou díky dobrému radiometrickému a prostorovému rozlišení vhodná pro další použití, zejména v krajinném plánování. Dále je velkým pozitivem perioda snímání. Nová data jsou dostupná každých pět dní, a díky překryvu dlaždic na části území České republiky mohou být data pro dané území využívána častěji. Nezpochybnitelným kladem je bezplatnost těchto dat a poskytování bezplatného softwaru, přizpůsobeného pro práci s družicovými snímky.

6 Seznamy

6.1 Seznam použité literatury

Seznam tištěné literatury

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

Baboo, S. S. a Devi, M. R. (2010). An analysis of different resampling methods in Coimbatore, District. *Global Journal of Computer Science and Technology*. 10.

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

Bazzi, H. et al. (2019). Potential of sentinel-1 surface soil moisture product for detecting heavy rainfall in the south of France. *Sensors*, 19(4), 802.

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

Campbell, J. B. a Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.

Cohen, W. B. a Goward, S. N. (2004). Landsat's role in ecological applications of remote sensing. *Bioscience*, 54(6), 535-545.

Daňhelka, J. et al. (2016). *Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015*. Český hydrometeorologický ústav.

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

Drusch, M. et al. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36.

Everitt, B. S. (2011). *Cluster analysis*. Páté vydání. Wiley, Chichester.

Fiala, R. a Jedlička, K. (2010). *Dálkový průzkum Země*. Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny, Ústí nad Labem.

Gao, B. C. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266.

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: a guide for mapping, monitoring and management*. Springer, Dordrecht. ISBN 978-90-481-9292-2.

Haeussler, S. et al. (1995). Germination, survival, and early growth of red alder seedlings in the central Coast Range of Oregon. *Canadian Journal of Forest Research*, 25(10), 1639-1651.

Halounová, L. a Pavelka, K. (2005). *Dálkový průzkum Země*. ČVUT, Praha. ISBN 80-01-03124-1.

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.

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

Chen, Z. et al. (2008). Monitoring and management of agriculture with remote sensing. In: *Advances in land remote sensing*. Springer, Dordrecht, pp. 397-421. ISBN 978-1-4020-6449-4.

Jain, S. K. et al. (2009). Identification of drought-vulnerable areas using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(10), 2653-2668.

Knížek, M. (2016). *Škodliví činitelé v lesích Česka 2015/2016*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Praha. ISBN 978-80-7417-107-9.

Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in space research*, 15(11), 91-100.

Kolář, J. (1990). *Dálkový průzkum Země*. SNTL, Praha. ISBN 80-03-00517-5.

Kolář, J. (2008). *Digitální zpracování obrazových dat*. Czech Space Office, Praha. ISBN 978-80-904163-0-7.

Liang, S. (2004). *Quantitative remote sensing of land surface*. Třetí vydání. Wiley, 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.

Mather, P. M. a Koch, M. (2011). *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. Čtvrté vydání. Wiley, Chichester. ISBN 9780470742389.

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432.

Mrkva, R. (2000). Chřadnutí dřevin jako významný a očekávaný problém ochrany lesa. *Lesnická práce*, 79(6), 242-289.

Murdoch, Z. (1985). *Dálkový průzkum Země*. Academia, 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.

Persson, M. et al. (2018). Tree species classification with multi-temporal Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 10(11), 1794.

Qiu, F. et al. (2006). Spectral analysis of ASTER data covering part of the Neoproterozoic Allaqi-Heiani suture, Southern Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 44(2), 169-180.

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 Schläpfer, D. (2002). Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 2: Atmospheric/topographic correction. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2631-2649.

Rouault, G. et al. (2006). Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Annals of Forest Science*, 63(6), 613-624.

Singh, R. P. et al. (2003). Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *International Journal of Remote Sensing*, 24(22), 4393-4402.

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

Steinhausena, 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.

Sutton, O. (2012). Introduction to k nearest neighbour classification and condensed nearest neighbour data reduction. *University lectures, University of Leicester*, 1.

Svatoňová, H. a Lauermaň, L. (2010). *Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací*. Masarykova univerzita, Brno. ISBN 978-80-210-5162-1.

Thenkabail, P. S. et al. (2004). *The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia*. IWMI, Colombo. ISBN 92-9090-575-1.

Tricht, K. et al. (2018). Synergistic use of radar Sentinel-1 and optical Sentinel-2 imagery for crop mapping: a case study for Belgium. *Remote Sensing*, 10(10), 1642.

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.

Wang, L. a Qu, J. J. (2007). NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*, 34(20).

Xiong, X. a Butler, J. J. (2020). MODIS and VIIRS calibration history and future outlook. *Remote Sensing*, 12(16), 2523.

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

Seznam internetových zdrojů

Bay, J. (2016a). Monitorování území. [online] Copernicus [12. 10. 2021]. Dostupné z: <https://www.copernicus.eu/cs/sluzby/monitorovani-uzemi>

Bay, J. (2016b). Monitorování mořského prostředí. [online] Copernicus [12. 10. 2021]. Dostupné z: <https://www.copernicus.eu/cs/sluzby/monitorovani-morskeho-prostredi>

Bay, J. (2016c). Změna klimatu. [online] Copernicus [12. 10. 2021]. Dostupné z: <https://www.copernicus.eu/cs/sluzby/zmena-klimatu>

Copernicus, (n.d.a). *Základní principy dálkového pozorování Země (DPZ)*. [online] [21. 9. 2021]. Dostupné z: <https://copernicus.gov.cz/index.php/o-copernicu/zakladni-principy-dpz/>

Copernicus, (n.d.b). *Kosmická komponenta*. [online] [6. 10. 2021]. Dostupné z: <https://copernicus.gov.cz/index.php/o-copernicu/infrastruktura/kosmicka-komponenta/>

Český hydrometeorologický ústav, (2021). *Síť monitoringu povrchových vod*. [online] [27. 12. 2021]. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hydro/>

ESA, (2018a). *Sentinel-2*. [online] [18. 10. 2021]. Dostupné z: <https://earth.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel2;jsessionid=281879C00D93643D8DB83583FE8E68C0.jvm2>

ESA, (2018b). *About the launch*. [online] [18. 10. 2021]. Dostupné z: http://m.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/About_the_launch

ESA, (2018c). *MultiSpectral Instrument (MSI) Overview*. [online] [18. 10. 2021].
Dostupné z: <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>

ESA, (2018d). *Product types*. [online] [18. 10. 2021]. Dostupné z:
<https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types>

ESA, (2019a). *ESA facts*. [online] [5. 10. 2021]. Dostupné z:
https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_facts

ESA, (2019b). *Pracovníci a lokality*. [online] [5. 10. 2021]. Dostupné z:
https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Czech_Republic/Pracovnici_a_lokalit_y

ESA, (2019c). *ESA and the EU*. [online] [5. 10. 2021]. Dostupné z:
https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_and_the_EU

Gisat, (n.d). *Základní pojmy družicových dat*. [online] [1. 10. 2021]. Dostupné z:
<http://www.gisat.cz/content/cz/druzicova-data/objednani-dat/zakladni-pojmy>

Hosín a Dobřejovice, (2021). *Současnost*. [online] [28. 12. 2021]. Dostupné z:
<https://www.hosin.cz/o-obci-1/soucasnost/>

INSITU, (n.d.). *Observations*. [online] [8. 10. 2021]. Dostupné z:
<https://insitu.copernicus.eu/observations>

Koridory, (2019). *Realizaci železničních tunelů na jihu Čech už nic nebrání*. [online] [28. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.koridory.cz/realizaci-zeleznicnich-tunelu-na-jihu-cech-uz-nic-nebrani/>

SCIHUB, (n.d.). *Copernicus Open Access Hub*. [online] [29. 12. 2021]. Dostupné z:
<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Žubrietovský, L. et al. (2017). *Sentinel-2 Optická družice pro monitoring krajinného pokryvu*. [online] CollGS Data z družic Sentinel v ČR [18. 10. 2021]. Dostupné z:
<https://collgs.czechspaceportal.cz/flotila-druzic-sentinel/sentinel-2/>

6.2 Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Princip fungování DPZ (Fiala a Jedlička, 2010)	11
Obrázek 2.2: Elektromagnetická vlna (Fiala a Jedlička, 2010)	12
Obrázek 2.3: Elektromagnetické spektrum (Zemek et al., 2014)	13
Obrázek 2.4: Typy odrazivosti (Zemek et al., 2014)	15
Obrázek 2.5: Odrazivost listnatého a jehličnatého lesa (Dobrovolný, 1998)	16
Obrázek 3.1: Zájmové území	26
Obrázek 3.2: Přístup k datům Sentinel-2 (SCIHUB, n.d.)	27
Obrázek 3.3: Dron DJI Spark (vlastní)	29
Obrázek 3.4: Znárodnění tříd a podtříd krajinného pokryvu (vlastní zpracování).....	31
Obrázek 3.5: Zobrazení snímku v naturálních barvách (2017-2018)	33
Obrázek 3.6: Zobrazení snímku v naturálních barvách (2019-2020)	34
Obrázek 3.7: Výsledek řízené klasifikace (2017)	35
Obrázek 3.8: Výsledek řízené klasifikace (2018)	36
Obrázek 3.9: Výsledek řízené klasifikace (2019)	36
Obrázek 3.10: Výsledek řízené klasifikace (2020)	37
Obrázek 3.11: Rozložení validačních bodů	38
Obrázek 3.12: ModelBuilder (vlastní zpracování).....	42
Obrázek 4.1: Zastoupení třídy Lesy (vlastní zpracování)	43
Obrázek 4.2: Celkové změny třídy Lesy (vlastní zpracování).....	45
Obrázek 4.3: Zastoupení třídy Lesní mýtiny (vlastní zpracování).....	45
Obrázek 4.4: Zastoupení třídy Louky (vlastní zpracování)	47
Obrázek 4.5: Celkové změny třídy Louky (vlastní zpracování)	48
Obrázek 4.6: Zastoupení třídy Orná půda (vlastní zpracování).....	48
Obrázek 4.7: Celkové změny třídy Orná půda (vlastní zpracování).....	50
Obrázek 4.8: Zastoupení třídy Urbanizovaná území (vlastní zpracování).....	50
Obrázek 4.9: Zastoupení třídy Vodní plochy (vlastní zpracování).....	51

6.3 Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Prostorové rozlišení pásma Sentinel-2 (Drusch et al., 2012, vlastní zpracování).....	23
Tabulka 2.2: Úrovně zpracování snímků (Žubrietovský et al., 2017, vlastní zpracování).....	23

Tabulka 3.1: Počet validačních bodů (vlastní zpracování)	38
Tabulka 3.2: Výsledné hodnoty validačních bodů (vlastní zpracování)	39
Tabulka 4.1: Zastoupení změny třídy Lesy (vlastní zpracování)	44
Tabulka 4.2: Zastoupení změny třídy Lesní mýtiny (vlastní zpracování)	46
Tabulka 4.3: Zastoupení změny třídy Louky (vlastní zpracování)	47
Tabulka 4.4: Zastoupení změny třídy Orná půda (vlastní zpracování)	49
Tabulka 4.5: Celkové výsledné hodnoty NDVI (vlastní zpracování)	54
Tabulka 4.6: NDVI hodnoty jehličnatých lesů (vlastní zpracování)	54
Tabulka 4.7: NDVI hodnoty smíšených lesů (vlastní zpracování)	55
Tabulka 4.8: NDVI hodnoty listnatých lesů (vlastní zpracování)	56
Tabulka 4.9: NDVI hodnoty roztroušené vegetace (vlastní zpracování)	56
Tabulka 4.10: NDVI hodnoty luk (vlastní zpracování)	57
Tabulka 4.11: Celkové výsledné hodnoty NDMI (vlastní zpracování)	57
Tabulka 4.12: NDMI hodnoty jehličnatých lesů (vlastní zpracování)	58
Tabulka 4.13: NDMI hodnoty smíšených lesů (vlastní zpracování)	59
Tabulka 4.14: NDMI hodnoty listnatých lesů (vlastní zpracování)	59
Tabulka 4.15: NDMI hodnoty roztroušené vegetace (vlastní zpracování)	60
Tabulka 4.16: NDMI hodnoty luk (vlastní zpracování)	61

6.4 Seznam vzorců

Vzorec NDVI	40
Vzorec NDMI	41
Vzorec NDWI	41

6.5 Seznam použitých zkratk

BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
CSV	Comma-Separated Values
CHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DPZ	dálkový průzkum Země
EMZ	elektromagnetické záření
ESA	Evropská kosmická agentura
ETRS89	Evropský terestrický referenční systém 1989
GPS	Globální polohový systém

KPÚ	Komplexní pozemková úprava
LPIS	Land Parcel Identification System
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NIR	near infrared
SNAP	Sentinels Application Platform
SWIR	short-wave infrared
TCI	Triangular Chlorophyll Index
UTM	The Universal Transverse Mercator
VCI	Vegetation Condition Index
WGS84	World Geodetic System 1984
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZM 10	Základní mapa České republiky 1: 10 000

7 Přílohy



Příloha 1: Pohled na zájmové území (vlastní)



Příloha 2: Obec Dobřejovice (vlastní)



Příloha 3: Pohled na západní část území (vlastní)



Příloha 4: Pohled na lesy na jihozápadní části území (vlastní)



Příloha 5: Orná půda na sever od Dobřejovic (vlastní)



Příloha 6: Vykácená část lesa na sever od Dobřejovic (vlastní)



Příloha 7: Louky u obce Chotýčany (vlastní)



Příloha 8: Pohled na severní část území (vlastní)



Příloha 9: Pohled na jihovýchodní část území (vlastní)



Příloha 10: Obec Chotýčany (vlastní)
