

**Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Ústav systémového inženýrství a informatiky**

**Využití UAV pro identifikaci změn v krajině
Diplomová práce**

2020

Bc. Adam Pávek

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam Pávek**
Osobní číslo: **E17855**
Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Informatika ve veřejné správě**
Téma práce: **Využití UAV pro identifikaci změn v krajině**
Zadávací katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je na příkladu zvoleného zájmového území navrhnout vhodný postup pro zpracování dat získaných s využitím UAV. Součástí práce bude i interpretace výsledků.

Osnova:

- Využití UAV v dálkovém průzkumu Země.
- Postupy pro zpracování dat – shrnutí stávajícího stavu.
- Charakteristika zvoleného zájmového území.
- Zpracování a interpretace výsledků.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 55 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

CAMPBELL, J., B.WYNNE, R. H. Introduction to remote sensing. 5th ed. New York: Guilford Press, c2011. ISBN 16-091-8176-X.
GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E. Digital image processing. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, c2008. ISBN 978-0131687288.
HALOUNOVÁ, L.,PAVELKA, K. Dálkový průzkum Země. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03124-1.
LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W., CHIPMAN, J. W. Remote sensing and image interpretation. 6th ed. New York: John Wiley, c2008. ISBN 978-0-470-05245-7.
LONGLEY, P. Geographic information systems & science. 3rd ed. Hoboken: Wiley, c2011. ISBN 978-0-470-72144-5.
TUČEK, J. Geografické informační systémy: principy a praxe. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1998. CAD & GIS. ISBN 80-7226-091-X.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Komárková, Ph.D.**
Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce: **2. září 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2020**

L.S.

doc. Ing. Romana Provazníková, Ph.D.
děkanka

doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.
vedoucí ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10. 8. 2020

Bc. Adam Pávek

PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji paní docentce Jitce Komárkové za její čas, ochotu a praktické rady při konzultacích této práce. Dále děkuji ostatním členům katedry za znalosti předané v hodinách geografických informačních systémů a kartografie. A také děkuji rodině za podporu při zpracování.

ANOTACE

Práce navrhuje postup zpracování RGB snímků získaných pomocí UAV, následnou analýzu typů povrchů a identifikaci vzniklých časových změn ve sledované krajině. Mezi hlavní nástroje patří využití RGB indexů a klasifikačních metod.

KLÍČOVÁ SLOVA

UAV, DPZ, zpracování dat, identifikace změn v krajině, klasifikace obrazu, vegetační indexy, zvýraznění obrazu

TITLE

Use of UAV for identification of landscape changes

ANNOTATION

The work proposes a procedure for processing RGB images obtained using UAV, subsequent analysis of surface types and identification of time changes in the monitored landscape. The main tools include the use of RGB indexes and classification methods.

KEYWORDS

UAV, RS, data processing, identification of landscape changes, image classification, vegetation indices, image enhancement

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 VYUŽITÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ V DÁLKOVÉM PRŮZKUMU ZEMĚ.....	11
1.1 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ	11
1.1.1 Využití a metody DPZ	12
1.1.2 Fyzikální podstata DPZ.....	13
1.1.3 Charakteristika digitálních dat	15
1.1.4 Pořizování dat.....	16
1.2 BEZPILOTNÍ LETECKÉ PROSTŘEDKY	16
1.2.1 Rozdělení UAV	17
1.2.2 Historie.....	17
1.2.3 Výhody a nevýhody UAV.....	19
1.2.4 Technologická platforma UAV.....	20
1.2.5 Faktory ovlivňující snímání	20
2 SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ	23
2.1 KRAJINA.....	23
2.2 STRUKTURA KRAJINY.....	23
2.3 DETEKCE ZMĚN	24
2.1 VYUŽITÍ UAV PRO SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ.....	25
3 POSTUPY ZPRACOVÁNÍ A ANALÝZY DAT	29
3.1 PŘEDZPRACOVÁNÍ ZÁZNAMŮ.....	30
3.1.1 Geometrická korekce	31
3.1.2 Radiometrická korekce.....	33
3.1.3 Atmosférická korekce	34
3.2 ZVÝRAZNĚNÍ OBRAZU	34
3.2.1 Bodová zvýraznění.....	35
3.2.2 Prostorová zvýraznění	36
3.3 SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA.....	37
3.3.1 Vegetační indexy.....	38
3.3.1 Multipektrální indexy	39
3.3.2 RGB indexy.....	39
3.4 KLASIFIKACE OBRAZU	40
3.4.1 Řízená klasifikace	41
3.4.2 Neřízená klasifikace	42
3.4.3 Vybrané řízené a neřízené klasifikátory.....	43
4 SBĚR DAT	45
4.1 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	45
4.2 CHARAKTERISTIKA VSTUPNÍCH DAT	45
5 ZPRACOVÁNÍ A INTERPRETACE VÝSLEDKŮ	46
5.1 VOLBA SW.....	46
5.2 ZPRACOVÁNÍ DAT	47
5.2.1 Mozaikování.....	47
5.2.2 Referencování a ořez zájmového území.....	49
5.2.3 Klasifikace.....	51
5.2.4 Spektrální indexy a další zpracování.....	57
5.3 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ	63
5.4 NAVRŽENÝ POSTUP ZPRACOVÁNÍ.....	65
ZÁVĚR.....	66
POUŽITÁ LITERATURA.....	67
SEZNAM PŘÍLOH.....	72

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Elektromagnetické spektrum	14
Obrázek 2: Zobrazení vzrůstu zájmu o téma RGB indexů Woebbecke.....	28
Obrázek 3: Ukázka místa letové mise a sběru dat.....	45
Obrázek 4: Výsledná mozaika září 2018.....	48
Obrázek 5: Výsledná mozaika říjen 2018	48
Obrázek 6: Výsledná mozaika listopad 2018.....	48
Obrázek 7: Ukázka georeferencování	50
Obrázek 8: Zájmové území listopad.....	51
Obrázek 9: Vlastní klasifikační schéma.....	52
Obrázek 10: Digitalizace zájmového území říjen	53
Obrázek 11: Výsledek řízené klasifikace SVM listopad.....	54
Obrázek 12: Výsledek neřízené klasifikace ISO Cluster září	55
Obrázek 13: Výsledek indexu CIVE pro měsíc listopad.....	59
Obrázek 14: Výsledek indexu ExR pro měsíc listopad.....	61
Obrázek 15: Klasifikace ISO Cluster na indexu GLI - září	62
Tabulka 1: Porovnání výsledků klasifikačních metod a digitalizace	57
Tabulka 2: Použité viditelné indexy a jejich vzorce	60

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CIVE	Color Index of Vegetation Extraction
DPZ	Dálkový průzkum země
ExG	Excess of Green
ExR	Excess of Red
FES	Fakulta ekonomicko-správní
GLI	Green Leaf Index
MGVRI	Modified Green Red Vegetation Index
MPRI	Modified Photochemical Reflectance Index
NGBI	Normalized Green Blue Index
NRBI	Normalized Red Blue Index
RS	Remote sensing
TGI	Triangular Greenness Index
UAS	Bezpilotní systém
UAV	Bezpilotní letadlo (Unmanned Aerial Vehicle)
VARI	Visible Atmospherically resistant Index

ÚVOD

Vzhledem ke klimatickým i jiným změnám je důležité sledovat změny v krajině. K tomuto účelu se využívají metody dálkového průzkumu Země, které umožňují tyto změny identifikovat a zaznamenat. V některých akutních případech je nutné tyto změny detailně zaznamenat rychle, na malém území a s co nejmenšími náklady. K tomu jsou stále častěji využívány bezpilotní letecké prostředky, které jsou vhodné právě pro tento účel. Tato technologie poslední dobou zaznamenává velké rozšíření, dokonce i mezi širokou veřejnost. Zatímco dříve byly bezpilotní prostředky využívány zejména k armádním účelům, dnes stále více nachází uplatnění právě ve zmíněném sledování stále se měnící krajiny.

Diplomová práce je rozdělena do několika částí. V první části se autor zabývá DPZ obecně od principů po definici průzkumu Země samotného. V následující navazující části rozebírá bezpilotní letadla a možnost jejich využití v DPZ, jejich výhody a nevýhody a historii vývoje. V další části autor pojednává o způsobech zpracování dat. Druhá polovina práce se věnuje charakteristice zájmového území, zpracovávání získaných dat ze zájmového území a interpretaci výsledků zpracováním získaných.

Cílem práce je navrhnout vhodný postup pro identifikaci změn v krajině na základě snímků získaných za pomoci bezpilotních leteckých prostředků. Tento postup je možné později využít na širokou škálu problematiky identifikace změn v krajině a zpracování RGB snímků pořízených drony.

1 VYUŽITÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ V DÁLKOVÉM PRŮZKUMU ZEMĚ

V následující kapitole se autor zabývá vzájemným propojením problematiky dálkového průzkumu Země s bezpilotními letadly. Jednotlivá témata jsou tak úzce svázána, že se autor rozhodl věnovat jim samostatnou kapitolu.

Nejprve je nutné definovat jednotlivé pojmy jako dálkový průzkum Země, jeho využití v současnosti, historický vývoj či zákonitosti, kterých využívá. Právě na toto téma silně navazuje použití bezpilotních letadel právě k účelu dálkového průzkumu daného území, jeho výhody a nevýhody a způsob sběru a analýzy dat.

1.1 Dálkový průzkum země

Halounová a Pavelka (2005) popisují DPZ jako metodu získávání informací o objektech a jevech tak, že nedochází ke kontaktu s těmito objekty a jevy. Dnes využíváme mnoho metod a technologického vybavení k tomuto účelu vhodného.

Dobrovolný (1998) podotýká, že v DPZ se používá dvou základních poznatků:

- Člověk je schopen získávat kvalitativní a kvantitativní informace o věcech a jevech, které ho obklopují za pomoci různě složitých přístrojů
- Každý tento objekt nebo jev nějakým způsobem ovlivňuje své okolí způsobem jemu charakteristickým.

Existuje mnoho definic, které zmiňuje Dobrovolný i Halounová a Pavelka. Pravděpodobně nejrozšířenější je definice Lillesanda a Kiefera (2007) původně z roku 1994:

„Dálkový průzkum 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.“

Dobrovolný (1998) dále definuje DPZ jako systém skládající se ze dvou subsystémů. Prvním je subsystém sběru a přednosu dat, kterému je věnována první část diplomové práce, a druhým je subsystém analýzy a interpretace těchto dat, kterým se zabývá druhá část práce.

1.1.1 Využití a metody DPZ

Dobrovolný (1995) říká, že dálkový průzkum země, jakožto metoda moderních geoinformačních technologií, a jeho výsledky, je využíván v mnoha oborech jako například v astronomii, geodézii, geofyzice zemědělství, archeologii, ekologii a dále také všemi obory, které se zabývají časovými změnami odehrávajícími se na zemském povrchu.

Metody dálkového průzkumu a získané obrazové materiály je možné rozdělit podle několika hledisek. Jednak podle nosičů, kterými byly zhotoveny. Dále například dle účelu snímkování, zdroje elektromagnetického záření, nebo fyzikální podstaty snímkování.

Mezi dvě základní formy poskytování dat kromě formy obrazové uvádí Dobrovolný také formu neobrazovou, kterou může být například grafický výstup radiometru.

Rozdělení podle druhu pořízených dat

Toto rozdělení vychází ze způsobu, jakým jsou data zaznamenávána. Většina autorů, Halounová a kol. (2005), Lilensand a kolektiv (2007) i Dobrovolný (1998), uvádí druh konvenční a nekonvenční.

Konvenční metody využívají fotografické snímky, které jsou pořízeny projekcí na filmový materiál. Obraz na celé ploše vzniká v jednom okamžiku. Tyto metody jsou známy díky dlouhé historii. Dobrovolný dodává, že konvenčními metodami je možné zachytit detail, který lidským okem často nelze postřehnout, což uvádí jako hlavní přednost. Podotýká však, že snímky lze zachytit jen v úzkém rozsahu vlnových délek a v analogové formě. Nejčastějším nosičem pro fotografické snímkování v DPZ jsou letadla, ale v současnosti i minulosti se můžeme setkat s fotografiemi pořízenými z balónu, či družic. Kasser a Egels (2002) uvádějí, že jako další přednost lze zmínit široké využití ve fotogrammetrii, která se zabývá rekonstrukcí tvarů, či měřením rozměrů a určováním polohy objektů na fotografických snímcích. Konkrétněji se s konvenčními metodami ve fotogrammetrii setkáme například při konstrukci topografických map velkých měřítek, či sestavování digitálního modelu terénu.

Skupina nekonvenčních metod se liší zejména odlišným procesem vzniku snímku. Na rozdíl od metod konvenčních se zde setkáváme s tzv. řádkováním. Tedy postupně pomocí radiometrů, přístrojů na měření radiace, a snímacích rozkladových zařízení takzvanými skenery. Vzhledem k digitální podobě dat a také z důvodu způsobu pořízení můžeme po srovnání s fotografií pozorovat menší detail, či odlišná zkreslení. Jako největší výhodu uvádí většina výše zmíněných autorů možnost snímání v široké části elektromagnetického spektra a digitální podobě. Díky tomu je možné ke zpracování využít značné automatizace.

Rozdělení podle zdroje elektromagnetického záření

Jsou-li zkoumány objekty na dálku, je nositelem elektromagnetické záření. Na základě tohoto faktu je možné dělit metody DPZ na aktivní a pasivní. Zatímco u pasivních metod, kde je zdrojem záření přímo, nebo nepřímo Slunce a Země, tak u metod aktivních se používá kromě měřicí aparatury také zdroj záření, jehož částečný odraz od objektu měřicí přístroj zachycuje.

Příkladem přímé pasivní metody může být výše zmíněný fotografický snímek, příkladem nepřímé metody je mimo jiné termovize. Mezi prvky využívané u aktivních metod lze zmínit například radar.

Rozdělení podle počtu záznamů

Jedná se o počet záznamů obrazových dat, získaných při jednom měření, které mají různou vlnovou délku. Takto je možno dělit na data monochromatická a panchromatická, kde hovoříme o měření v jednom spektrálním pásmu. Panchromatická data jsou charakteristická měřením ve vlnovém rozsahu viditelné části spektra.

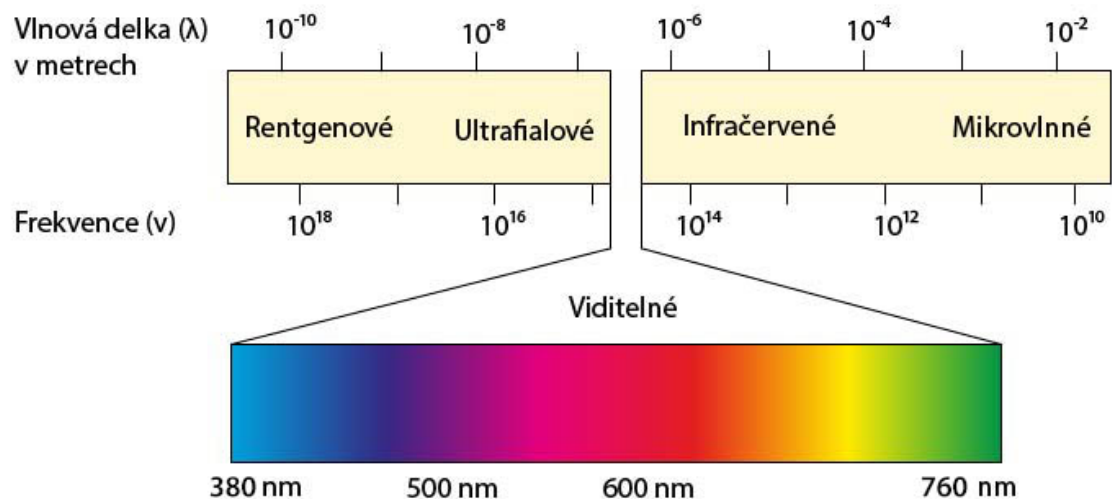
Oproti tomu data multispektrální, která jsou měřená ve více spektrálních pásmech. V dnešní době technologie umožňuje měření ve větším množství spektrálních pásem, měřením v desítkách až stovkách různých pásem vznikají data hyperspektrální. (Halounová a Pavelka 2005)

Ostatní hlediska dělení

Mezi další hlediska, podle kterých můžeme rozdělit metody DPZ patří v neposlední řadě také druh nosiče snímacího zařízení jako například letadlo, družice nebo balón. Dále například směr osy záběru, druh vlnových dálek, či velikost snímaného území. (Dobrovolný 1998)

1.1.2 Fyzikální podstata DPZ

Dobrovolný dále uvádí jako nositele informace v DPZ elektromagnetické záření, to je tvořeno elektromagnetickými vlnami a charakterizováno vlnovou délkou a frekvencí. Pojem vlnová délka i elektromagnetické záření je často spojováno s termínem elektromagnetické spektrum. Některé části tohoto spektra v DPZ nejsou využívána. Mezi nejpoužívanější části patří viditelné, infračervené, ultrafialové, tepelné a mikrovlnné záření. Ilustraci elektromagnetického spektra je možné vidět na Obrázku 1.



Obrázek 1: Elektromagnetické spektrum

Zdroj: Chmel a Hamerník (2016)

Campbell (2002) popisuje tyto druhy záření takto:

Viditelné záření

Viditelné záření dosahuje vlnových délek 380-760 nm. Vzhledem k tomu, že je tento druh záření silně pohlcován atmosférickými jevy jako například mlha a oblačnost, je možné zaznamenávat data ve viditelném spektru pouze za přítomnosti denního světla. Dobrovolný (1998) dodává, že v počátcích DPZ bylo využíváno pouze této části spektra, s technologickým postupem se však rozšířilo i využití ostatních oblastí vlnových délek.

Infračervené záření

Infračervené záření navazuje vlnovou délkou na záření viditelné. Dělí se na tři podkategorie: blízké, střední a vzdálené. Zásadní rozdíl je ve vlnových délkách jednotlivých podkategorií. Halounová a Pavelka (2005) podotýkají, že tento druh záření je méně pohlcován atmosférou, a proto jsou snímky pořízené v této části spektra ostré a s dobrým kontrastem. Tyto vlnové délky nalézají využití především při studiu vegetace.

Ultrafialové záření

U ultrafialového záření se mluví o velmi malé části elektromagnetického spektra. Využívá se především v geologii, kde se pomocí aktivních UV metod vyhledávají například ložiska zlata. Toto záření nabývá rozsahu vlnových délek 100-380 nm.

Mikrovlnné záření

Mikrovlnné záření je využíváno především v meteorologii díky tomu, že je zeslabováno silným deštěm. Mikrovlnné záření je definováno na vlnových délkách 1 mm-1 m.

1.1.3 Charakteristika digitálních dat

Halounová a Pavelka (2005) i Dobrovolný (1998) popisují základní charakteristiky každého snímku, resp. Snímače v DPZ a dělí je na spektrální, prostorové, časové a radiometrické rozlišení.

Spektrální rozlišení

Jak již autor zmiňuje výše spektrální rozlišení popisuje data z hlediska částí spektra, ve kterých jsou nasnímána. Tento typ rozlišení udává, jak široká jsou jednotlivá pásma z hlediska vlnové délky a kolik pásem data obsahují.

Jako příklad autoři uvádí černobílý film, který zachycuje vlnové záření téměř celé viditelné části elektromagnetického spektra, film barevný je také citlivý na odražené záření viditelné části spektra, ale má větší spektrální rozlišení. Důvodem je citlivost na odraženou energii individuálně v modrém, zeleném a červeném pásmu.

Systémy DPZ snímají určité počty spektrálních pásem v odlišných a různě širokých intervalech vlnových délek. Senzory poskytující několik širších kanálů v různých částech spektra vytváří snímky multispektrální. Zatímco u senzorů pořizujících data v mnoha úzkých navazujících kanálech se jedná o data hyperspektrální.

Využití těchto vlastností je časté zejména u detekce objektů, kdy vycházíme z faktu, že některé objekty je možné identifikovat v určitých částech spektra lépe než v jiných. Zatímco například voda či vegetace mohou být rozlišeny v široké části spektra, tak například geologické objekty je možné rozlišit pouze v úzkých částech spektra.

Prostorové rozlišení

Zásadní roli o detailu prostorové informace hraje vzdálenost cíle od snímacího zařízení. Se zvětšující se vzdáleností získáváme rozsáhlejší obraz území, ovšem nižší detail.

Prostorové rozlišení snímku vypovídá o velikosti nejmenšího prvku, který je možno rozeznat.

Časové rozlišení

Výše zmínění autoři v DPZ berou v potaz kromě prostorového a radiometrického rozlišení také rozlišení časové. Absolutním časovým rozlišením nazývají periodu, kdy je stejná oblast snímačem zaznamenána znovu ze stejného úhlu. Časové rozlišení skutečně závisí na mnoha

faktorech, zejména na vlastnostech nosiče snímače, charakteru oběžné dráhy a také na velikosti překryvu sousedních snímků. Zatímco u družic s vysokým prostorovým rozlišením je perioda vysoká, tak například v případě UAV, které jako nosič bylo použito i v této práci, závisí perioda na pilotovi. Právě možnost pořizovat snímky stejného území a provádět jejich analýzu je velmi důležitým předpokladem pro využití dat. Charakteristiky daného území se mohou v průběhu periody přeletu měnit a z takové časové řady dat je možné analyzovat změny, které ve sledované oblasti v průběhu měsíců, či let nastaly.

Radiometrické rozlišení

Canada Centre for Mapping and Earth Observation (2016) uvádí, že zatímco uspořádání pixelů popisuje prostorovou strukturu obrazu, radiometrické charakteristiky popisují skutečný informační obsah v obraze. Pokaždé, když je snímek pořízen na filmu nebo senzorem, jeho citlivost na velikost elektromagnetické energie určuje radiometrické rozlišení. Radiometrické rozlišení zobrazovacího systému popisuje jeho schopnost rozlišovat velmi malé rozdíly v energii. Čím jemnější je radiometrické rozlišení senzoru, tím citlivější je detekovat malé rozdíly v odražené nebo emitované energii.

1.1.4 Pořizování dat

Jak již autor zmiňuje v předchozí kapitole, prostředků využitelných k DPZ je celá řada. Na jedné straně nosiče s velmi nízkým prostorovým rozlišením, jako například družice, a na straně druhé takové, které operují v menších výškách jako například balóny, letadla, či drony.

Pro tuto diplomovou práci byl využit poslední zmíněný prostředek, tedy UAV. V dalších kapitolách se tedy autor soustředí zejména na problematiku spojenou s dálkovým průzkumem právě pomocí dronů.

1.2 Bezpilotní letecké prostředky

Karas s Tichým (2016) popisují bezpilotní letecké prostředky (drony), jako letecké systémy dlouhodobě se používající v obranném průmyslu.

Již z názvu lze odvodit, že se jedná o létající stroj bez lidské posádky na palubě. Slovo bezpilotní však necharakterizuje úplnou nepřítomnost pilota, nýbrž fakt, že stroj je řízen dálkově a chování stroje je plně v rukou obsluhy. Řízení pilotem na vzdáleném stanovišti však může probíhat pouze částečně. Další možností je automatizované řízení, kdy je stroj řízen podle definovaných bodů, či autonomních systémů. (UAV, 2019)

Karas a Tichý (2016) dodávají, že po uvolnění těchto původně vojenských technologií do civilního světa se počátkem 21. století dočkaly výroby první komerční systémy, které měly menší velikost a jednodušší ovládání.

1.2.1 Rozdělení UAV

Bezpilotní letecké prostředky můžeme rozdělit na několik základních typů, které se vyvíjely v průběhu historie z důvodu potřeby využití k různým účelům. UAV (2019) uvádí tyto typy:

- Cíle a návnady – tento druh slouží k simulaci vzdušného cíle pro vojenské jednotky. Využití nachází především při tréninkových akcích.
- Průzkumné – průzkumné UAV má za úkol poskytovat informace o vzdálené oblasti.
- Bojové – bojový dron je vojenskou jednotkou schopnou boje v misích, kde je příliš vysoké riziko pro nasazení lidské posádky.
- Logistické – UAV uzpůsobené čistě k logistickým účelům, příkladem může být přesun nákladu do nedostupné oblasti.
- Výzkumné a vývojové – tyto stroje slouží pro vědecké účely ve vývoji UAV technologií.
- Civilní a komerční – drony této kategorie jsou vyvinuty pro širší veřejnost a obchod.

V praktické části této DP byl použit bezpilotní letecký prostředek z poslední kategorie. Kategorie komerčních dronů lze dělit podle mnoha kritérií. Karas s Tichým (2016) uvádí konkrétní rozdělení podle cílového zaměření na uživatele běžné, pokročilé a profesionální. Dále dělí UAV podle pohonu a typu na spalovací či elektrické letouny a multikoptéry. Dalším kritériem je způsob ovládání dronu, které může být kromě zcela manuálního také automatické, kombinované, či autonomní. Úřad pro civilní letectví jasně určuje také váhové kategorie, tedy rozdělení podle celkové hmotnosti. Dále lze drony dělit například podle počtu motorů, nosnosti, či dostupné výšky a vzdálenosti.

1.2.2 Historie

Historie UAV sahá až ke konci 19. století k Nikola Teslovi, který si roku 1898 nechává patentovat takzvanou „teleautomatizaci“, jednalo se o dálkové ovládání motorové lodě na vodě. Postupem času vyšlo najevo, že v jeho studiích uvažoval i o sestrojení UAS.

První bezpilotní letadlo zvané Aerial Target vyprojektoval známý vynálezce torpéd a řízených raket Archibald Montgomery Low. První bezpilotní letouny byly využívány zejména k vojenským účelům – jako řízená torpéda, kromě toho ale našly využití při nácvičce střelby na letící cíl. Konkrétně tomu tak bylo například u bezpilotních prostředků přezdívaných Včelí královny, které byly využívány britským královským námořnictvem jako cvičné terče. (Karas a Tichý, 2016)

Během druhé světové války demonstroval inovační program V-1, nazývaný taky zbraň pomsty nebo létající bomba, nacistického Německa hrozbu, kterou může UAV v boji představovat. Pokusy Ameriky o odstranění V-1 položily základy pro poválečné UAV programy v USA. (Nova, 2002)

V 60. letech přebírají drony novou roli, USA je nasazuje jako průzkumná letecká zařízení sloužící zejména ve Vietnamu, či v arabsko-izraelské válce. V dalších letech se však velmocí soustředí na dobývání vesmíru a priority se přesouvají k družicovému systému a monitoringu oběžné dráhy. (UAV, 2019)

Výzkum se přesouvá do Izraele, během pozdních sedmdesátých let a v průběhu osmdesátých let izraelské letectvo, agresivní vývojář UAV, propagoval několik důležitých nových UAV, jejichž verze byly integrovány do flotily UAV mnoha dalších zemí, včetně USA. (Nova, 2002)

Za nejznámější vojenský dron je podle Karase s Tichým (2016) považován MQ-1 Predátor z roku 1994, který využívá letectvo spojených států. Dříve známý pod zkratkou RQ, „R“ jako výzkumný a „Q“ jako bezpilotní. Změna proběhla po incidentu 11. září 2001, kdy písmeno „R“ nahrazuje „M“ jako multifunkční. Tato změna v praxi znamenala osazení dronu řízenými střelami a tím vzniká ozbrojená verze se systémem k likvidaci teroristů.

Následně se začínají vojenské drony více modifikovat. V současné době zastávají pozici v mnoha vysoce technických vojenských arzenálech mnoha zemí od USA až po Asii. Rovněž také hrají mírovou roli jako monitory prostředí Země. (Nova, 2002)

I přes mnoho odpůrců i příznivců ve využití dronů pro armádní účely uvádí Karas s Tichým (2016) několik pozitivních důsledků spjatých s technologickým vývojem v tomto odvětví. Jako zásadní uvádí například volné šíření globálního polohovacího systému, velký rozvoj pohonných baterií a jejich kapacit, rozvoj závěsných senzorů, či pokročilé programování ovládacích softwarů. Dalším pozitivním faktorem ve vývoji tohoto odvětví je dostupnost těchto technologií široké veřejnosti a tím tedy i neustále zvětšování základny uživatelů, kteří mohou využívat drony k novým účelům.

1.2.3 Výhody a nevýhody UAV

Vzhledem k tématu práce se nadále autor věnuje především komerčním typům UAV, protože právě tento typ byl použit ke sběru dat pro zpracování v praktické části.

Karas s Tichým (2016) se věnují problematice kladů a záporů právě tohoto typu dronů, úvodem podotýkají, že tento typ má relativně krátkou historii a neustále se vyvíjí. Jako každá technologie přináší výhody ale i nedostatky, díky neustálému vývoji se ale tato technologie neustále zdokonaluje. Základní prioritou je důraz na bezpečnost, a to jak osob provozujících UAV, tak osob provozu nezúčastněných.

Eisenbeiss (2009) ve své práci zmiňuje jako nejzásadnější výhodu možnost využití UAV v riskantních situacích bez toho, aniž by byl ohrožen lidský život pilota. Příkladem je operování na těžko přístupných místech, nebo v blízkosti objektů kde let s posádkou není možné uskutečnit. Jako výhodu ovlivňující využití v DPZ uvádí Eisenbeiss zejména možnosti vertikálního startu a také letu a snímání při oblačnosti, či slabém mrholení. Důvodem je výrazně nižší letová výška proti ostatním nosičům snímáče. Dnešní UAV technologie umožňují také implementaci stabilizačních a navigačních jednotek podporujících přesnou trajektorii letu a potřebné pokrytí obrazu s přesahy.

Karas a Tichý (2016) popisují také základní nevýhody využití dronů. Mezi nimi zmiňují zejména dolet, letový čas, nízkou nosnost a nejednotnou mezinárodní legislativu. Co se doletu týče je logické, že drony nemohou pilotovaným strojům konkurovat ve vzdálenosti doletu a výdrži ve vzdušném prostoru. Zároveň však dodávají, že v dnešní době technologického vývoje UAV se začínají vyvíjet i drony, které by měli v této oblasti pokročit tak, že by tyto stroje byly schopny vydržet ve vzduchu až 3 měsíce a pohybovat se ve výšce do 24 km.

Problém s nízkou nosností vnímá Eisenbeiss (2009) hlavně v souvislosti s limitováním rozměrů a hmotnosti kamery, a to hlavně u levnějších modelů. Tyto modely mají většinou kameru malého či středního formátu s méně stabilními senzory, které neposkytují možnost dosáhnout takové kvality snímků z hlediska rozlišení a pokrytí obrazu. Kvůli omezení hmotnosti jsou tyto stroje osazeny navigací s nižšími hmotnostmi, což má za následek menší přesnost výsledků. Dále jsou UAV vybaveny méně výkonnými motory, které omezují výšku, které stroj může dosáhnout.

Dalším problémem je pro Karase a Tichého (2016) odlišná legislativa v různých státech pro provoz dronů. To má za následek nutnost nastudovat legislativu daného státu před provozem dronu. V současné době všeobecně dronům není povolen pohyb v určitých letových hladinách a jejich provoz bude vždy podřízen klasickému letovému provozu. Tato situace se může zlepšit

ve chvíli kdy budou vybavovány drony tzv. odpovídačem, který identifikuje přesnou polohu v letovém prostoru. Do té doby jsou drony neviditelné pro pilotované prostředky a mohou představovat hrozbu.

1.2.4 Technologická platforma UAV

Sládek a Rusnák (2013) uvádí, že základní principy fungování každého bezpilotního systému jsou velmi podobné, bez ohledu na kategorii, do které je daný systém řazen. Většinu UAV tvoří tři základní moduly: letecký, pozemní ovládací (řídící) a snímací. Letecký modul je samotný nosič přístrojů, ve kterém je umístěna řídící elektronika a záznamové zařízení jako například fotoaparát, videokamera nebo spektrální kamera). Ovládací modul obstarává obsluhu stroje pilotem. Jak již bylo řečeno v úvodu kapitoly, existuje několik způsobů, jak lze UAV řídit. První je manuální, při něm operátor ze země řídí pohyb stroje, jeho funkce a funkce připojených periferních zařízení na palubě pomocí vysílače nebo počítače. Druhý způsob je automatický (autonomní) - do létajícího zařízení je naprogramována dráha letu (většinou podle navigačních bodů importovaných do navigačního modulu), místo přistání a činnost, kterou má zařízení provádět během letu (snímkování, natáčení videa, sběr dat apod.). Třetí způsob představuje kombinaci předchozích dvou tedy takzvané poloautomatické řízení, kde se některé kroky mohou naprogramovat pro automatickou funkčnost a operátor se pak může soustředit například pouze na pilotování nebo sběr dat. Třetí modul zpracování představuje soubor softwarových produktů navržených pro zpracování konkrétního druhu získaných dat.

1.2.5 Faktory ovlivňující snímání

Parametry ovlivňující celkový výsledek snímání zkoumané oblasti lze rozdělit na takové, které ovlivňují samotný let stroje a ty, které ovlivní získaná data.

Této problematice se věnuje Miřijovský (2013), který do první skupiny řadí vytrvalost, nosnost, typ stroje, lokalitu, meteorologickou situaci, světelné podmínky a legislativu. Mezi základní faktory ovlivňující získaná data řadí letovou výšku, ohniskovou vzdálenost, měřítko snímku a prostorové rozlišení. Jednotlivé parametry jsou velmi často úzce provázány a navzájem se ovlivňují.

Vytrvalost

Vytrvalost neboli doba letu bezpilotního prostředku je dle Austina (2010) závislá na dalších parametrech jako je letová výška, typ pohonu či velikost dronu. Širokou škálu hodnot, které dnešní stroje nabízí, dělí do čtyř skupin.

- **Dlouhý dolet**, který se definuje nad 8000 m, stroje sloužící k rozsáhlému průzkumu a je tedy nutné, aby nesly náležitě vybavení. To samozřejmě ovlivňuje nároky na nosnost UAV.
- **Střední dolet** od 4 do 8 kilometrů patří mnoho strojů, které slouží zejména pro vedení průzkumných a kontrolních činností.
- **Omezený dolet** zařazeno několik oblastí od vojenských až po komerční užití. Tyto systémy operují v nižší letové výšce a mnohdy i v uzavřené oblasti. To vyžaduje rychlou odezvu pro lepší ovladatelnost systému. Do této kategorie řadí Austin tzv. MUAV (mini arial unmaned vehicle) ten je definován jako velmi flexibilní bezpilotní systém s možností montáže a demontáže přímo v místě operace, a to s nasazením nejvíce dvou osob. Koncept MUAV je zpravidla napájen akumulátory, což jeho dolet velmi limituje.

Nosnost

Nosnost dle Austina (2010) limituje využití určitého vybavení dle hmotnosti. Je tedy třeba zvolit vhodně senzor podle cíle sběru dat a podle toho vybrat vhodný stroj, který svými parametry splňuje požadovanou nosnost.

Výška letu

Miřijovský (2013) tento faktor považuje za jeden z nejdůležitějších z hlediska pořizování snímků. Letová výška ovlivňuje rozlišovací schopnost snímku a velikost výsledné scény, kterou tento snímek zachycuje. Určení tohoto parametru pro snímání musí být v souladu s později zmíněnou legislativou daného území.

Typ stroje

Každý typ nabízí jiné možnosti v oblastech plynulosti letu, ovládání a možnosti autonomie apod. Proto je při samotném výběru UAV vhodné znát účel využití a cíl snímání.

Lokalita

Lokalita snímání je rozhodující faktorem v souvislosti s ostatními parametry ovlivňujícími sběr. Při potřebě snímání v uzavřené oblasti je vhodné volit stroje s rychlou odezvou a menším doletem, naopak při rozsáhlém monitoringu je třeba vytrvalosti větší. Lokalita zároveň ovlivňuje meteorologické podmínky dané oblasti, které sběr dat ovlivňují a v neposlední řadě také riziko odlišné legislativy daného území pro let s UAV.

Meteorologická situace

Porovnáme-li vliv tohoto parametru s klasickými metodami snímání kupříkladu z letounu, či družic je u UAV příznivější. U klasických konvenčních metod tento parametr ovlivňuje snímání natolik, že situace je příznivá několik desítek dní v roce. I přesto existují meteorologické faktory, které mohou snímání pomocí UAV negativně ovlivnit. Miřijovský (2013) uvádí zejména rychlost větru, která vzhledem k hmotnosti stroje může způsobit velmi nepříznivé podmínky, či neschopnost letu. Další negativní vliv může způsobit déšť, který z hlediska konstrukce UAV snímání znemožňuje.

Legislativa

Všechny dokumenty týkající se bezpilotních systémů a jejich provozu vychází ze zákona č. 49/1997 Sb., o civilním letectví ve znění pozdějších předpisů a dále vyhlášky k č.108/1997 Sb., k tomuto zákonu. (Úřad pro civilní letectví, 2015)

Zásadním dokumentem pro bezpilotní prostředky je Doplněk X, který nabyl v platnost 1.3.2012. Tento dokument uveřejňuje Letecká informační služba (LIS), která spadá pod Ministerstvo dopravy ČR.

Doplněk X sestává ze 17 ustanovení (Definice, Rozsah působnosti, Bezpečnost, Dohled pilota, Odpovědnost, Ukončení letu, Prostory, Ochranná pásma, Meteorologická minima, Nebezpečný náklad, Shazování nákladu, Pohyb pilota, Letecká veřejná vystoupení, Ostatní legislativa, Pohon, Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla a Hlášení událostí).

Doplněk X dělí využití prostředku pro rekreační a sportovní účely, či výtěžnou a výzkumnou činnost. Zatímco pro sportovní a rekreační účely se jedná o doporučení, pro skupinu druhou jsou předpisy závazné. (Doplněk X, 2019)

2 SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ

2.1 Krajina

Odborná literatura popisuje pojem krajina několika definicemi. Definice různých autorů reprezentují úhel jejich pohledu na problematiku, zatímco někteří pohlíží na krajinu z geografického hlediska, jiní například z ekologického, či antropologického. Zákon 114/1992 Sb. (1998) definuje krajinu jako část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, která je tvořena souborem propojených ekosystémů s civilizačními prvky.

Další definici uvádí B. Roberts (1987): „Krajina je množina reálně existujících kulturních a přírodních objektů, které dávají zemskému povrchu charakter a pestrost.“ Naproti tomu Forman popisuje krajinu spíše z ekologického hlediska jako „Území o řádové rozloze čtverečních kilometrů složené z ekosystémů, které se navzájem ovlivňují.“

Pilný (1993) i Dobrovolný (1998) ve svých publikacích podotýkají, že většina přírodních i umělých jevů podléhá časovým změnám a je třeba je sledovat.

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, se zpracováním a analýzou změn v krajině pomocí DPZ úzce souvisí časové rozlišení. Ke studiu krajiny je však nutné znát prvky které sledovanou krajinu tvoří a vazby a zákonitosti mezi nimi.

2.2 Struktura krajiny

Autoři uvádějí dvě hlavní složky krajiny, složku přírodní a antropogenní. Do antropogenní složky lze zařadit těžbu, nebo například dopravu a zemědělství, složky přírodní autoři dělí na dvě podskupiny – živé a neživé. Mezi živé podskupiny patří fauna a flóra a jako příklad neživých lze uvést například zemskou kůru, či klima.

V souvislosti s tématem sledování změn v krajině je často používáno termínů land use a land cover, které je nutné rozlišovat.

Di Gregorio (2005) ve své publikaci uvádí, že definice krajinného pokryvu (land cover) je zásadní, protože v mnoha existujících klasifikacích a legendách je často zaměňována s využíváním půdy (land use).

Pozemní kryt definuje jako pozorovaný (bio) fyzický kryt na zemském povrchu.

Při zvažování krajinného pokryvu ve velmi přísném smyslu by mělo být omezeno na popis vegetace a umělých prvků. V důsledku toho jsou oblasti, kde se povrch skládá z holé skály nebo holé půdy, spíše půdy než zemského povrchu. Je také sporné, zda vodní plochy jsou skutečným

krajinným pokryvem. V praxi však vědecká komunita tyto rysy obvykle zahrnuje v rámci termínů zemského pokryvu.

Využití půdy je charakterizováno opatřeními, činnostmi a vstupy, které lidé v určitém typu krajinného pokryvu provádějí, aby jej vyráběli, měnili nebo udržovali. Definice využití půdy tímto způsobem vytváří přímé spojení mezi krajinným pokryvem a činnostmi lidí v jejich prostředí.

V následujících příkladech Di Gregorio (2005) ilustruje výše uvedené definice. Travní porosty jsou termínem zemského krytu, oproti tomu pastviny, či tenisové kurty, označují využití travního krytu – tedy land use. Rekreační oblast je pojem využití území, který může být použitelný pro různé typy krajiny, například písčité povrchy - pláž, zastavěná plocha - jako zábavní park, nebo lesy.

2.3 Detekce změn

Dobrovolný (1998) uvádí, že chceme-li sledovat a detekovat změny v krajině, je nutné použít data pořízená v odlišných časových horizontech. Popisuje pojem multitemporální data jako data, pořizovaná na stejném místě opakovaně a v určitém časovém intervalu. K tomuto snímání dochází pomocí distančních metod (družicových snímků, či v práci využitého UAV). Data takto snímaná vytváří časovou řadu, díky tomu lze analyzovat vývoj jednotlivých snímaných prvků v čase. Monitorování těchto změn, resp. jevů, které mohou v krajině nastat dělíme od krátkodobé, jako například sledování změn vodní hladiny, až po dlouhodobé, mezi které lze zařadit například plošné kácení lesů.

Využitím již zmíněných poznatků jako intervalů spektra a spektrálního chování povrchů lze různými metodami zvýraznění, analogové interpretace či automatických klasifikací velmi dobře rozeznat jednotlivé druhy povrchů. Změny poté lze sledovat vzájemným porovnáním výše popsaných multitemporálních snímků. (GISAT, 2015)

Skokanová (2011) uvádí, že aktivity člověka, týkající se zejména využití krajiny, mohou ovlivnit do určité míry i místní klima, či v extrémním případě mohou mít vliv na globální klimatický systém. Tyto změny, které dělí na složku fyzicko-geografickou a socioekonomickou, je tedy důležité sledovat a detekovat, neboť mohou mít dopad na budoucí využitelnost krajiny a její potenciál.

Dobrovolný (1998) dále popisuje základní požadavek pro detekci změn a tím je samotná přítomnost této změny objektu. Popisuje možnosti zaznamenání třech druhů změn objektů.

- Změna prostorové charakteristiky objektu, kdy se spektrální charakteristiky nezměnily

- Změna spektrální charakteristiky, kdy se prostorové charakteristiky nezměnily
- Změna spektrální i prostorové charakteristiky objektu

Dodává, že při sledování spektrálních charakteristik může nastat situace, kdy stejný objekt, zachycený v různém čase, má různé radiometrické hodnoty. Pro správnou analýzu časových změn je tedy důležitá schopnost odlišení podstatných změn od nepodstatných. Příkladem nepodstatné změny je například změna dynamických parametrů, odlišná vlhkost či osvětlení.

Dobrovolný (1998) pokračuje popisem ideálního příkladu dat pro multitemporální analýzu, ta by měla splňovat následující podmínky:

- Obrazy tvoří chronologicky uspořádanou řadu nejméně dvou členů.
- Obrazy jsou pořízeny analogickým snímacím zařízením, které má pravidelnou periodu přeletů a zaznamenává stejnou část zemského povrchu.
- Obrazy jsou pořízeny ve stejnou denní a roční dobu.
- Data jsou pořízena ve stejném měřítku, pod stejným úhlem záběru a jsou eliminovány vlivy reliéfu na radiační hodnoty objektů.
- Data jsou pořízena ve stejných spektrálních pásmech a se stejným radiometrickým rozlišením.

2.1 Využití UAV pro sledování změn v krajině

Jak již bylo řečeno v úvodních kapitolách spektrum využití DPZ pro sledování změn v krajině je velmi široké, a to v mnoha vědních oblastech. V této kapitole se autor zaměřuje na stav aktuální problematiky se zaměřením na využití sledování změn pomocí UAV. Vzhledem k tématu práce se autor zaměřuje zejména na studie, které se zabývají využitím snímků z viditelného RGB spektra.

Velmi časté využití sledování změn pomocí UAV je v zemědělství. Wan, Li a Cen (2018) uvádí ve své publikaci využití snímků pořízených z UAV a následnými úpravami k odhadu počtu květů řepky olejky na základě zpracování pomocí vegetačních indexů a klasifikačních úprav. Vzdálený odhad počtu květů řepky olejky při různých ošetření dusíkem je nezbytný v přesném zemědělství a v polním dálkovém průzkumu, což může pomoci předpovědět výnos řepky olejky.

Lussem a kolektiv (2017) se ve své publikaci zabývají případovou studií monitoringu travních porostů, a to za použití levných UAV, zejména z důvodu vyšší cenové dostupnosti oproti dražším technologiím, které umožňují snímání v různých částech spektra. Sledování spektrální

odezvy intenzivně obhospodařovaných travních porostů během vegetačního období umožňuje zemědělcům optimalizaci vstupů hnojiv sledováním růstu rostlin.

Lu, Zhou a Han (2019) se ve své studii zabývají vylepšeným odhad nadzemní biomasy v pšenici ze snímků RGB a bodových cloudových dat získaných rovněž, jako předchozí případ, levným systémem bezpilotních vzdušných vozidel. Jejich experimenty byly provedeny v letech 2016 a 2017 a zkoumání zahrnovala 36 polních pozemků a jejich úrovně hnojení dusíkem a hustotu setí. Vyhodnocovali výkonnost vegetačních indexů, metriku výšky baldachýnu a jejich kombinaci pro odhad nadzemní biomasy v pšenici.

Další případ využití v zemědělství, opět úzce spojen se snahou snížení nákladovosti popisuje Ziliani a kolektiv (2018). Ve své práci zkoumají variabilitu výšky plodin v sezoně na komerčních farmách s použitím UAV s pevnými křídly. Sledování vývoje výšky vegetace v čase poskytuje klíčový ukazatel zdraví plodin a celkového stavu. Důvodem jejich výzkumu je fakt, že tradiční ruční přístupy k monitorování výšky plodin jsou obecně náročné na čas, pracné a nepraktické pro rozsáhlé operace. Dynamické výšky plodin shromážděné během sezóny umožňují identifikovat problémy v terénu v kritických stádiích růstového cyklu, což poskytuje mechanismus nápravných opatření proti ztrátám na konci sezóny. S pokrokem v technologii bezpilotních vzdušných vozidel (UAV) je nyní možné rutinní sledování výšky kdykoli v průběhu růstového cyklu možné. Ve své práci našli vzájemnou korelaci mezi výslednými daty skenování LiDAR a zpracovanými snímky z UAV, jejich výsledky ukazují, že získávání rozlišení 10 cm poskytuje spolehlivý produkt, který poskytuje kompromis mezi výpočetními náklady a prostorovou věrností.

Hassanhein, Lari a El-Sheimy (2018) ve své práci popisují nový přístup k segmentaci vegetace pro oříznutá pole na základě detekce prahu z odstínů histogramů. Jejich výzkum vychází z myšlenky snížení nákladu na monitorování vegetace v zemědělství, jelikož snímání multispektrálních snímků je nákladné bylo pro rozšíření používání obrazových systémů UAV pro aplikace PA důležité snížit náklady na takové systémy pomocí nízkonákladových kamer RGB. Práce zavádí novou metodiku segmentace vegetace pro levné obrázky UAV RGB, která závisí na použití barevného kanálu Hue. Navrhovaná metodika vychází z předpokladu, že barvy v jakémkoli poli zemědělského pole lze rozdělit do vegetačních a ne-vegetačních barev. Proto jsou vyvinuty čtyři hlavní kroky k detekci pěti různých prahových hodnot pomocí histogramu odstínu obrazu RGB, tyto prahy jsou schopné rozlišit dominantní barvu, ať už vegetaci nebo ne vegetaci, v rámci obrazu zemědělského pole.

V oblasti geografického výzkumu vodních ploch se této problematice věnují Valencia, Palma a Changolouisa (2020), kteří ve své studii zkoumají mokřady v andské oblasti kde zkoumají

změny v důsledku rozšíření hranic v zemědělství a lidských činnostech. Narušením tohoto ekosystému, ničením nebo změnou mokřadů se mění zátěž a dotace vody do hydrologických systémů, které poskytují vodu do hlavních měst v oblasti. Tato práce se proto zaměřuje na vytvoření rámce pro monitorování mokřadů v andské oblasti Paramo pomocí bezpilotních vzdušných vozidel (UAV) s RGB kamerou.

Casapia, Falen, Bartholomeus a kolektiv (2020) popisují ve své práci využití snímku z UAV k identifikaci a kvantifikaci množství ekonomicky důležitých palem v tropickém vlhkém lese.

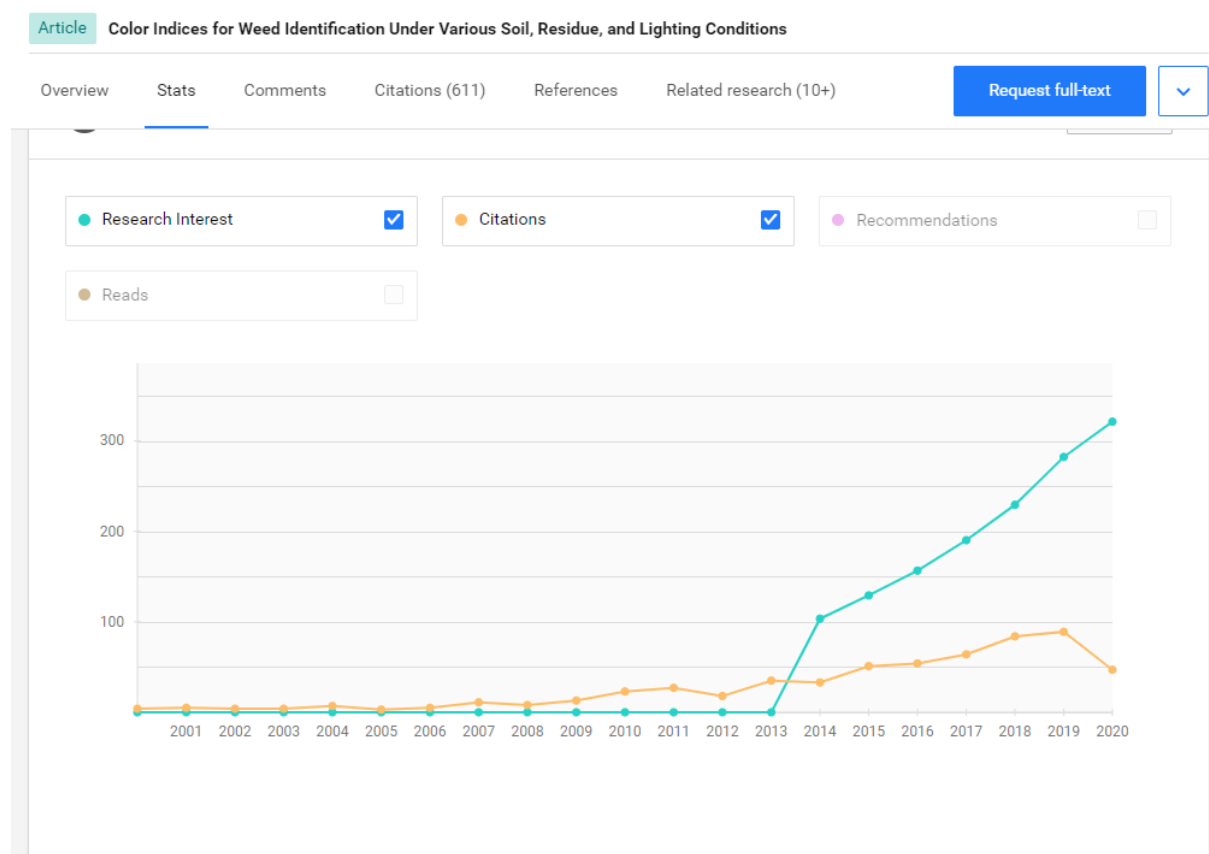
Další velmi blízká studie tématu práce je výzkum Beniacha a kolektivu (2020), kteří se zabývali stanovením viditelných indexů na vzorcích rostlinných pokryvů za použití UAV s palubním RGB snímačem. Ve studii uvádějí, že trvalé sledování vegetačního pokryvu je důležité pro zajištění udržitelného řízení zemědělských činností, přičemž významnou roli hraje snižování vodní eroze. Toto monitorování lze provádět pomocí různých ukazatelů, jako jsou indexy vegetačního pokrytí. V této studii byl index vegetačního pokrytí získán za použití nekalibrovaných RGB obrazů generovaných z digitálního fotoaparátu na bezpilotním vzdušném vozidle (UAV). Kromě toho byla provedena srovnávací studie s 11 vegetačními indexy. Indexy vegetace CIVE a EXG představovaly lepší výkonnost a index WI představoval nejhorší výkon v klasifikační klasifikaci během cyklů bobů a prosa. Vegetační indexy byly účinným nástrojem při získávání indexu půdní pokrývky. Na chování studovaných vegetačních indexů měl vliv cyklus zkoumaných rostlin. Indexy vegetace generované z RGB snímků získaných UAV byly dle studie praktičtější a efektivnější, což umožnilo častější monitorování, a to v širší oblasti.

Costa a kolektiv (2020) ve své studii popisují, že bylo vyvinuto několik vegetačních indexů, přičemž normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI) se stal nejvíce studovaným a běžně používaným. Pro vygenerování mapy NDVI je vyžadován relativně nákladný multispektrální senzor, ale v současné době je většina UAV vybavena nízkonákladovými RGB kamerami. Z tohoto důvodu byly vyvinuty další indexy, které využívají RGB data, aby vytvořily mapy podobné NDVI a minimalizovaly náklady na získávání dat, jako je trojúhelníkový index zeleně (TGI) a viditelný index odolnosti vůči atmosférickým podmínkám (VARI). Několik studií však zjistilo, že tyto indexy nelze doporučit jako spolehlivé indikátory zdraví plodin pro obecné účely. Tato studie využívá genetický algoritmus k vytvoření nového viditelného indexu (viditelný NDVI; vNDVI), který odhaduje hodnoty NDVI vegetace z nekalibrovaných RGB kamer namontovaných na UAV (nebo jiných vzdálených snímacích plošinách). Byly provedeny tři experimenty k vytvoření a ověření navrhovaného indexu. Nejprve byly hodnoty NDVI generované z multispektrální kamery porovnány s hodnotami NDVI generovanými

hyperspektrální kamerou. Ve druhém experimentu byl vzorec vNDVI vytvořen pomocí genetického algoritmu. Třetí experiment potvrzuje navrhovaný vNDVI, vytvořený ze dvou nekalibrovaných RGB kamer, ve třech různých plodinách (citrus, hrozny a cukrová třtina). Navrhovaný vNDVI se ukázal jako vysoce přesný při odhadu hodnot NDVI pomocí RGB kamer s celkovou střední procentuální chybou 6,89 % a střední průměrnou chybou 0,052 u všech plodin, což poskytuje nízkonákladovou alternativu pro dálkové snímání a fenotypizaci rostlin.

Tyto a mnoho dalších studií dokazují zvýšený zájem o výzkum a zefektivnění zkoumání změn v krajině za pomoci UAV a indexů viditelného spektra. Mnoho z nich vychází ze starší studie publikovanou Woebbeckem a kolektivem v roce 1995, který se sledováním změn pomocí RGB snímků zabýval taktéž. Rozdílem mezi současnými výzkumy byla platforma snímání, pro sběr dat bylo místo UAV využito letadlo.

Na Obrázku 2 je možné pozorovat v posledních letech zvýšený zájem o 25 let starou publikaci.



Obrázek 2: Zobrazení vzrůstu zájmu o téma RGB indexů Woebbecke

Zdroj: ResearchGate (2020)

3 POSTUPY ZPRACOVÁNÍ A ANALÝZY DAT

Digitální interpretace obrazu a analýza zahrnuje manipulaci a interpretaci digitálních obrazů pomocí počítače. Tato forma dálkového průzkumu začala v šedesátých letech 20. století s omezeným počtem výzkumníků, kteří analyzovali multispektrální data skeneru a digitalizované letecké snímky. To se stalo po spuštění Landsat-1, v roce 1972, kdy se digitální obrazová data stala se široce dostupná pro aplikace dálkového průzkumu Země. V té době nejen, že byla teorie a praxe digitálního zpracování obrazu v plenkách, ale i náklady na digitální počítače byly velmi vysoké a jejich výpočetní efektivita byla velmi nízká oproti moderním standardům.

Dnes je běžný přístup k levnému a efektivnímu počítačovému hardwaru a softwaru a zdroje digitálních obrazových dat jsou rozmanité a rozmanité. Tyto zdroje sahají od komerčních a vládních družicových systémů zemských zdrojů, přes meteorologické satelity až po data ve vzdušných skenerech, vzdušných digitálních kamerách, obrazová data generovaná fotogrammetrickými skenery a další digitalizační systémy s vysokým rozlišením. (Lilesand a Kiefer, 2007)

Halounová a Pavelka (2005) považují zpracování dat za tak široký pojem, že do něj zahrnují 4 druhy operací.

- **Rektifikace a restaurace dat tzv. předzpracování**
- **Zvýraznění obrazu**
- **Klasifikace**
- **Postklasifikační úpravy a spojování dat**

Lilesand a Kiefer (2007) ve své publikaci stejně jako Halounová a Pavelka (2005) podotýkají, že digitální zpracování obrazu je matematicky velmi širokým tématem a často se odvolává na postupy, které mohou být matematicky složité. Ústřední myšlenka digitálního zpracování obrazu je velmi jednoduchá. Digitální obraz je obvykle vkládán do počítače po jednom pixelu. Počítač je naprogramován tak, aby vložil tato data do rovnice nebo řady rovnic a poté uložil výsledky výpočtu pro každý pixel. Tyto výsledky tvoří nový digitální obraz, který může být zobrazen nebo zaznamenán v obrazovém formátu nebo může být dále zpracován dalšími programy.

Na rozdíl od Halounové a Pavelky uvádí Lilesand a Kiefer sedm typů operací, do kterých lze zařadit postupy zpracování dat. K prvním čtyřem výše uvedeným dodávají také hyperspektrální analýzu obrazu, biofyzikální modelování a také přenos a kompresi obrazu.

Dobrovolný (1998) v tomto tématu uznává téměř identické dělení jako Lilesand s Kieferem, ale jako jeden samostatný druh operací zpracování obrazu uvádí navíc samostatné studium dynamiky jevů.

3.1 Předzpracování záznamů

Cílem těchto operací je dle Lilesanda a Kiefera (2007) opravit zkreslená nebo degradovaná obrazová data, aby se vytvořila věrnější reprezentace původní scény. To typicky zahrnuje počáteční zpracování surových obrazových dat pro korekci geometrických zkreslení, kalibraci radiometrických datových dat a odstranění šumu přítomného v datech. Povaha jakéhokoliv konkrétního procesu obnovy obrazu je tedy do značné míry závislá na vlastnostech snímače použitého pro získání obrazových dat. Postupy pro opravu a obnovu obrazu jsou často označovány jako operace předběžného zpracování, protože obvykle předcházejí další manipulaci a analýze obrazových dat pro získání specifických informací.

Stejně tak Halounová a Pavelkou (2005) říkají, že hlavní cíl těchto operací je oprava dat, která byla afektována zkreslením, nebo degradací při procesu získávání. Přístup se liší v závislosti na druhu dat. Předzpracováním nebo tzv. rektifikací je docíleno oprav polohových chyb, či restaurace chyb radiometrických. Zkráceně se tedy jedná o počáteční zpracování originálních dat, úpravu geometrických zkreslení, radiometrickou kalibraci, či eliminaci šumu.

Dobrovolný (1998) dále doplňuje, že nepřesnosti v záznamu je možné popsat z několika různých hledisek. Jako první hledisko uvádí zdroj nepřesností vzniklých v obrazovém záznamu. Může tedy jít o nedokonalost ve snímacím zařízení, problémy způsobující atmosféra jakožto prostředí mezi snímačem a sledovaným objektem a podobně.

Jako další hledisko uvádí dělení na systematické a náhodné chyby. Systematické chyby popisuje jako chyby, které jsou opakovatelné. Jedná se například o zkreslení objektů, které vzniká jako důsledek zakřivení nebo rotace Země. Jejich velikost tedy lze předvídat a lze je dobře modelovat. Na druhé straně však záznamy obsahují řadu chyb náhodného charakteru způsobené například změnami parametrů trajektorie nosiče, či výpadek snímače v průběhu pozorování. Tyto náhodné chyby jsou nazývány tzv. šumem.

Poslední rozdělení Dobrovolného je na chyby vnitřní a vnější. Chyby vnitřní popisuje jako ty, co vznikají uvnitř systému – například již zmíněná chyba senzoru. Externí chyby souvisí nejčastěji s vlivy atmosféry.

Pro využití dat DPZ například ke sledování změn je nutné tyto chyby odstranit, či alespoň potlačit.

3.1.1 Geometrická korekce

Dle Lilesanda a Kiefera (2007) je záměrem geometrické korekce je kompenzovat zkreslení způsobená výše zmíněnými faktory tak, aby opravený obraz měl nejvyšší praktickou geometrickou integritu. Proces geometrické korekce se obvykle provádí jako dvoustupňový postup. Zaprvé, jsou zvažována ta zkreslení, která jsou systematická nebo předvídatelná. Za druhé, jsou uvažována ta zkreslení, která jsou v podstatě náhodná nebo nepředvídatelná. Systematické deformace jsou dobře pochopeny a snadno korigovány aplikovanými vzorci odvozenými modelováním zdrojů zkreslení matematicky.

Emery a Camps (2017) uvádí faktory způsobující geometrické chyby a nepřesnosti v obrazu.

- Parametry trajektorie nosiče
- Vlastnosti snímače
- Zemský povrch

Dobrovolný (1998) uvádí, že geometrické korekce zahrnují skupinu metod, které slouží k několika účelům. Jedná se o transformaci obrazových dat do mapové projekce, propojení obrazových dat a prostorové vektorové databáze GIS, tvorba ortofotomap, vytváření mozaiky z několika obrazových záznamů a porovnání dvou a více obrazových záznamů pořízených za účelem studia časových změn.

Dle Dobrovolného se mapa vyznačuje kartografickou projekcí, tedy systémem vztahů transformací sféroidu do roviny. Všechny projekce používají určitý souřadnicový systém k vyjádření polohy objektů a každá mapa se vyznačuje měřítkem, které je jednotné. Nasnímaný obrazový záznam však jednotné měřítko nemá a stejně tak ani kartografickou projekci. Tento původní záznam využívá jako souřadnice počet řádků a sloupců, které zároveň definují jeho velikost. Obrazovým prvkem nazýváme průsečík řádku a sloupce daného snímku, přičemž rozměr tohoto prvku téměř odpovídá prostorové rozlišovací schopnosti snímače. Z toho vyplývá, že polohu každého pixelu lze v rámci tohoto snímku identifikovat pouze v souřadnicích sloupce a řádku.

Železný (2005) píše, že transformace těchto obrazových prvků z jednoho systému souřadnic do druhého nazýváme rektifikace. Vzhledem k tomu, že poloha obrazového prvku v nové soustavě souřadnic je jiná a lišit se může i rozměr, je dalším krokem rektifikace tzv. převzorkování. Převzorkováním nazýváme transformaci DN hodnoty všech obrazových prvků z původní do nové soustavy. Výsledkem je tedy porovnatelnost dvou obrazových záznamů ve stejné soustavě a se stejným prostorovým rozlišením. Ortorektifikací je nazýván proces, ve kterém jsou

odstraněny nepřesnosti způsobené změnou relativní polohy objektů, které plynou z rozdílné nadmořské výšky objektů.

Jako tři nejpoužívanější metody převzorkování s matematickými výpočty uvádí Sundararajan (2017) a jedná se o následující:

- metoda nejbližšího souseda
- bilineární interpolace
- kubická konvoluce

Dobrovolný (1998) dodává, že jedním ze způsobů rektifikace je registrace, která je používána v případě, že pozorovaná data jsou pořizena v různých soustavách. Proces se skládá z upravení soustavy souřadnic jednoho záznamu tak, aby odpovídala druhému záznamu. Pokud k těmto datům je přidána informace o absolutní poloze jedná se o tzv. georeferencování, u kterého probíhá pouze změna informace o poloze obrazových prvků. Následně proces transformování do dané kartografické projekce je nazýván geokódování. Jeho následkem vznikají geokódovaná data, kde polohu pixelů lze vyjádřit systémem mapových souřadnic.

Jako obecný postup rektifikace autoři Halounová a Pavelka (2005) i Dobrovolný (1998) uvádějí polynomičnou transformaci s využitím techniky identických bodů, která má několik etap:

- sběr bodů
- volba stupně transformace
- výpočet rovnic transformace
- testování rovnic
- rektifikace obrazu
- převzorkování obrazu

Lilesand a kol. (2007) dodává, že náhodné zkreslení a zbytková neznámá systematická zkreslení jsou korigována analýzou dobře rozložených pozemních řídicích bodů (GCP) vyskytujících se v obraze. Stejně jako u jejich protějšků na leteckých fotografiích, i GCP jsou známé znaky na Zemi, které lze přesně umístit na digitálních snímcích. Jako kontrolní body jsou používány například dálniční tahy a odlišné rysy pobřeží. V korekčním procesu jsou čísla GCP umístěny jak ve dvou souřadnicích obrazu (čísla řádků a sloupců) na zkresleném obraze, tak na základě souřadnic Země. Tyto hodnoty jsou poté podrobeny regresní analýze nejmenších čtverců, aby se určily koeficienty pro dvě rovnice transformace souřadnic, které mohou být použity pro vzájemné propojení geometricky správných souřadnic (mapy) a souřadnic zkreslených obrazů.

3.1.2 Radiometrická korekce

Dobrovolný (1998) jako cíl radiometrických korekcí uvádí upravení DN hodnot v obrazovém záznamu takovým způsobem, aby v co největší míře odpovídaly skutečným zářivým a odrazovým vlastnostem nasnímaných objektů.

Halounová a Pavelka (2005) dodávají, že absolutní metoda nebo vzorec pro tyto korekce neexistuje, a to zejména z důvodu různorodosti aplikace. Výpočty jsou většinou prováděny aproximací přírodních stavů. Podle nich obsahuje radiometrická korekce několik částí.

- Korekce dané kalibrací přístrojů
- Korekce ze změny ozáření
- Korekce vyplývající z geometrie letu
- Korekce ze stavu atmosféry

Dobrovolný jako nejčastější předměty radiometrické korekce uvádí kompenzaci sezónních rozdílů a odstranění náhodných chyb.

Sezonní rozdíly vznikají z důvodu odlišných hodnot snímků pořízených v různých obdobích roku. Příčinnou je rozdílný úhel dopadu slunečního světla v různých ročních obdobích.

Náhodné chyby představuje nepřesná, či chybějící část v obrazovém záznamu. Náhodné chyby jsou způsobeny převážně chybnou kalibrací snímače, nebo chybou v přenosu signálu.

Tempfli a kolektiv (2009) dodávají, že radiometrická korekce se provádí za účelem snížení nebo opravení chyb v DN hodnotách. Proces zlepšuje interpretovatelnost a kvalitu dálkově snímaných dat. Radiometrická kalibrace a korekce jsou obzvláště důležité, když se porovnávají soubory dat během několika časových období. Energie, kterou snímače na palubách letadel nebo satelitů zaznamenávají, se může lišit od skutečné energie emitované nebo odražené od povrchu na zemi. To je způsobeno slunečním azimutem a výškou a atmosférickými podmínkami, které mohou ovlivnit pozorovanou energii. Aby se tak dosáhlo reálného ozáření nebo odrazivosti, musí být korigovány radiometrické chyby.

Hodnota zaznamenaná pro daný pixel zahrnuje nejen odražené nebo emitované záření z povrchu, ale také záření rozptýlené a emitované atmosférou. Ve většině případů je žádoucí získat skutečné hodnoty povrchu. K dosažení těchto hodnot musí být použita radiometrická kalibrace a korekce.

3.1.3 Atmosférická korekce

Dobrovolný (1998) považuje atmosférické korekce za složitý problém a zmiňuje mnoho technik řešení tohoto problému s různou složitostí. Již z názvu je patrné, že se jedná o efekty tvořené atmosférou, která jako hmotné prostředí modifikuje naměřené hodnoty. To se děje zejména z důvodu procesů pohlcování a rozptylu, které závisí na mnoha faktorech, jako je například vlnová délka.

Jensen (2015) uvádí jako možnou eliminaci atmosférických efektů metodu nejtmavšího pixelu, založené na fyzikálním poznatku vyzařování vodních objektů.

Další možnost, kterou zmiňuje Dobrovolný () je regresní analýza mezi daty naměřenými distanční metodou a daty pořízenými z povrchu a ve stejný čas. Třetí zmiňovaná metoda je založena na modelování vlivů na základě meteorologických dat. Tyto modely poskytují poté korigovaná data o odrazivosti a zářivosti objektů.

Detailní zpracování těchto korekcí se věnuje ve své práci například Cracknell a Hayes (1991). Vzhledem k tomu, že se tento problém týká zejména pozorování z vyšších snímacích výšek, tak se v této práci dále autor atmosférickým korekcím nevěnuje z důvodu řešení problematiky.

3.2 Zvýraznění obrazu

Lilesand a Kiefer (2007) uvádí, že tyto postupy jsou aplikovány na obrazová data za účelem efektivnějšího zobrazení nebo záznamu dat pro následnou vizuální interpretaci. Vylepšení obrazu obvykle zahrnuje techniky pro zvýšení vizuálního rozlišení mezi funkcemi ve scéně. Cílem je vytvořit "nové" obrazy z původních obrazových dat za účelem zvýšení množství informací, které lze vizuálně interpretovat z těchto dat. Rozšířené snímky mohou být zobrazeny interaktivně na monitoru nebo mohou být zaznamenány v tištěné podobě, a to buď černobíle nebo barevně. Neexistují žádná jednoduchá pravidla pro tvorbu jednoho "nejlepšího" obrazu pro konkrétní aplikaci. Často je třeba provést několik vylepšení ze stejného syrového obrazu, která poté umožní lepší následné zpracování, či interpretaci.

Jensen (2015) tvrdí, že většina operací zvýraznění lze shrnout do dvou skupin na operace bodové a prostorové.

Dobrovolný (1998) i Hozman (2009) rozdělují digitální zvýraznění obrazu do tří skupin:

- Bodová zvýraznění (nebo také radiometrická) – manipulace s odstíny šedi.
- Prostorová zvýraznění – prostorové filtrace a transformace
- Spektrální zvýraznění – barevné syntézy, práce s více pásmy

3.2.1 Bodová zvýraznění

Dobrovolný (1998) uvádí, že pro bodová zvýraznění je specifická práce s histogramem a tzv. zobrazovací funkcí nebo tabulkou. Zobrazovací funkce funguje na principu přiřazení nové zvýrazněné hodnoty DN k hodnotě původního pixelu v originálním obraze. Dále uvádí, že tato manipulace zahrnuje tři následující postupy.

Prahování

Horák (2014) ve své práci popisuje prahování jako rozdělení hodnot obrazu na nižší a vyšší než předem stanovená hraniční hodnota. Přiřazením 1 a 0 těmto hodnotám poté vzniká bitový obraz. Hlavním využitím této metody je tzv. konstrukce masek, které lze efektivně využít při následné klasifikaci obrazu po částech.

Podle Halounové a Pavelky (2005) lze na prahování nahlížet jako na nejjednodušší klasifikaci obrazu, či segmentaci.

Hustotní řezy

Horák (2014) vnímá hustotní řezy jako rozšíření předchozí techniky prahování. Rozdílem je zvolení více než jedné prahové hodnoty, výsledek tedy není kódován na 0 a 1, ale vzniká více hodnot – tzv. vstupních tříd. Zjištění počtu tříd a prahových hodnot je nejčastěji zjišťováno z histogramu obrazu.

Dobrovolný (1998) dodává, že výhodou techniky je zjednodušení obrazu a zvýraznění rozdílů mezi jednotlivými třídami. Tato metoda je využívána například pro zobrazení spojitých jevů jako je teplota, nadmořská výška apod.

Zvýraznění kontrastu

Zvýraznění kontrastu někdy také zvané jako technika roztažení histogramu je podle Horáka (2014) úpravou kontrastu původního obrazu z důvodu nevyužití celého rozsahu stupnice šedi. Původní histogram obsahuje DN hodnoty v určitém rozmezí a celého rozsahu stupnice šedi se nevyužívá. Tento fakt má za následek špatně rozlišitelné rozdíly stupňů šedi v původním obraze.

Dobrovolný (1998) se konkrétněji věnuje několika variantám zvýraznění kontrastu:

Lineární zvýraznění kontrastu funguje na principu lineárního rozdělení hodnot v původní scéně tak, aby došlo k vyplnění celého rozsahu hodnot výstupního zařízení.

Vyrovnání histogramu se projeví v zobrazení výstupu, kde jsou hodnoty pixelů v obraze zobrazovány na základě frekvence výskytu.

Úprava části histogramu je využívána, když mají být ve větším (radiometrickém) detailu analyzovány specifické povrchy na snímku. Celému dynamickému rozsahu hodnot je poté přiřazena pouze určitá část původních hodnot ze snímku.

3.2.2 Prostorová zvýraznění

Podle Richardse (2006) na rozdíl od bodových operací používaných pro radiometrické vylepšení, techniky pro geometrické vylepšení jsou charakterizovány operacemi s okolím pixelů. Postupy stále určují upravené hodnoty jasu obrazových pixelů, nová hodnota pro daný pixel je však odvozena od jasu množiny okolních pixelů. Právě tato prostorová vzájemná závislost hodnot pixelů vede ke změnám ve vnímaném geometrickém detailu obrazu.

Dobrovolný (1998) vnímá prostorové zvýraznění (nebo také tzv. filtraci obrazu) jako operaci určující hodnotu DN daného obrazového prvku na základě hodnot prvků v jeho sousedství. Tuto operaci je možné využít v mnoha úlohách jako je například zvýrazňování a detekce hran, úprava klasifikačních výsledků nebo zahlazování snímku.

Halounová a Pavelka (2005) uvádějí k tomuto tématu důležitý pojem maska filtru (kernel), pro kterou je vypočtena nová hodnota pro středový pixel na základě hodnot sousedních pixelů. V celém obraze jsou relativně jednoduchými výpočty a posunem masky vypočítány hodnoty obrazové funkce. Jako další stěžejní pojem uvádějí prostorovou frekvenci vyjadřující rozdíly mezi pixely v sousedství a daným pixelem.

Výše zmínění autoři dělí filtry na vysokofrekvenční a nízkofrekvenční. Zatímco vysokofrekvenční filtry zvýrazňují vysoké frekvence, nízkofrekvenční tyto frekvence potlačují.

Nízkofrekvenční filtry

Jak již bylo řečeno, tento druh filtrů potlačuje vysokofrekvenční informaci v obraze. Dobrovolný (1998) popisuje tuto operaci jako redukci odchylky centrálního pixelu matice od svého okolí. Produkovaný obraz je tedy na rozdíl od originálu zahlazený, což znamená, že je určitým způsobem zmenšen rozptyl hodnot pixelů filtrovací matice. Čím větší je filtrovací okno, tím větší je úroveň zahlazení.

Horák (2014), Dobrovolný (1998) i Halounová a Pavelka (2005) uvádí příklady nízkofrekvenčních filtrů s podobným účinkem,

Průměrový filtr je charakteristický výpočtem aritmetického průměru všech prvků matice, zaokrouhlením na celé číslo a přiřazením tohoto výsledku centrálnímu pixelu matice. Tento filtr tedy dává stejnou váhu všem pixelům v kernelu. Za nevýhodu tohoto filtru je považováno ničení liniových elementů obrazu a riziko změny výsledku klasifikace.

Mediánový filtr je často používán vedle filtru průměrového, na rozdíl od předchozí metody nahrazuje hodnotu středního pixelu mediánem.

Filtry s hodnotami vážených vzdáleností představují podobné průměrové filtry. U těchto filtrů se zmenšuje vliv sousedních pixelů se zvětšující se vzdáleností. Zahlazení provedené těmito filtry je jemnější.

Filtry s váženým středem pracují na principu určení váhy středního pixelu oproti okolí, je-li váha centrálního pixelu vyšší je úroveň zahlazení menší, pokud však pixel má váhu menší, dochází k odstranění šumu.

Majoritní filtry lze použít k post-klasifikačním úpravám. Do této skupiny patří například modální filtr přiřazující nejčtenější hodnotu v matici, při tomto druhu filtrování tedy zůstávají zachovány původní hodnoty obrazu.

Sieve filtr je používán zejména k odstranění ploch menších, než je zadaná prahová hodnota, dochází poté ke sloučení se sousední plochou

Vysokofrekvenční filtry

Dobrovolný (1998) uvádí, že hlavní úlohou vysokofrekvenčních filtrů je zvýraznění změn v DN hodnotách mezi jednotlivými pixely. Rozdíly jsou reprezentovány především hranami a liniemi. Za hranu je považován přechod mezi různými povrchy, která má nulovou šířku. Oproti tomu za linii je jsou považovány voní toky, či komunikace.

Jako příklady vysokofrekvenčních filtrů uvádějí autoři zmíněni v této kapitole například filtr Sobelův a Prewittův.

Mezi další filtrační metody autoři zahrnují také zvýraznění textury a zvýraznění hran.

3.3 Spektrální analýza

Jak již bylo řečeno, spektrální zvýraznění, či spektrální analýza patří do metod zvýraznění obrazu, autor jí však v rámci tématu práce považuje za natolik důležitou, že jí věnuje samostatnou kapitolu. Většina uvedených autorů věnující se problematice sledování změn uvádí spektrální analýzu jako zásadní metodu pro identifikaci změn v krajině, za předpokladu, že jsou v obrazu obsaženy spektrální data, tedy informace o obrazu i ve spektru jiném než viditelném a dodávají, že většina snímků DPZ je pořízena ve vícespektrálním rozlišení.

Sedlák a Hobza (2006) uvádějí že za operace spektrálního zvýraznění považujeme operace pracující se spektrální odrazivostí snímků. Výpočty těchto operací se opírají o vícepásmovou podstatu snímku, tedy fakt, se spektrální vlastnosti snímků v různých pásmech liší.

Autor snímky vícepásmového charakteru k dispozici nemá a z toho důvodu se zabývá spektrální analýzou snímků ve spektru viditelném. Mezi takové operace patří vegetační indexy, a to konkrétně ty, které operují na viditelném spektru.

3.3.1 Vegetační indexy

Dobrovolný (1998) ve své práci popisuje fakt, že obrazový materiál získaný výše zmíněnými metodami snímání je bohatý na informace o procesech a jevech na zemském povrchu a také řadě vlastností jednotlivých objektů. Pro využití a analýzu těchto informací považuje za nutnost je vymezit či zvýraznit za pomoci vhodných postupů. V předchozích kapitolách se autor věnuje obecným postupům, které je k tomuto účelu možné použít. Dobrovolný (1998), či Lilesand a Kiefer (2007) však dodávají, že existuje množství nadstandardních metod, pomocí kterých je možné v obraze zvýraznit specifika jevů, vlastnosti objektů na fyzikální, či biologické bázi a podobě. Pořízená obrazová data mají takovou škálu využití v mnoha oborech jako například zjišťování stavu vegetace, výskytu minerálů, výnosnosti plodin, výšky vodního sloupce atd.

Indexy vegetace jsou tvořeny kombinací spektrálních hodnot zaměřených na získání jediné hodnoty, což umožňuje snadno interpretovat kvantitu nebo kvalitu vegetace v pixelu (Campbell; Wynne, 2011).

Přibližně 70% zemského povrchu je pokryto vegetací. Znalosti o změnách v druzích vegetace a distribuci komunit, změnách ve fenologických (růstových) cyklech vegetace a změnách ve fyziologii a morfologii rostlin poskytují cenné informace o klimatických, edafických, geologických a fyziografických charakteristikách oblastí. (Jackson a Jensen, 2005).

Jensen a Jackson (2005) uvádí, že cílem celosvětové produkce zemědělství a odvětví obilí většiny ekonomik je nakrmit miliardy lidí. Není proto překvapivé, že vědci věnovali značné úsilí vývoji systémů pro dálkové snímání a algoritmům vizuálního a digitálního zpracování obrazu k extrahování důležitých biofyzikálních informací o vegetaci z dálkově snímaných dat. Mnoho technik dálkového průzkumu je druhové povahy a lze je použít na různé vegetativní krajiny.

Za hlavní účel těchto metod je považováno vyjádření kvalitativních a kvantitativních vztahů vůči vlastnostem jevů a objektů na zemském povrchu.

V konkrétním případě této práce se z výše zmíněných odvětví jedná právě zejména o dálkové pozorování vegetace a vodních ploch.

Pro snadnější odlišení autor rozděluje vegetační indexy na indexy multispektrální a RGB. Zatímco první skupina indexů pracuje s odrazivostí v různých vlnových délkách záření, druhá skupina se při výpočetních metodách omezuje na spektrum viditelné.

3.3.1 Multipektrální indexy

Mezi nejznámější a nejužitečnější vegetační indexy řadí Pettorelli a kol. (2011) index NDVI (normalizovaný rozdílový vegetační index), index byl vyvinut primárně na detekci a vyhodnocování změn v důsledku klimatu a dalšími vlivy, které mohou ovlivňovat vlastnosti krajiny a vegetace ať už z hlediska biodiverzity, populace, či fenologie. NDVI nachází využití primárně při monitoringu fotosyntetických jevů, a to především z důvodu se především používá pro monitorování fotosyntézy vegetace. Dalším příkladem užití je například výzkum a predikce negativních krajinných jevů jako například záplavy, nebo sucho.

Jensen (2015) ve své publikaci popisuje mnoho dalších indexů založených především na výpočtech odrazivosti v blízkém, či středním infračerveném pásmu. Jedná se například o indexy pro interpretaci a analýzu vlhkosti a vodních ploch tzv. NDMI/NDWI (Normalized Difference Moisture or Water Index), index obsahu vody v listech vegetace LWCI (Leaf relative Water Content Index), nebo TVI (Triangular Vegetation Index), který popisuje radiační energii absorbovanou pigmenty jako funkci relativního rozdílu mezi červenou a blízkou infračervenou odrazivostí ve spojení s velikostí odrazivosti v zeleném pásmu.

3.3.2 RGB indexy

Za viditelné indexy jsou autorem považovány takové indexy, které pro svůj výpočet používají pouze viditelná pásma RGB. Jak bylo zmíněno výše, mnoho autorů věnujících se sledování změn krajiny pomocí UAV zmiňuje vysokou nákladovost vybavení na multispektrální snímkování, v mnoha studiích se tedy uchylují k použití viditelných indexů k jejichž zpracování stačí relativně nízkonákladový RGB senzor. Jak zmiňuje Costa a kolektiv (2020), některé takové indexy sice nemohou být považovány za plnohodnotnou náhradu indexů multispektrálních, zejména v analýze zdraví a stavu vegetace, avšak lze je využít pro mnoho dalších interpretačních účelů, které jsou probrány v závěru práce.

Mezi vybrané

3.4 Klasifikace obrazu

Lilesand a Kiefer (2007) uvádějí, že cílem těchto operací je přemístit vizuální analýzu obrazových dat pomocí kvantitativních technik pro automatizaci identifikace funkcí ve scéně. To obvykle zahrnuje analýzu multispektrálních obrazových dat a aplikaci statisticky založených rozhodovacích pravidel pro určení identity krajinného pokrytí každého pixelu v obraze. Když jsou tato rozhodovací pravidla založena pouze na spektrálním záření pozorovaném v datech, odkazujeme na proces klasifikace jako rozpoznávání spektrálních vzorů. Pravidla rozhodování mohou být také založena na geometrických tvarech, velikostech a vzorech přítomných v obrazových datech. Tyto postupy spadají do oblasti rozpoznávání prostorových vzorů. V obou případech je cílem klasifikačního procesu kategorizovat všechny pixely v digitálním obraze do jedné z několika tříd krajinného pokryvu nebo „témat“. Tyto kategorizované údaje pak mohou být použity k vytvoření tematických map krajinného pokryvu v obraze a k vytvoření souhrnných statistik o oblastech, na které se vztahuje každý typ krajinného pokryvu.

Dobrovolný (1998) klasifikaci popisuje často jako cílovou část zpracování obrazu. Jedná se dle něj o proces přiřazování informačního významu jednotlivým prvkům. Cílem je vyjádření takzvaných informačních tříd z dosud známých vlastností a jevů objektů. Tyto třídy jsou definovány v legendě výsledné mapy nazývané klasifikační schéma.

Jak již bylo řečeno výše, rozhodovací pravidla klasifikace jsou založena na chování snímaných objektů. Dobrovolný (1998) uvádí několik základních druhů klasifikátorů.

Klasifikátory prostorového chování klasifikují objekty na základě okolních pixelů a lze do nich zahrnout příznaky jako velikost, textura, vzájemná vzdálenost a podobně.

Klasifikátory časového chování jsou využívány ke třídění objektů na základě časových změn. Příkladem může být identifikace zemědělských plodin, které své charakteristiky mění v průběhu vegetačního cyklu.

Klasifikátory spektrálního chování jsou velmi čteně používanými automatickými klasifikátory, které předpokládají změny ve spektrálním chování objektů na základě jejich odrazových a vyzařovacích vlastností.

Kolář (1990) uvádí, že důležitou podmínkou použití těchto klasifikátorů je dostatečná vzájemná odlišnost pozorovaných vlastností objektů.

Horák (2014) popisuje a rozděluje klasifikace z několika hledisek. Jako první rozdělení uvádí klasifikaci řízenou a neřízenou. Dalším druhem je klasifikace hybridní, která spojuje výhody

dvou předchozích klasifikací. Třetí skupinou jsou klasifikace per-pixel a per-objekt, u kterých je prováděna klasifikace pro každý pixel/objekt zvlášť.

Prvními dvěma skupinami se autor zabývá v následujících podkapitolách.

3.4.1 Řízená klasifikace

Horák (2014) uvádí, že při řízené klasifikaci jsou cílové třídy specifikovány uživatelem pomocí příkladů, vzniká tedy tzv. trénovací množina.

Dobrovolný (1998) proces řízené klasifikace rozděluje do následujících fází:

1. Definice tzv. trénovacích ploch
2. Výpočet statistických charakteristik pro trénovací plochy charakterizující jednotlivé třídy
3. Volba rozhodovacího pravidla – klasifikátoru
4. Roztřídění všech obrazových prvků do vymezených tříd
5. Úprava, vyhodnocení a prezentace výsledků

Tso a Mather (2009) ve své práci definují pouze tři z těchto fází, dále k řízené klasifikaci dodávají, že tento přístup vyžaduje, aby uživatel vybral trénovací údaje pro každou z předem definovaného počtu tříd. Klasifikační výkon je velmi závislý na tom, jak dobře je uživatel schopen modelovat distribuci cílové třídy. Zkušenosti uživatele mohou být velmi užitečné při určování a lokalizaci tréninkových oblastí. V ideálním případě, by trénovací množiny měla být místa, kde je předem znám homogenní charakter povrchu.

I když výběr trénovacích oblastí může být zdlouhavý, přístup pod dohledem je preferovaný většinou vědců, protože obecně poskytuje přesnější definice třída vyšší přesnost než přístupy neřízené.

Výše zmínění uvádějí tři nejčastější klasifikátory této kategorie. Jedná se o metodu s rovnoběžným tokem, metodu minimální vzdálenosti a algoritmus maximální pravděpodobnosti.

Trénovací fáze

Horák (2014) říká, že toto stádium slouží k vymezení trénovacích ploch, a to pro každou z klasifikovaných tříd. Je nutné, aby tyto trénovací oblasti byly dostatečně velké, homogenní a ideálně vytvořené z více ploch klasifikovaného snímku. Dále by tyto oblasti mělo být možné od sebe separovat a neměly by obsahovat anomálie.

Svoji roli hraje také umístění těchto trénovacích množin, a to z důvodu následné identifikace a ověření v terénu. Právě proto je vhodné znát sledované území z terénu, či odlišného zdroje dat.

Pro správný průběh trénovacího stádia je nutné, aby trénovací množiny obsahovaly stanovený minimální počet pixelů. Tato sada poté tvoří tzv. trénovací množinu.

Dobrovolný (1998) dodává, že v této etapě zároveň dochází k výpočtu statistických charakteristik pro jednotlivé klasifikované třídy, tyto statistiky lze vypočítat několika způsoby v závislosti na charakteru zkoumaných dat.

Klasifikační fáze

Dobrovolný (1998) tuto fázi popisuje jako proces výběru vhodného klasifikátoru a za jeho pomoci následné zařazení jednotlivých prvků obrazu do jedné z tříd. To vše pomocí rozhodovacího pravidla, které určí, do které části příznakového prostoru pixel patří.

V mnoha případech vzniká spor, do které z tříd daný pixel patří, případně, že nenáleží do žádné ze tříd. Tyto sporné případy by měly být klasifikátorem ošetřeny.

Výstupní fáze

Jako hlavní obsah výstupní fáze označuje Jensen (2015) kontrolu výsledků, případně další zpracování vzniklých tříd. Lilesand a kolektiv (2007) dodává, že klasifikaci lze považovat za ukončenou až po kontrole její úspěšnosti, například pomocí chybové matice.

3.4.2 Neřízená klasifikace

Podle Horáka (2014) se neřízená klasifikace od řízené odlišuje zejména v tom, že program nejprve sám vytváří umělé třídy, do kterých zařazuje každý pixel na snímku. Význam těchto tříd je určen uživatelem až poté a je nutné provést vhodnou transformaci do informačních tříd.

Tso a Mather (2009) uvádějí hlavní rozdíl mezi řízenou a neřízenou klasifikací v tom, že metody neřízené klasifikace nevyžadují, aby uživatel vybral trénovací sadu dat pro charakterizaci cílů nebo pro výcvik klasifikátoru. Místo toho uživatel specifikuje pouze počet shluků, které mají být vygenerovány, a klasifikátor automaticky vytvoří klastry minimalizací některé předdefinované chybové funkce. Někdy číslo klastřů lze detekovat automaticky pomocí klasifikátoru. Uživatelé nemusí komunikovat s klasifikátorem, který pracuje nezávisle a automaticky.

Dobrovolný (1998) popisuje, že neřízená klasifikace se zakládá na matematickém principu definice shluků v prostoru, který je vícerozměrný – tzv. analýze shluků. Pokud jsou zvolena

vhodná kritéria shlukování, je možné touto metodou analyzovat velmi jemné rozdíly jednotlivých objektů, různých povrchů. U metody klasifikace neřízené je nutné rozdělit prostor na přibližně definovaný počet shluků. Každý tento shluk je poté definován polohou svého středu – centroidem. Cílem metody je poté minimalizace vzdálenosti pixelů daného shluku od příslušného centroidu a zároveň maximalizace jednotlivých středů těchto shluků.

Horák (2014) dodává, že rozlišujeme dva druhy analýzy shluků – hierarchickou a nehierarchickou. Hierarchický způsob je založen na postupném vytváření navzájem nejvíce odlišných shluků. Tím je vybudován strom shluků a každý tento shluk je dělen na dva další nejvíce odlišné. Způsob nehierarchický spočívá v přidávání dalších obrazových elementů do jednotlivých shluků. Jako příklad uvádí Jensen (2015), Horák (2014) i Dobrovolný (1998) klasifikátory k-means a ISODATA.

Konkrétní kroky a výpočty neřízené klasifikace popisuje dopodrobna Jensen (2015) ve své publikaci.

3.4.3 Vybrané řízené a neřízené klasifikátory

Přístup maximální pravděpodobnosti

Tso a Mather (2009) popisují tento řízený klasifikátor jako statistický přístup rozpoznávání vzorů. Pravděpodobnost pixelu patřícího do každé z předdefinovaných sad třídy se vypočítá a pixel se pak přiřadí ke třídě, pro kterou je pravděpodobnost je nejvyšší. Tento přístup je založen na Bayesovské pravděpodobnostní rovnici.

ISODATA

L3Harris Geospatial (2020) uvádí, že neřízená klasifikace metodou ISODATA vypočítává prostředky třídy rovnoměrně rozložené v datovém prostoru a pak iterativně shlukuje zbývající pixely pomocí technik minimální vzdálenosti. Každá iterace přepočítává prostředky a reklasifikuje pixely s ohledem na nové prostředky. Rozdělení, sloučení a odstranění iterační třídy se provádí na základě vstupních prahových parametrů. Všechny pixely jsou klasifikovány do nejbližší třídy, není-li stanovena standardní odchylka nebo práh vzdálenosti. V takovém případě mohou být některé pixely nezařazeny, pokud nesplňují vybraná kritéria. Tento proces pokračuje, dokud se počet pixelů v každé třídě nezmění o méně než zvolený práh pro změnu pixelů nebo dokud není dosaženo maximálního počtu iterací.

Algoritmus k-means

Tso a Mather (2009) uvádí, že se jedná o nejoblíbenější neřízený algoritmus široce používaný pro automatickou segmentaci obrazu v oblasti dálkového průzkumu. Tento algoritmus přiřazuje pixel do příslušného shluku podle průměrového vektoru (means) a opakuje předem zadaný

počet iterací, dokud změna z jedné iterace na další je menší, než nějaký předdefinovaný práh. Změna může být také definována jako počet pixelů pohybujících se z jednoho klastru do dalšího mezi iteracemi nebo hodnotou míry kompaktnosti shluků, jako je součet čtverců odchylek každého pixelu od středu jeho shluku.

Support Vector Machine

Cílem SVM najít optimální oddělovací hyperplošinu (rozhodovací plochu, hranici) maximalizací rozpětí mezi třídami, čehož je dosaženo analýzou cvičných vzorků umístěných na okraji potenciální třídy. Tyto případy výcviku se označují jako podpůrné vektory. Výsledkem je optimalizování hyperplošiny s účinně menším počtem použitých cvičných vzorků. To znamená, že SVM dosahuje lepších klasifikačních výsledků i s menším výcvikovým souborem. Ve své nejjednodušší podobě je jedná o lineární binární klasifikátor. Do detailu tento algoritmus popisuje Jensen (2015) ve své publikaci.

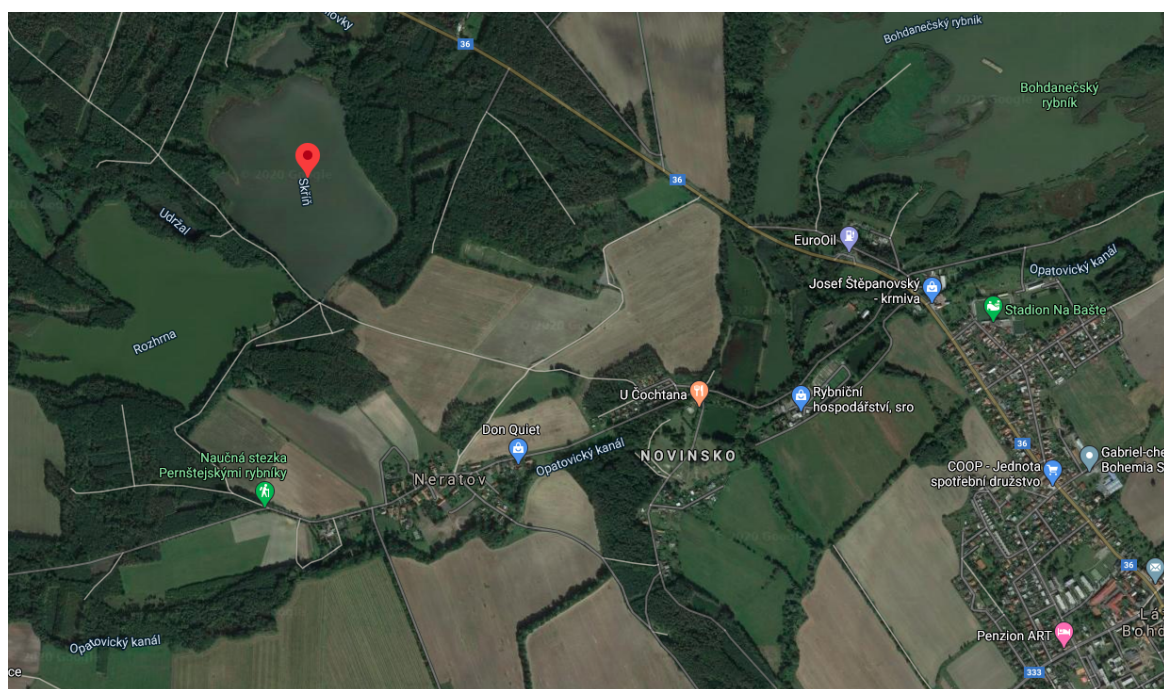
4 SBĚR DAT

Autor rozděluje praktickou část do několika částí, ve kterých věnuje pozornost charakteristice dat, návrhu po sobě jdoucích fází zpracování dat a interpretaci a kontrole výsledků.

V první části je nutné definovat charakteristiku zájmového území a získaných dat, která úzce souvisí se sběrem těchto dat.

4.1 Charakteristika zájmového území

Jako oblast zájmu této studie byl zvolen rybník Skříň ležící v blízkosti obce Neratov. Rybník o rozloze 26,9 ha byl sledován v jeho západní části. Jedná se o výběžek tvořící poloostrov, který svojí rozmanitostí je vhodný pro zkoumání změn pobřežní vegetace, břehů a změn hladiny, či struktury vodní plochy. Umístění Rybníku Skříň je možné vidět na Obrázku 3.



Obrázek 3: Ukázka místa letové mise a sběru dat

Zdroj: Google Maps (2020)

4.2 Charakteristika vstupních dat

Data pro výzkum byla pořízena v rámci pravidelných letových misí ústavu systémového inženýrství a informatiky Univerzity Pardubice. Autor zkoumá snímky podzimních měsíců září, října a listopadu roku 2018 pořízené komerčním dronem střední

třídy DJI Phantom 3. Snímky zkoumaného území o rozloze 2,85 ha byly pořízeny původní kamerou dronu a z toho důvodu se jedná o snímky ve viditelném barevném spektru, což následně ovlivňuje další zpracování dat. Všechna data byla použita bez jakýchkoliv dalších úprav tak, jak byla získána v průběhu letecké mise.

5 ZPRACOVÁNÍ A INTERPRETACE VÝSLEDKŮ

V následující kapitole se autor zabývá výběrem vhodného softwaru pro předzpracování těchto dat – vytvoření mozaik a také jejich další zpracování – korekce, klasifikace a výpočet indexů.

5.1 Volba SW

Škála možností výběru vhodného softwaru pro danou problematiku je velmi široká. Při výběru se autor řídil zejména dostupností jednotlivých programů z hlediska licence a zkušební verze, a to z hlavně důvodu nižší náročnosti na nadstandartní funkcionalitu vzhledem k dané problematice. Dalším kritériem výběru bylo intuitivní ovládaní a jednoduchost zpracování jednotlivých úkonů. Jednotlivé nástroje pro zpracování autor popisuje v následující kapitole.

Pro zpracování obdržených dat byly použity dva základní SW pro zpracování a úpravu geografických dat. Prvním z nich byl Pix4Dmapper, software sloužící především ke zpracování leteckých snímků z UAV. Jako základní výhoda byla autorem vnímána snadná dostupnost, kdy po registraci na stránkách společnosti dostává uživatel na 15 dní verzi SW bez jakéhokoliv omezení.

Software patří do skupiny programů pro zpracování geografických dat společnosti Pix4D, která mimo to nabízí celou škálu dalších typů SW pro zpracování modelů, analýzu plodin, či stavitelství a pozemní práce. Pro sledovanou problematiku byl zvolen právě Pix4Dmapper, který posloužil k vytvoření ortofotomozaik složených ze snímků získaných leteckými misemi v jednotlivých měsících.

K vizualizaci a analýze dat byl použit software ArcGIS Pro verze 2.4.0 od společnosti ESRI, která ho na svých webových stránkách popisuje jako nejnovější profesionální stolní GIS aplikaci od Esri. S ArcGIS Pro je možné prohlížet, vizualizovat a analyzovat data, vytvářet 2D mapy a 3D scény a navíc sdílet svou práci se svým portálem ArcGIS Online nebo ArcGIS Enterprise. Zkušební verze na 21 dní je dostupná rovněž po registraci jakožto člen vzdělávací instituce, tedy pro nekomerční užití. Jako nespornou výhodu a důvod volby právě tohoto SW autor vnímá zejména skvělou uživatelskou podporu z hlediska manuálů

a tutoriálů přímo na stránkách společnosti, ale také intuitivnost uživatelského rozhraní zasazeného do záložkového layoutu kancelářských balíků MS Office.

5.2 Zpracování dat

Jak již autor zmiňuje v přechodí kapitole, veškerá data byla použita v surovém stavu tak, jak byla obdržena od členů letecké mise Univerzity Pardubice. Zásadní výhodou zvolené metody sběru dat bylo zejména minimální prostorové zkreslení a absence atmosférických jevů díky vzdálenosti snímače od zemského povrchu. Díky těmto faktorům mohla být data použita bez aplikace atmosférických a radiometrických korekcí.

5.2.1 Mozaikování

V předchozích kapitolách autor zmiňuje tvorbu mozaik konkrétně v kapitole věnující se geometrickým korekcím, do které následující úkon zpracování dat patří. Jedná se o propojení jednotlivých snímků na základě jejich společných bodů a projekce těchto snímků do jednoho celistvého útvaru – mozaiky.

Pro účely vytvoření mozaik neboli ortofotomap byl využit již zmíněný software Pix4Dmapper. Po registraci a založení projektu je k dispozici plně funkční verze, která nabízí velmi intuitivní ovládání a v rámci celého procesu i minimální složitost nastavení vstupních parametrů.

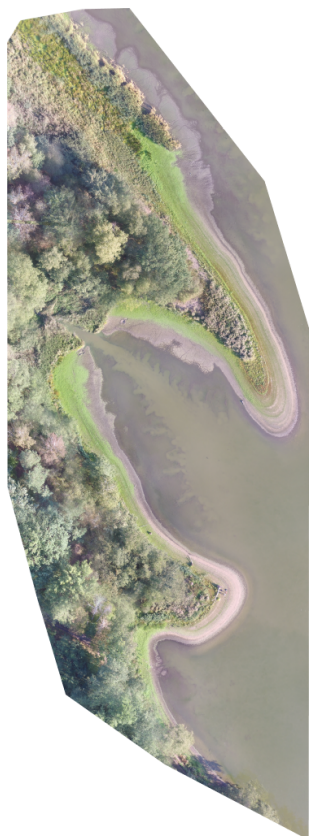
V první fázi je nutné nahrát vstupní obrazová data, což program umožňuje pomocí vstupního dialogu po založení projektu, data jsou okamžitě revidována a doplněna o informace. Pokud obsahují nahrané snímky metadata, Pix4Dmapper je využije a doplní nutné informace jako například model snímače, souřadnice zeměpisné šířky a výšky a samotný souřadnicový systém, ve kterém sběr dat probíhal.

V následujícím kroku je uživatel vyzván ke zvolení výstupních parametrů, konkrétně souřadnicového systému a jednotky měření. Tyto parametry autor volil tak, aby korespondovaly s parametry vstupních dat. Posledním krokem před zahájením tvorby mozaiky je už pouze výběr typu šablony zpracování, podle které Pix4Dmapper data zpracuje. V případě této práce autor zvolil šablonu „Ag RGB“ a to z důvodu charakteru vstupních dat. Program nabízí také další typy zpracování užitečné například pro tvorbu 3D modelů a map, anebo multispektrálních ortofotomap.

Po zadání vstupních parametrů celého procesu mozaikování následuje samotné zpracování, které je rozděleno do tří částí. První z nich je fáze inicializace, jejíž cílem je nalezení společných bodů vzájemně propojujících jednotlivé snímky. Pro ověření úspěšnosti

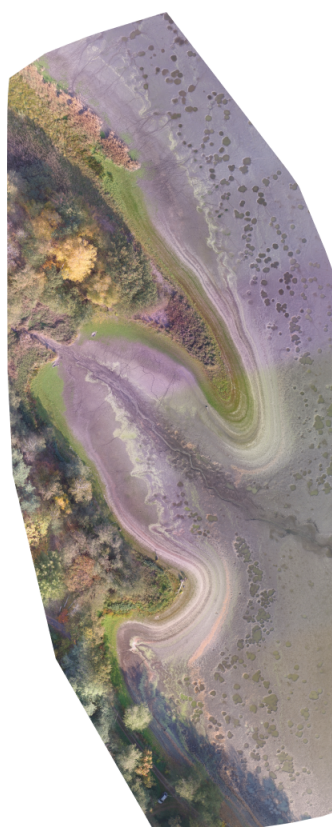
jednotlivých fází je k dispozici report zobrazující výsledky i mezivýsledky procesu. Druhá část procesu je zaměřena na vybudování sítě jednotlivých vazeb snímků. V případě, že program nenalezne dostatečné množství bodů propojení vůči terénu nebo ostatním snímkům, je barevně odlišen červenou barvou.

Poslední krok obsahuje samotné složení mozaiky, výstupem je vygenerovaný soubor .TIF uložený ve výstupním adresáři.



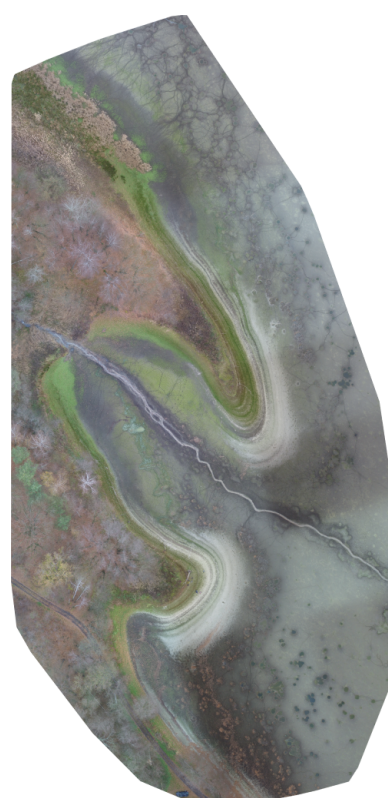
Obrázek 4: Výsledná mozaika září 2018

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 5: Výsledná mozaika říjen 2018

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 6: Výsledná mozaika listopad 2018

Zdroj: vlastní zpracování

Na Obrázku 4, 5 a 6 lze pozorovat 3 výstupní mozaiky vzniklé po zopakování procesu pro snímky z každého zkoumaného měsíce. Z výše zmíněných atmosférických důvodů přítomných při letové misi je možné pozorovat drobné artefakty vzniklé zejména u měsíce října.

5.2.2 Referencování a ořez zájmového území

Po vytvoření nového projektu v ArcGIS Pro a zadání souřadnicového systému přišlo na řadu nahrání vzniklých mozaik pomocí „Add Data“. Software poté umožňuje s těmito daty dále přehledně pracovat pomocí prohlížeče v pravé části. Prvním úkonem úpravy mozaik bylo nastavení zobrazení, software ve snaze zlepšení a zvýraznění vizuálních vlastností nastavil zobrazení snímků na hodnotu „Percent clip“, to způsobilo nepřirozený vzhled, proto bylo nutné přepnout tuto volbu na „None“ (tedy defaultní zobrazení) v kategorii „Symbology“.

Pro správnou interpretaci výsledků bylo nutné všechny tři vzniklé mozaiky referencovat mezi sebou tak, aby se téměř dokonale překrývaly a bylo možné provést co nejpřesnější analýzu a porovnání.

Pro co nejpřesnější překryv mozaik jednotlivých měsíců bylo nutné ručně nalézt body viditelné na všech mozaikách. Tyto body byly využity jako takzvané body referenční, či lícovací tak, aby nedošlo k nesrovnalostem mezi umístěním jednotlivých ortofotomap. Jak již bylo popsáno v teoretické části geometrické korekce a rektifikace, tato metoda se nazývá georeferenční korekce. K tomuto úkonu auto využívá nástroj „Georeferencing“, který umožňuje pohodlně vybrat zmíněné lícovací body z jednotlivých mozaik. V první fázi dochází k vybrání bodu původního z jedné mozaiky a ve druhé k bodu referenčnímu mozaiky druhé. Pro zvýšení přesnosti je vhodné těchto bodů vybrat větší množství. Postup je opakován mezi druhou a třetí mozaikou. Na Obrázku 7 je možné pozorovat příklad referenčního bodu a ukázkou procesu.



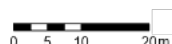
Obrázek 7: Ukázka georeferencování

Zdroj: vlastní zpracování

Pro zvýšení této přesnosti analýzy a snížení náročnosti byla zvolena menší zájmová oblast poloostrova, pobřeží a malá část přilehlého lesíku ve tvaru obdélníku. Výběr zájmové oblasti tzv. ořez byl proveden nástrojem „Clip“ dostupného v záložce „Imagery“. Tento i většina následujících využitých nástrojů je založena na principu intuitivního průvodce, kde software sám po uživateli vyžaduje přehledně potřebná data. V případě funkce „Clip“ bylo nutné volit ořezávanou oblast, typ ořezu a entitu, kterou bude obraz ořezán. První dva parametry funkce byly známy, tvar ořezu však je nutné určit. Pro tento účel byla využita vektorová entita zvaná „Feature“ ve tvaru obdélníku, obecně zvaná „Polygon“. Tuto entitu je potřeba nejprve vytvořit jakožto datový typ v sekci „Catalog“, v kořenovém adresáři poté přes kontextové menu vytvořit novou „Feature“. V záložce „Edit“ pod volnou „Create“, je poté možné tuto entitu definovat v oblasti poloostrova a zátoky, jak již bylo zmíněno.

Po opakovaném provedení popsané operace „Clip“ pro každou mozaiku je výstupem stejná zájmová oblast pro každý měsíc uložená v projektu a dostupná v bočním panelu. Všechny ostatní operace budou z výše zmíněných důvodů prováděny nad těmito rastry, které kromě rozlohy přejímají vlastnosti svých předchůdců, tedy původních mozaik. Příklad zájmové oblasti je možné vidět na Obrázku 8.

ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ
Rybník Skříň - listopad 2020



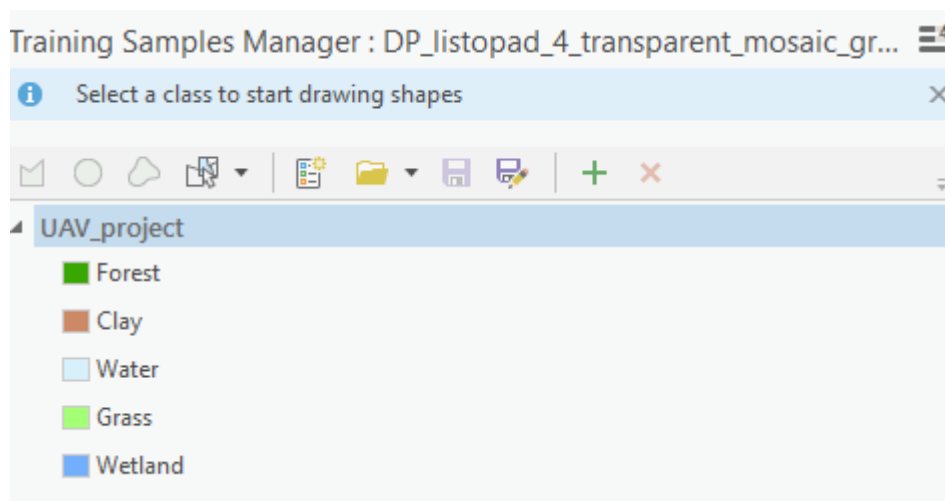
Adam PÁVEK
Česká Třebová
2020

Obrázek 8: Zájmové území listopad

Zdroj: vlastní zpracování

5.2.3 Klasifikace

Mozaiky zájmové oblasti získané předchozím postupem lze považovat za připravené k dalšímu zpracování v rámci zkoumané problematiky. V první řadě bylo zapotřebí digitalizovat, tedy převést rastrový obraz do digitální podoby. Hlavním důvodem vizuální interpretace bylo získání předlohy pro následné digitální zpracování klasifikačními nástroji. Jak bylo řečeno v předchozích kapitolách klasifikace umožňuje strojové roztržení jednotlivých pixelů rastrové mozaiky do tříd, reprezentujících jednotlivé typy pokryvů. Pro ověření správnosti je proto nutné definovat správný výstup. Na základě znalosti sledované oblasti a pozorování mozaik je nutné rozlišit ručně jednotlivé typy pokryvů, pro znovupoužití ideálně vytvořit vlastní klasifikační schéma. Tuto možnost nabízí v sekci „Classification tools“ nástroj „Training samples manager“. Konkrétně v případě této studie bylo vytvořeno schéma obsahující třídy les, voda/řeka, tráva, hlína a mokřad/mělčina. (anglickými ekvivalenty forest, water/river, grass, clay a shallow/wetlands). Vytvořené klasifikační schéma je možné pozorovat na Obrázku 9.



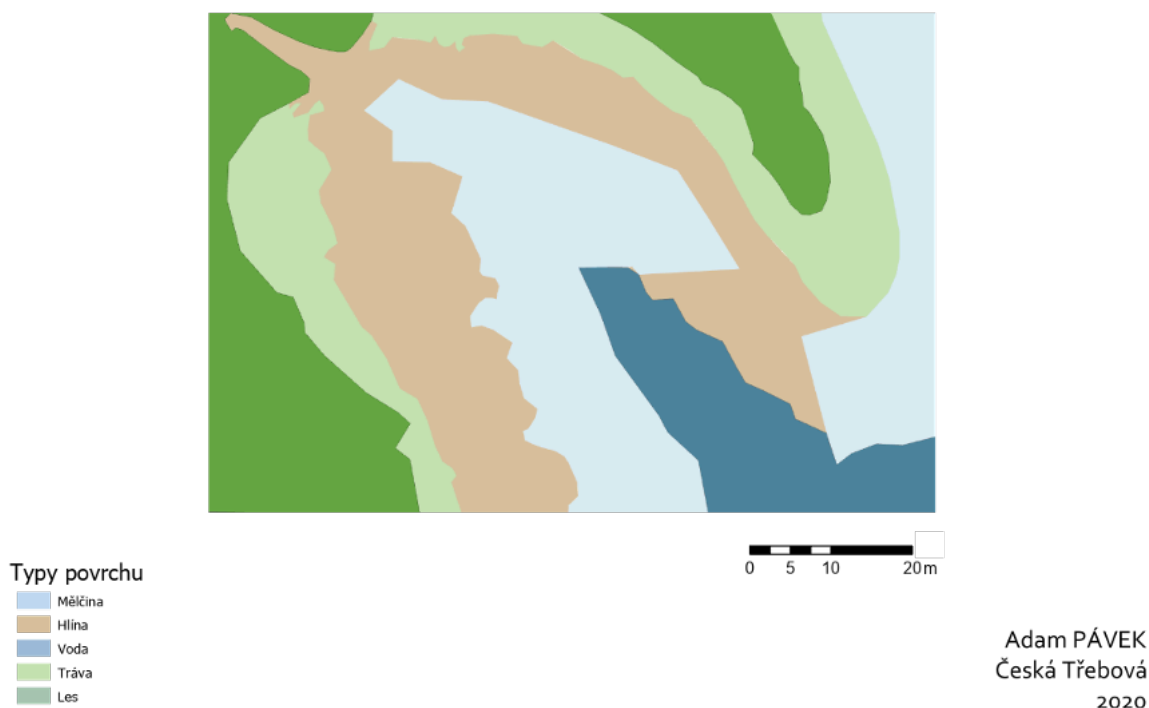
Obrázek 9: Vlastní klasifikační schéma

Zdroj: vlastní zpracování

Digitalizace

K tomuto účelu byly zvoleny typově stejné prvky jako ten, který byl použit v předchozím kroku definice zájmové oblasti. Pro každou mozaiku bylo definováno těchto prvků právě tolik, kolik typů pokryvů se v této oblasti nachází. Pro následující výpočty je ale třeba jistá provázanost daných prvků pro každou mozaiku, proto před standardním vytvořením „Feature“ popsaném v předchozí fázi bylo třeba vytvoření entity „Feature Dataset“, balíku simulující skupinu k sobě patřících prvků. K vytvoření této entity dochází rovněž v „Catalogu“. Pro každou třídu byla následně vytvořena „Feature“ typu „Polygon“. Za použití stejného postupu z předchozí fáze byly na základě pozorování nástrojem „Create“ vytvořeny polygony korespondující s jednotlivými pokryvy. V měsících říjen a listopad se objevuje navíc třída mělčin, které vznikly důsledkem změn v krajině, které budou popsány v kapitole interpretace výsledků. Výstup digitalizace měsíce říjen je možné vidět na Obrázku 10, ostatní digitalizace poté v Příloze A.

DIGITALIZACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ Rybník Skříň - říjen 2020



Obrázek 10: Digitalizace zájmového území říjen

Zdroj: vlastní zpracování

Klasifikační fáze

Pro všechny typy klasifikace bylo v ArcGIS pro využito průvodce „Classification wizard“ v záložce „Analysis“. V první části je uživatel vyzván k zadání základních parametrů. V první řadě jde o typ klasifikace – řízená (Supervised) a neřízená (Unsupervised).

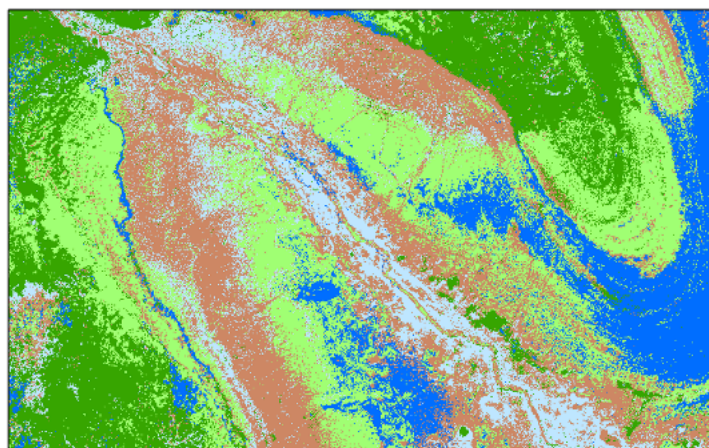
Řízená klasifikace

Po zvolení možnosti řízené klasifikace je průvodcem zpřístupněna další nabídka parametrů. Pro účely řízené klasifikace autor vychází ze stejnojmenné kapitoly teoretické části, bylo tedy zapotřebí parametru tzv. trénovací množiny, pomocí které klasifikátor získá potřebná data pro následnou automatickou klasifikaci. K tomuto účelu byl využit výstup předchozí fáze, který průvodce klasifikací umožňuje použít jako „Reference dataset“. Klasifikátor tedy vychází z definovaných tříd a následuje fáze učení. Předtím je ale zapotřebí zvolit typ řízené klasifikace, v základní verzi jsou dostupné tři typy – maximální věrohodnost (Maximum likelihood), náhodné stromy (Random trees) a metoda podpůrných vektorů (Support vector machine). Po výběru typu klasifikace klasifikátor na

základě vstupních trénovacích množin vyhodnocuje vlastnosti pixelů v trénovacích oblastech a tyto naučené vlastnosti přenáší do fáze klasifikace.

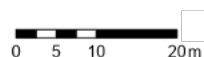
Výsledkem je automaticky klasifikovaný obraz pro stejný počet tříd jako u vstupních trénovacích množin. Výstup je možné pozorovat na Obrázku 11.

VÝSLEDEK KLASIFIKACE SVM Rybník Skříň - listopad 2020



Typy povrchu

- Les
- Hlína
- Voda
- Tráva
- Mělčina



Adam PÁVEK
Česká Třebová
2020

Obrázek 11: Výsledek řízené klasifikace SVM listopad

Zdroj: vlastní zpracování

Neřízená klasifikace

Jak již bylo řečeno hlavní rozdíl neřízené klasifikace spočívá v absenci trénovacích množin. V základní verzi ArcGIS Pro je dostupný neřízený klasifikátor „ISOCluster“, před použitím je nutné definovat podstatně více parametrů než u klasifikace řízené. Hlavním parametrem je počet výstupních tříd, do kterých budou klasifikované pixely zařazeny. U snímků s menší členitostí krajiny bylo možné zvolit menší počet tříd. Naopak například u klasifikace mozaiky měsíce listopad bylo nutné testovat optimální vyšší počet tříd z důvodu odlišné charakteristiky snímků. Při zadání nízkého počtu tříd v takovém případě dochází k nesprávné klasifikaci velkých ploch. Naopak při využití dostatečného počtu klasifikačních tříd je možné některé sloučit ručně a docílit tak přesnějšího výsledku. Tohoto dodatečného postupu bylo využito právě při neřízené klasifikaci měsíce říjen a listopad. Ostatní vstupní parametry, které průvodce nabízí je například minimální počet

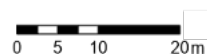
shluků jednoho sdružení, tedy nejmenší možná skupina sousedních pixelů ve stejné třídě. Dalším parametrem je například „Number of iterations“. Výsledkem neřízené klasifikace byl tedy snímek o zadaném počtu tříd, se kterými dále je možné pracovat v rámci tzv. reklasifikace. Ta umožňuje pozdější úpravu názvů tříd, jejich vzhledu a jejich již zmíněné slučování. Vzhledem ke členitosti snímků zejména říjnových a listopadových bylo nutné ke sloučení některých tříd přistoupit. Přesnější klasifikace klasifikátory dosáhly při 8 klasifikačních třídách, ty bylo nutné sloučit tak, aby korespondovaly s původním klasifikačním schématem. K tomu slouží nástroj „Assign classes“, který umožňuje otevřít již existující klasifikační schéma, použité u řízené klasifikace. Poté každé původní třídě lze přiřadit třídu novou právě z tohoto klasifikačního schématu. Na Obrázku 12 je možné vidět už pouhým okem menší přesnost neřízené klasifikace oproti řízené metodě, časově a výpočetně je však tento způsob klasifikování méně náročný.

VÝSLEDEK KLASIFIKACE ISO CLUSTER Rybník Skříň - září 2020



Typy povrchu

- Forest
- Water
- Clay
- Grass
- Shallow



Adam PÁVEK
Česká Třebová
2020

Obrázek 12: Výsledek neřízené klasifikace ISO Cluster září

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledky obou metod byly prostorově porovnány s digitalizovaným vzorem a na základě chybové matice vypočtena úspěšnost jednotlivých klasifikátorů. K tomu bylo zapotřebí získat data o rozloze jednotlivých klasifikovaných tříd a digitalizovaných trénovacích

ploch. V případě digitalizace atributová tabulka („Attribute Table“) obsahuje údaje o rozloze jednotlivých polygonů v pixelech, k získání údaje o rozloze v metrech čtverečních je nutné vytvořit nový atribut (New Field), který byl nazván Geometry podle názvu nástroje, který k výpočtu byl využit. K výpočtu hodnot byl zvolen nástroj „Calculate Geometry“ z kontextového menu příslušné atributové tabulky, který ve vstupních parametrech obsahuje údaje o vstupní třídě, jejíž rozloha bude počítána, v případě travního porostu tedy „Grass“. Parametr „property“ umožňuje zvolit možnost „Area (geodesic)“, určenou přímo k potřebnému účelu výpočtu rozlohy ve předem zvolených jednotkách. Posledním vstupním parametrem je koordinační systém, při nevyplnění přejímá nástroj původní koordinační systém projektu.

V případě výpočtu rozloh klasifikovaných snímků bylo nutné postupovat způsobem odlišným, a to z toho důvodu, že se v tomto případě jedná o rastrová data, která v atributové tabulce defaultně neobsahují informace o rozloze tříd. K tomuto účelu ArcGIS Pro obsahuje nástroj „Zonal statistics as Table“ z balíčku „Spatial analyst“ dostupného v nabídce „Tools“ ze záložky „Analysis“. Výše zmíněný nástroj vytváří tzv. zóny na základě zvolného pole atributové tabulky, nad těmito zónami jsou počítány statistiky jako počet pixelů v dané zóně („Count“), či skutečná rozloha v metrech čtverečních („Area“), výstupem je tabulka těchto statistik pro každou zónu. Vstupním parametrem je počítaný rastr (tedy klasifikovaný snímek), výše zmíněný příznak (konkrétně „Value“ unikátní pro každou klasifikovanou třídu), oblast, kde má být statistika počítána (v případě této studie vždy celý snímek) a typ statistik (defaultně ponechán na možnost „All“).

V Tabulce 1 je možné pozorovat výsledky klasifikačních metod získané výše popsanými metodami.

Tabulka 1: Porovnání výsledků klasifikačních metod a digitalizace

ZÁŘÍ	KLASIFIKÁTORY - ROZLOHA [m ²]			
TŘÍDA	DIGITALIZACE	ML	ISO	SVM
Les	1 037	644	381	877
Voda	3 055	3 110	3 588	2 957
Hlína	740	888	615	855
Tráva	857	1 047	1 105	1 000
SUMA	5689	5 689	5 689	5 689
ÚSPĚŠNOST	100.00%	93.09%	86.27%	95.46%

LISTOPAD	KLASIFIKÁTORY - ROZLOHA [m ²]			
TŘÍDA	DIGITALIZACE	ML	ISO	SVM
Les	1 093	1 792.00	247	1 228
Hlína	1 572	1 246.00	1 853	1 377
Voda	144	1 107.00	415	769
Tráva	2 598	793.00	3 174	1 551
Mělčina	282	751.00	0	764
SUMA	5 689	5 689.00	5 689.00	5 689.00
ÚSPĚŠNOST	100.00%	79.47%	80.17%	78.17%

ŘÍJEN	KLASIFIKÁTORY - ROZLOHA [m ²]			
TŘÍDA	DIGITALIZACE	ML	ISO	SVM
Les	1 125	831	336	957
Hlína	1 431	1 593	2 186	1 487
Voda	561	909	1 384	760
Tráva	977	1 109	1 271	1 098
Mělčina	1 595	1 247	512	1 387
SUMA	5 689	5 689	5 689	5 689
ÚSPĚŠNOST	100.00%	88.72%	67.09%	93.39%

Zdroj: vlastní zpracování

5.2.4 Spektrální indexy a další zpracování

Jak již bylo řečeno, zvýraznění obrazu, například pomocí indexů, může významně zlepšit výsledky automatické klasifikace a dalších následných zpracování, či interpretace v oboru sledování změn. Aby autor ověřil tuto hypotézu, prakticky zpracoval problematiku indexů viditelného spektra opět za pomoci ArcGIS Pro.

Pro tento účel bylo zapotřebí nalézt nástroj umožňující manuální výpočet kombinací pásem, kterou jsou jednotlivé indexy definovány. Vzhledem k charakteru dat bylo možné použít pouze ty indexy, které pracují s pásmy viditelnými – tedy RGB.

Ke zpracování indexů bylo nutné požit v ArcGIS Pro pásmovou aritmetiku (Band Arithmetic) jedná se o ruční nástroj výpočtu nacházející se pod záložku „Imagery“ a v podnabídce „Raster functions“. Tento nástroj umožňuje mimo jiné výběr i již předem definovaných indexů a výpočtů jako například NDVI, tyto předdefinované výpočty však vychází ve valné většině z hyperspektrálních vlastností snímků, pracují tedy například s infračerveným pásmem. Jak již bylo zmíněno snímky použité pro tuto studii obsahují pouze pásma viditelného spektra. Z toho důvodu bylo nutné zvolit volbu „User defined“ a zadat vzorce jednotlivých indexů ručně. V ručním zadání jsou dispozici základní operátory (+, -, *, /), avšak výše některé výše popsané RGB indexy (VEG, COM) vyžadují zadání exponentu. Tím se díky SW nepatrně snižuje škála použitelných indexů.

Nástroj pásmové aritmetiky pracuje s proměnnými označenými jako B (band), například B1, kde číslo za proměnnou značí pořadí pásma RGB. Pro přehlednost bylo tedy vhodné přepracování:

$$R = B1 \quad G = B2 \quad B = B3$$

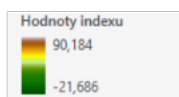
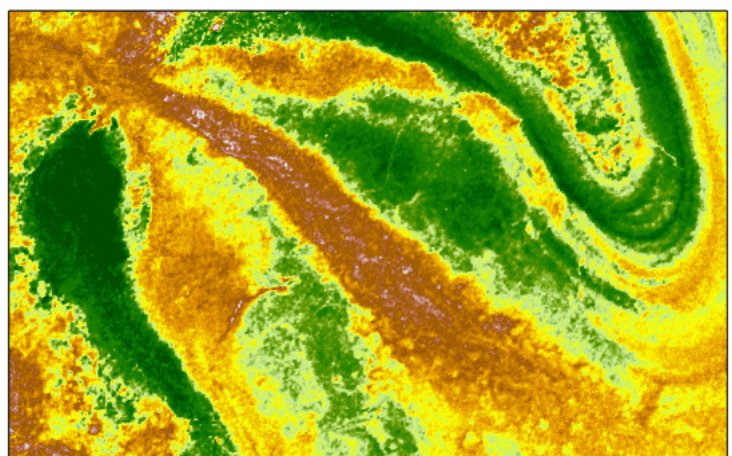
Podle předchozího převzorkování proměnných byl do nástroje zadán pro každý index příslušný vzorec výpočtu. Například výpočet indexu CIVE je znázorněn vzorcem:

$$CIVE = 0,441 * B1 - 0,881 * B2 + 0,385 * B3 + 18,78745$$

Zdroj: Bendig (2015)

Žádné další vstupní parametry funkce neobsahuje a po potvrzení vytváří novou vrstvu s výsledným vypočítaným indexem. Který v defaultním nastavením je ve stupni šedi. Bylo nutné vybrat vhodné zobrazovací schéma v nabídce „Symbology“ z důvodu vhodné interpretace a efektivního využití vypočtených hodnot. Při volbě barevného schématu bylo třeba přihlídnout k faktu, že některé indexy nejsou normalizované. Na Obrázku 13 je možné vidět zpracovaný výsledek vypočítaného indexu CIVE

VÝSLEDEK VÝPOČTU INDEXU CIVE Rybník Skříň - listopad 2020



Adam PÁVEK
Česká Třebová
2020

Obrázek 13: Výsledek indexu CIVE pro měsíc listopad

Zdroj: vlastní zpracování

U některých indexů došlo k velmi vysokému zvýraznění drobných artefaktů vzniklých při mozaikování, což ovlivnilo následnou interpretaci a analýzu výsledku.

Po aplikaci výpočtů příslušných pro každý index a nastavení vhodného barevného schématu bylo pozorováním možné sledovat vlastnosti a silné stránky jednotlivých indexů. Tato metoda zvýraznění obrazu poskytuje další pohled na sledování změn krajiny a využití spektrální analýzy při nízkonákladovém snímání vybavení, jak již bylo řečeno výše.

Pro porovnání výsledků a zjištění výhod jednotlivých indexů byly vypočteny indexy v Tabulce 2.

Tabulka 2: Použité viditelné indexy a jejich vzorce

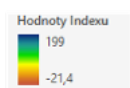
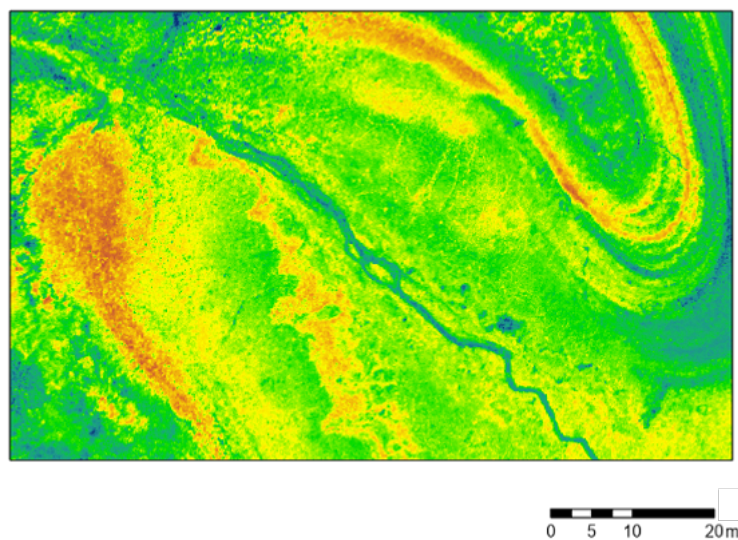
Název indexu	Zkratka	Výpočetní vzorec
Modified Green Red Vegetation Index	MGVRI	$((B2*B2)-(B1*B1))/((B2*B2)+(B1*B1))$
Green Leaf Index	GLI	$((2*B2)-B1-B3)/((2*B2)+B1+B3)$
Modified Photochemical Reflectance Index	MPRI	$(B2-B1)/(B2+B1)$
Red Green Blue Vegetation Index	RGVBI	$(B2-(B3*B1))/((B2*B2)+(B3*B1))$
Excess of Green	ExG	$(2*B2-B1-B3)$
Visible Atmospherically Resistant Index	VARI	$(B2-B1)/(B2+B1-B3)$
Excess of red	ExR	$1,4*B1-B2$
Excess of Green minus Excess of Red	ExG-ExR	$3*B2-2,4*B1-B3$
Color Index of Vegetation Extraction	CIVE	$0,441*B1-0,811*B2+0,385*B3+18,78$
Normalized green blue index	NGBI	$(B2-B3)/(B2+B3)$
Normalized Red Blue Index	NRBI	$(B1-B3)/(B1+B3)$
Triangular Greenness Index	TGI	$B2-(0,39*B1)-(0,61*B3)$

Zdroj: Garcíá (2018), Lussem (2017)

Například dříve zmíněný index CIVE velmi kvalitně zvýrazňuje zdravou zeleň, naopak některé ostatní indexy dosahovaly vzhledem k charakteru snímků nepříliš kvalitních výsledků a zvýraznění pomocí nich neposkytlo nové informace. A zájmové oblasti každého

měsíce bylo aplikováno 12 indexových výpočtů. Mezi indexy, které přinesly nejzajímavější výsledky vůči změnám v krajině a rozlišení těchto jevů patří již zmíněný index CIVE, vzhledem ke zvýraznění zeleně. Dále stojí za pozornost index ExR, který v nízkých hodnotách zvýrazňuje koryto řeky po vypuštění rybníka a mělká místa, či mokřiny. Výsledek indexu ExR je možné pozorovat na Obrázku 14. Další zajímavé výsledky přinesl index ExG-ExR, který i přes členitost snímku, dokázal velmi výrazně zviditelnit hranici mezi břehem a bahnem vzniklým po výpusti rybníka. Jeho nevýhodou však bylo, díky jeho výpočetnímu charakteru, značné zvýraznění drobného artefaktu vzniklého při mozaikování a v konečném důsledku je nepoužitelný. Výsledky všech indexů je možné vidět Příloze B.

VÝSLEDEK VÝPOČTU INDEXU ExR
Rybník Skříň - listopad 2020



Adam PÁVEK
Česká Třebová
2020

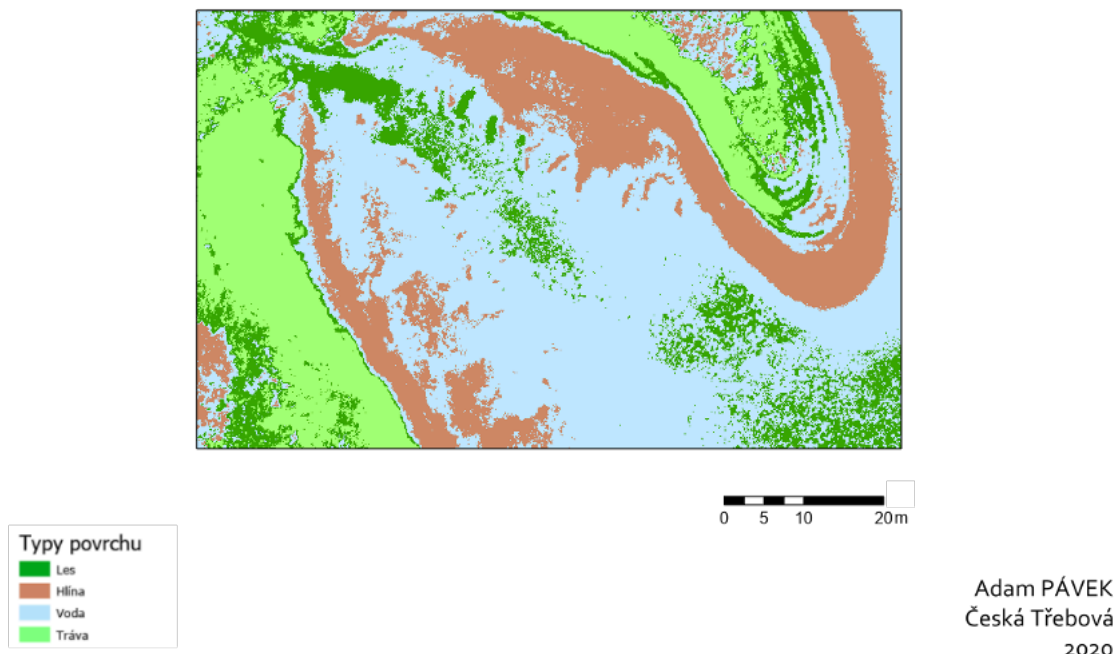
Obrázek 14: Výsledek indexu ExR pro měsíc listopad

Zdroj: vlastní zpracování

Stejným způsobem jako u klasifikace zájmových území byl použit klasifikátor ISO Cluster nad vybranými výsledky vypočítaných vegetačních indexů. Pro porovnání bylo v klasifikačním průvodci zvoleno téměř totožné nastavení klasifikátoru. Vzhledem k již zmíněné členitosti snímků některých měsíců se měnil pouze počet klasifikačních tříd pro optimalizaci výsledků. Stejně jako u předešlých klasifikačních metod bylo využito nástroj pro následné sloučení těchto tříd tak, aby odpovídaly klasifikačnímu schématu. Na

Obrázku 15 je možné sledovat výsledek klasifikace ISO Cluster aplikované na výsledek indexu GLI v měsíci září.

KLASIFIKACE ISO CLUSTER NA INDEXU GLI Rybník Skříň - září 2020



Obrázek 15: Klasifikace ISO Cluster na indexu GLI - září

Zdroj: vlastní zpracování

5.3 Interpertace výsledků

V rámci této práce proběhlo zpracování snímků letecké mise Ústavu systémového inženýrství Univerzity Pardubice, zpracovány byly snímky rybníku Skříň ze třech období – měsíců září, říjen a listopad. Z těchto snímků byly pro následné zpracování vytvořeny mozaiky pro každý měsíc pomocí vybraného softwaru Pix4Dmapper.

Proces mazikování proběhl bez větších problémů, na některých snímcích z měsíce říjen byly zaznamenány mírné artefakty způsobené pravděpodobně změnou počasí v průběhu letové mise. Po dokončení tvorby mozaik byly výsledky vyexportovány v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM Zone 33N.

Pro následná zpracování byl zvolen software ArcGIS Pro verze 2.4.0, ve kterém proběhly všechny následující výpočty a úpravy.

První použitou metodou bylo vzájemné georeferencování mozaik vůči sobě, z důvodu přesnosti dalších výpočtů. K tomu bylo zvoleno několik významných referenčních bodů na mozaikách. Z těchto referencovaných mozaik bylo vytvořeno menší zájmové území oblasti výběžku a malé zátoky z důvodu menší náročnosti výpočtů.

Na základě terénního průzkumu a znalosti území byly tyto zájmové oblasti pro každý měsíc digitalizovány do 4-5 typů terénu, rozpoznán byl les, voda, hlína, tráva a u měsíce říjen a listopad také mělčina.

Porovnání rozloh digitalizovaných ploch dokazuje několik prokazatelných změn, které nastaly v období mezi jednotlivými letovými misemi. Nejzásadnější rozdíl je úbytek vody po měsíci září z důvodu vypuštění rybníku, s tím souvisí následný vznik mělčin a vyšší výskyt ploch hlíny a trávy v následujících měsících. Úbytek vody mezi měsíci září a listopad byl cca 95,3 %. Nejúspěšnější automatický klasifikátor ISO Cluster poskytl výsledek úbytku vodních 89,5 %.

V listopadu bylo možné pozorovat zatrávnění těchto ploch vzniklých důsledkem úbytku vody a tím snížení rozlohy mokřin, na kterých během měsíce vyrostla tráva. Dle digitalizace se travní plochy v průběhu sledovaných období rozšířily na trojnásobek zářijových hodnot. Téměř totožného výsledku dosáhl i klasifikátor ISO Cluster.

Toto digitalizované území následně posloužilo jako trénovací plochy pro metody řízené klasifikace. Z této kategorie byly zvoleny metody Maximum Likelihood (ML) a Support Vector Machine (SVM). Jako metoda neřízené klasifikace byl použit algoritmus ISO Cluster. Nejvyšší úspěšnosti klasifikace dosahoval klasifikační algoritmus SVM u měsíce

září 95,46 % a u měsíce říjen 93,39 %. V měsíci listopad dosáhnul nejvyšší úspěšnosti algoritmus ISOCluster a to 80,17 %. Tento poznatek koresponduje s řešením ve studii Valencia a kolektivu (2020), kteří se zabývali výzkumem úbytku vody a vzniku mokřadů při využití RGB snímků z UAV.

Nižší výsledek u listopadových klasifikací je možné připsat zejména nevýraznému odstínu opadáných listů s podobným odstínem jako hlína, klasifikátor tedy mylně přiřazoval pixely do špatných tříd.

Vzhledem ke členitosti snímků bylo vhodné použít širší množství metod, jako další způsob zpracování a interpretace snímků byly použity vegetační indexy pracující s hodnotami odrazivosti viditelného spektra, které byly k dispozici. K tomuto kroku byla inspirací práce Costy a kolektivu (2020), která zkoumala porovnatelnost RGB indexů s indexy multispektrálními a také jejich vliv na úspěšnost klasifikace. Nejzajímavějších výsledků z hlediska zvýraznění rozšiřující se vegetace v důsledku úbytku vody, či mokrého podloží na dně rybníka, dosáhly viditelné indexy CIVE, ExG-ExR, ExG, TGI a GLI. Na vybrané indexy byla použita neřízená klasifikace ISO Cluster, která dosáhla u měsíce září a listopad lepších výsledků než klasifikace bez zvýraznění vegetačním indexem, a to v průměru o 2,5 %. V měsíci říjnu naopak použití indexů způsobilo zvýraznění artefaktů vzniklých při vytváření mozaik, to velmi výrazně vizuálně zkreslilo klasifikaci, i přes to byl klasifikátor úspěšnější než na původním snímku. To podporuje hypotézu ze studie Wana a kolektivu (2018), kde uvádějí drobné zvýšení úspěšnosti klasifikátorů na snímcích, kde byly předem vypočítány vybrané RGB indexy. Použití indexů tedy přispělo k interpretaci výše zmíněných změn a mírně zvýšilo úspěšnost neřízené klasifikace v porovnání s nezvýrazněnými snímky. Na druhou stranu je nutné podotknout, že RGB indexy nevykazují tak výraznou schopnost zvýraznění na snímcích, kde chybí vegetace, to bylo možné pozorovat v lesních částech snímku měsíce listopad, kde vzhledem k absenci listů vypočítané indexy zvýraznění nepřispěly.

Konkrétní výsledky celé práce je možné pozorovat na přiloženém DVD nosiči Příloha C, kde jsou rozděleny do jednotlivých kategorií, jedná se pouze o výsledky metod, nikoliv kartografické interpretace.

5.4 Navržený postup zpracování

V následující kapitole autor shrnuje navržený postup zpracování snímků za účelem sledování a analýzy změn v krajině za použití RGB snímků pořízených UAV tak, jak byl použit v této práci.

- 1) Předzpracování snímků
 - a) Mozaikování
 - b) Georeferencování
 - c) Ořez zájmového území
- 2) Zpracování dat
 - a) Digitalizace zájmových území
 - b) Řízená klasifikace zájmových území
 - c) Neřízená klasifikace zájmových území
 - d) Vyhodnocení výsledků a úspěšnosti
 - e) Výpočet vegetačních indexů
 - f) Klasifikace nad vegetačními indexy
- 3) Interpretace výsledků
 - a) Analýza výsledků a porovnání
 - b) Shrnutí výsledků a změn v pozorované oblasti
 - c) Vizualizace

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout vhodný postup pro zpracování obrazových dat RGB a následnou detekci změn v krajině na těchto snímcích, včetně interpretace výsledků.

Na základě vstupních dat, nasnímaných pomocí UAV v průběhu tří podzimních měsíců, se podařilo navrhnout vhodný způsob zpracování těchto dat.

V první řadě byla vytvořena trojice souvislých mozaik v prostředí Pix4Dmapper, ostatní úkony byly zpracovány v prostředí ArcGIS Pro. Z výsledných mozaik bylo vytvořeno menší zájmové území. Zájmové oblasti byly referencovány na sebe tak, aby došlo k co nejpřesnějšímu porovnání sledovaných změn.

Na zájmových územích byla v první řadě provedena operace digitalizace, na základě znalosti území a průzkumu bylo detekováno 5 typů zkoumaných povrchů, které mohly být později použity jako vzor pro trénování klasifikátorů.

Další použitou metodou byla klasifikace, v této části byly využity dvě metody klasifikace řízené a jedna metoda klasifikace neřízené. Časově náročnější metody klasifikace řízené (konkrétně metoda Support Vector Machine a Maximum Likelihood) dosáhly lepších výsledků.

Pro detekci změn bylo zároveň využito zvýraznění pomocí indexů RGB, těch bylo využito celkem 12. Porovnání výsledných dat podpořilo hypotézu o časových změnách v krajině v průběhu sledovaného období. Vybrané indexy zvýraznily některé časové jevy i přes to, že autor byl omezen pouze na viditelné spektrum, protože neměl k dispozici multispektrální data. Výsledky ukázaly, že vegetaci a krajinné změny lze pozorovat i cenově dostupným vybavením.

Na základě použitých metod se podařilo detekovat výrazný úbytek vody, rozšíření travního porostu na dně rybníka a vznik mokřin po vypuštění vodě. Tyto výsledky byly porovnány s reálnými daty získanými pozorováním a výsledky i úspěšnost zaneseny ve výsledkové tabulce.

Hlavním přínosem práce je navržený postup zpracování dat a následné analýzy a identifikace změn v krajině.

POUŽITÁ LITERATURA

ASSANEIN, Mohamed, Zahra LARI a Naser EL-SHEIMY. A New Vegetation Segmentation Approach for Cropped Fields Based on Threshold Detection from Hue Histograms. *Sensors* [online]. 2018, 18(4) [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.3390/s18041253. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/4/1253>

AUSTIN, Reg. Unmanned air vehicles: UAV design, development, and deployment. Hoboken, NJ: Wiley, 2010.

BENIAICH, Adnane, Marx Leandro Naves SILVA, Fabio Arnaldo Pomar AVALOS, Michele Duarte de MENEZES a Bernardo Moreira CÂNDIDO. Determination of vegetation cover index under different soil management systems of cover plants by using an unmanned aerial vehicle with an onboard digital photographic camera. *Semina: Ciências Agrárias* [online]. 2019, 40(1), 49-66 [cit. 2020-08-10]. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n1p49. ISSN 1679-0359. Dostupné z: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/32099>

CAMPBELL, J.B. (2002). Introduction to remote sensing, 3rd ed., The Guilford Press. ISBN 1-57230-640-8.

Canada Centre for Mapping and Earth Observation [online]. Vancouver, 2016 [cit. 2019-06-06]. Dostupné z: <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9379>

COSTA, Lucas, Leon NUNES a Yiannis AMPATZIDIS. A new visible band index (vNDVI) for estimating NDVI values on RGB images utilizing genetic algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2020, 2020(172), 13 [cit. 2020-08-14]. ISSN 0168-1699. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816991932383X>

ČESKO. Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. In: Sbíрка zákonů České republiky. 1998. Dostupný také z: <http://www.mvcr.cz/soubor/sb005-10-pdf.aspx>

DI GREGORIO, Antonio. Land cover classification system: classification concepts and user manual : LCCS. Software version 2. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005. Environment and natural resources series, no. 8. ISBN 92-5-105327-8.

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

Doplňek X - Bezpilotní systémy [online]. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L2/data/effective/doplX.pdf&usg=AFQjCNGVCL6jO3BYq6cA7s6iVnRH2vx6jg&sig2=mnbDSaXkI0NMp3-x-2J2Jw&cad=rja>

- Dpz2: vdgp_dpz2. Mendelova univerzita v Brně: Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vdgp_dpz2.pdf
- EISENBEISS, H. (2009): UAV Photogrammetry. 237 s. Disertační práce. Zurich: Institut für Geodäsie und Photogrammetrie.
- EMERY, William a Adriano CAMPS. Introduction to Satellite Remote Sensing. Hawaii: Elsevier, 2017. ISBN 9780128092545.
- FORMAN, Richard T. Krajinná ekologie. 1. vyd. Praha: Academia, 1993. ISBN 80-200-
- GARCÍA, C., E., MONTERO D., CHICA, H., A. Evaluation of a NIR camera for monitoring yield and nitrogen effect in sugarcane. SciELO Colombia- Scientific Electronic Library Online [online]. Dostupné z: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652017000100082
- GISAT (2015). DPZ. Dostupné z: <http://gisat.cz/content/cz/dpz> (15. 3. 2019)
- HALOUNOVÁ L, PAVELKA K (2005).: Dálkový průzkum Země, 1.vyd. Praha: FSv ČVUT
- HORÁK, Jiří. DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ [online]. 2014. Ostrava [cit. 2019-06-06].
- HOZMAN, J. Základní metody předzpracování obrazu. ČVUT [online]. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003 [cit. 2011-11-04]. Dostupné z: webzam.fbmi.cvut.cz/hozman/Zprac_obr_prisp_kurz_UEM_3_2003.pdf
- CHMEL, L., HAMERNÍK, I., Fotovoltaika, fototermika [online]. [cit. 2019-2-20]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/01.html>
- ISODATA. Remote Sensing Technologies | Geospatial Data and Imagery | L3Harris Geospatial [online]. Copyright © 2020 Harris Geospatial Solutions, Inc. [cit. 12.08.2020]. Dostupné z: <https://www.harrisgeospatial.com/docs/ISODATAClassification.html>
- JENSEN, John R. *Introductory Digital image processing: a remote sensing perspective*. 4th ed. South Carolina: Pearson, 2015.
- KARAS, J; TICHÝ, T. Drony. Brno: Computer Press, 2016.
- KASSER, M; EGELS, Z. Digital Photogrammetry. New York: Taylor & Francis, 2002.
- KOLÁŘ, Jan. Dálkový průzkum země. 1. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00517-5.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., CHIPMAN, J.W.: Remote Sensing and Image Interpretation, 7th Ed., Wiley, 2007. ISBN: 978-1-118-34328-9

Lokoč R., Lokočová, M. Vývoj krajiny v české republice. 1. vyd., Lipka - školské zařízení pro environmentální vzdělávání, Brno, 2010, 43 stran, ISBN: 9788090480735. Dostupná na World Wide Web: http://www.lowaspol.cz/_soubory/KR_kniha.pdf

LU, Ning, Jie ZHOU, Zixu HAN, et al. Improved estimation of aboveground biomass in wheat from RGB imagery and point cloud data acquired with a low-cost unmanned aerial vehicle system. Plant Methods [online]. 2019, 15(1) [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.1186/s13007-019-0402-3. ISSN 1746-4811. Dostupné z: <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-019-0402-3>

LUSSEM, U., J. HOLLBERG, J. MENNE, J. SCHELLBERG a G. BARETH. USING CALIBRATED RGB IMAGERY FROM LOW-COST UAVS FOR GRASSLAND MONITORING: CASE STUDY AT THE RENGEN GRASSLAND EXPERIMENT (RGE), GERMANY. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences [online]. 2017, XLII-2/W6, 229-233 [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-229-2017. ISSN 2194-9034. Dostupné z: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W6/229/2017/>

Mapy Google . Google [online]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/Sk%C5%99%C3%AD%C5%88/@50.0826298,15.6550339,2869m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x470c3188af25f6c9:0x382c51c350f695d4!8m2!3d50.0885916!4d15.6407173>

MÍŘIJOVSKÝ, J. Bezpilotní systémy: sběr dat a využití ve fotogrametrii. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci pro katedru geoinformatiky, 2013, 169 s. Terra notitia. ISBN 978-80-244-3923-5.

NATIONAL MONITORING NEWS FALL [online],[cit. 2019-03-30]. Dostupné z: http://acwi.gov/monitoring/newsletter/national-monitoring-news_fall2013.pdf

NOVA: Time Line of UAVs [online]. [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <http://pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html>

PETTORELLI, N., RYAN, S., MUELLER, T., BUNNEFELD. N., JEDREJEWSKA, B., LIMA, M., KAUSRUD, K. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. Climate Research, vol. 46, London, January 2011, 15 – 27 s.

PILNÝ, Jaroslav. Ochrana a tvorba krajiny. Pardubice: Vysoká škola chemicko-

Praktické využití GIS: lesy a krajina pod dozorem. CAD.cz [online]. Praha: CAD [cit.2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/component/content/article/4723.html>

ResearchGate | Find and share research [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/270613992_Color_Indices_for_Weed_Identification_Under_Various_Soil_Residue_and_Lighting_Conditions/stats

RICHARDS, J. A. a Xiuping JIA. Remote sensing digital image analysis: an introduction. 4th ed. Berlin: Springer, c2006. ISBN 978-3-540-25128-6.

SÁDLO, Jiří et al.: Krajina a revoluce: významné přelomy ve vývoji kulturní krajiny Českých zemí. Praha : Malá Skála, 2005, 247 s. ISBN 80-86776-02-6

SEDLÁK, Pavel a Ondřej HOBZA. Digitální zpracování obrazu: Systém Idrisi32 Release Two. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006, 85 s. ISBN 80-244-1538-0.

SKOKANOVÁ, H. (2011). Změny využívání krajiny, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i. Dostupné z: <http://www.zmeny-krajiny.cz> (14. 3.2019)

SLÁDEK, J., RUSNÁK, M. (2013): Nízkonákladové mikro-UAV technologie v geografii (nová metoda zberu priestorových dát). Geografický časopis. 65. č. 3. s. 269–285.

SUNDARARAJAN, D. Digital Image Processing. Montreal: Springer, 2017. ISBN 978-981-10-6113-4.

TAGLE CASAPIA, Ximena, Lourdes FALEN, Harm BARTHOLOMEUS, Rodolfo CÁRDENAS, Gerardo FLORES, Martin HEROLD, Eurídice N. HONORIO CORONADO a Timothy R. BAKER. Identifying and Quantifying the Abundance of Economically Important Palms in Tropical Moist Forest Using UAV Imagery. Remote Sensing [online]. 2020, 12(1) [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.3390/rs12010009. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/1/9>

technologická, 1993. ISBN 80-85113-58-9.

TEMPFLI, K., HUURNEMAN, G., BAKKER, W., JANSSEN, L., FERINGA, W., GIESKE, A., GRABMAIER, K., HECKER, C., & HORN, J. V. D. (2009). Principles of remote sensing: an introductory textbook. Enschede, ITC.

THE UAV: Unmanned Aerial Vehicle [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <http://www.theuav.com/>

TSO, Brandt a Paul M. MATHER. CLASSIFICATION METHODS FOR REMOTELY SENSED DATA. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. ISBN 978-1-4200-9072-7.

ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ: Letadla bez pilota na palubě [online]. [cit. 2016-03- 30]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube>

ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ_3 [on-line]: Přehled právních předpisů, <http://www.caa.cz/predpisy/prehled-pravnich-predpisu> (únor 2015).

VALENCIA, E A, K A PALMA, I D CHANGOLUISA, et al. Wetland monitoring through the deployment of an autonomous aerial platform. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [online]. 2020, 432 [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.1088/1755-1315/432/1/012002. ISSN 1755-1315. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/432/1/012002>

WAN, Liang, Yijian LI, Haiyan CEN, et al. Combining UAV-Based Vegetation Indices and Image Classification to Estimate Flower Number in Oilseed Rape. Remote Sensing [online]. 2018, 10(9) [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.3390/rs10091484. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/10/9/1484>

ZILIANI, Matteo, Stephen PARKES, Ibrahim HOTEIT a Matthew MCCABE. Intra-Season Crop Height Variability at Commercial Farm Scales Using a Fixed-Wing UAV. Remote Sensing [online]. 2018, 10(12) [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.3390/rs10122007. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/10/12/2007>

ŽDÍMAL, V., POSPÍŠIL, J., ŠAFÁŘ, V. Remote sensing and yield maps. Ostrava: Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, 2011, s. 5.

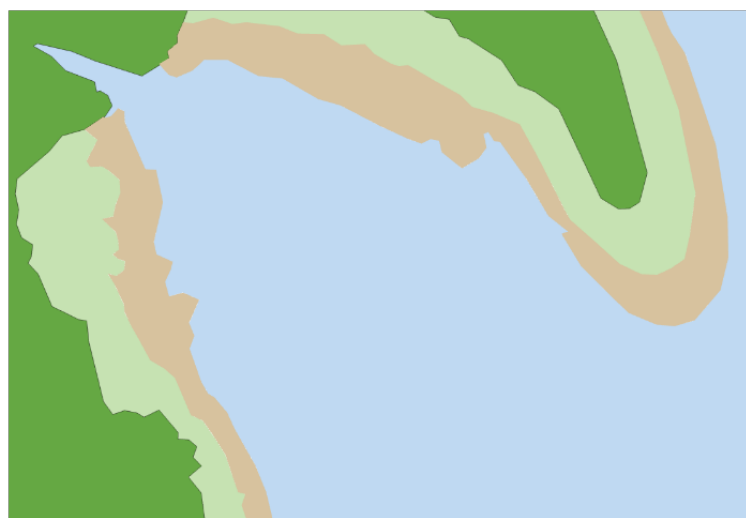
Železný, M.: Dálkový průzkum Země. Katedra kybernetiky, Západočeská univerzita Plzeň, Plzeň 2005, Online [online]. Dostupné z: <http://artin.zcu.cz/courses/dpz/DPZ-051130.pdf>

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A Digitalizace ostatních zájmových území
- Příloha B Výsledky použitých vegetačních indexů
- Příloha C Výsledky ostatních metod na DVD nosiči

Příloha A – Digitalizace ostatních zájmových území

DIGITALIZACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ Rybník Skříň - září 2020



Typy povrchu

-  Hlína
-  Les
-  Tráva
-  Voda

0 5 10 20 m

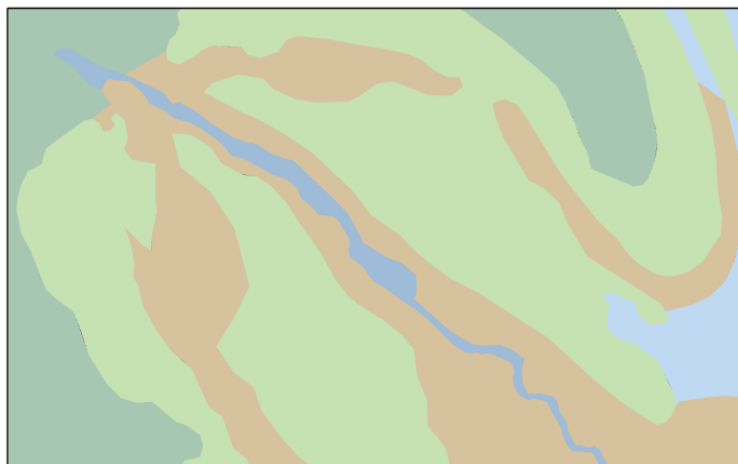
Adam PÁVEK
Česká Třebová
2020

Příloha 1: Digitalizace zájmového území září

Zdroj: vlastní zpracování

DIGITALIZACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Rybník Skříň - listopad 2020



Typy povrchu

- Mělčina
- Hlína
- Voda
- Tráva
- Les

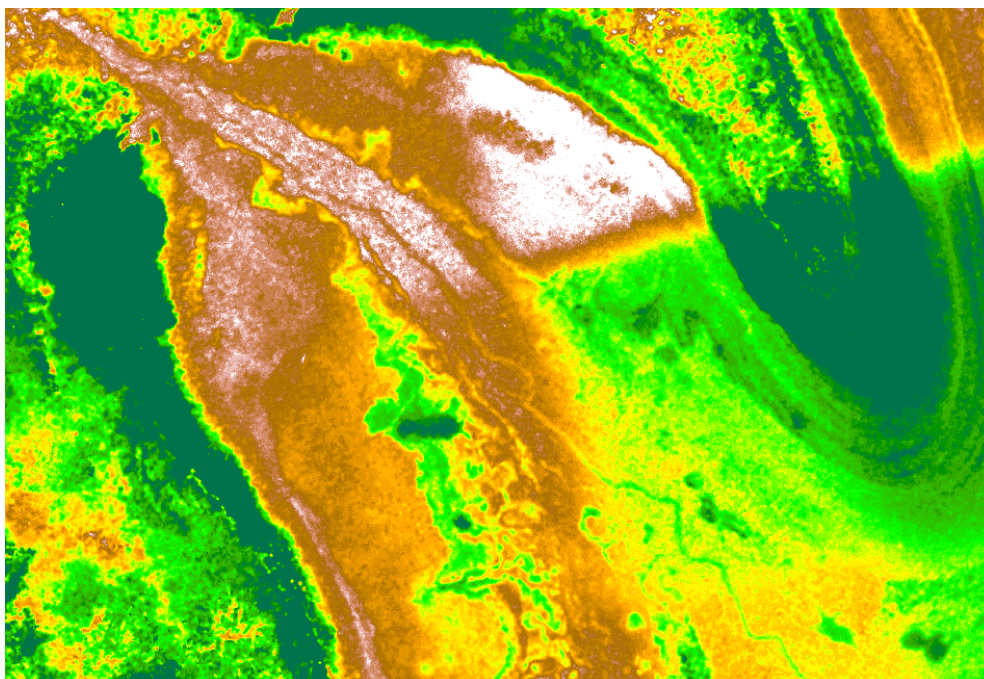
0 5 10 20 m

Adam PÁVEK
Česká Třebová
2020

Příloha 2: Digitalizace zájmového území listopad

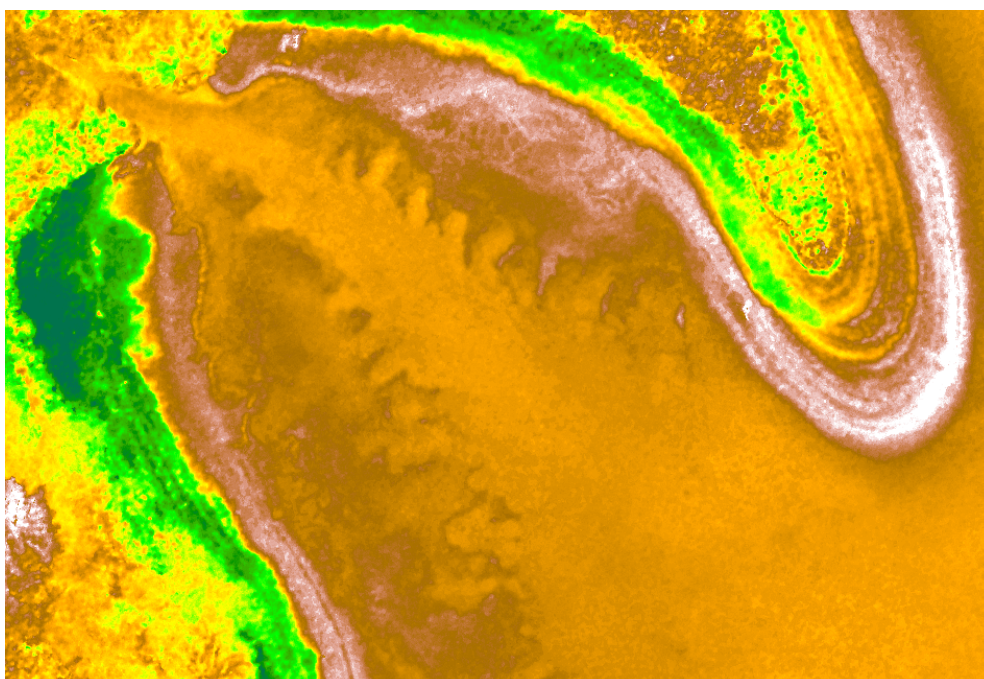
Zdroj: vlastní zpracování

Příloha B – Grafické výsledky použitých vegetačních indexů



Příloha 3: Index CIVE říjen

Zdroj: vlastní zpracování



Příloha 4: Index CIVE září

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha C – Výsledky ostatních metod na DVD nosiči