

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

Fakulta životního prostředí

**Katedra aplikované geoinformatiky a územního
plánování**



Ovlivňuje výběr atmosférické korekce hodnoty vegetačního
indexu NDVI?

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Klouček

Diplomant: Bc. Michaela Svačinová

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Michaela Svačinová

Voda v krajině

Název práce

Ovlivňuje výběr atmosférické korekce hodnoty vegetačního indexu NDVI?

Název anglicky

Does the selection of the atmospheric correction affect values of Normalized Difference Vegetation Index?

Cíle práce

Cílem diplomové práce je na příkladu vegetačního indexu NDVI a snímku z družice Landsat 8 porovnat vybrané atmosférické korekce dostupné (i) v softwaru ENVI a (ii) skrze služby United States Geological Survey (USGS) s hodnotami NDVI získanými vlastním terénním měřením v době přeletu družice nad zvoleným zájmovým územím.

Díličními cíli práce je odpovědět na tyto výzkumné otázky:

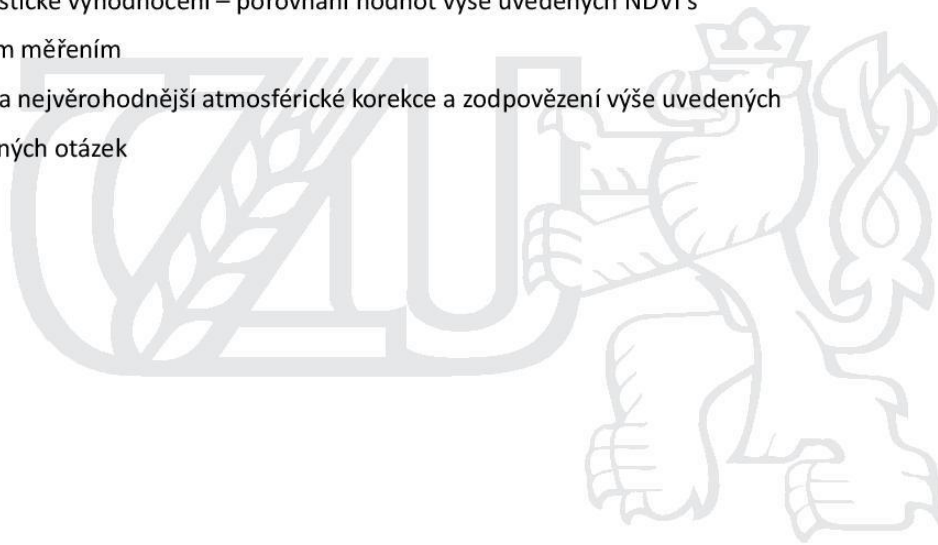
- (a) Je třeba při výpočtu indexu NDVI provádět atmosférické korekce?
- (b) Vyplatí se atmosférickou korekci vypočítat v ENVI nebo postačí využít snímek atmosféricky korigovaný USGS?
- (c) Platí, že čím výpočetně složitější atmosférickou korekci použijeme, tím věrohodnější výsledky dostaneme?
- (d) Liší se věrohodnost atmosférických korekcí v závislosti na typu krajinného pokryvu?

Metodika

Metodiku diplomové práce lze rámcově rozdělit na:

- (a) Výběr alespoň dvou zájmových lokalit s odlišným typem krajinného pokryvu (například orná půda, travní porost, zástavba atd.)
- (b) Provedení terénního měření přístrojem GreenSeeker (index NDVI) v době přeletu družice Landsat 8 přes zájmové lokality
- (c) Získání vhodného snímku z družice Landsat 8 v surové a atmosféricky korigované podobě (USGS)
- (d) Pre-processing snímku a výpočet vybraných atmosférických korekcí dostupných v softwaru ENVI (Dark Object Subtraction, QUAC a FLAASH)

- (e) Výpočet NDVI ze surového snímku, atmosféricky korigovaného snímku USGS a ENVI algoritmy atmosféricky korigovaných snímků
- (d) Statistické vyhodnocení – porovnání hodnot výše uvedených NDVI s terénním měřením
- (e) Volba nejméně atmosférické korekce a zodpovězení výše uvedených výzkumných otázek



Doporučený rozsah práce

40 – 60 stran

Klíčová slova

dálkový průzkum Země, NDVI, Landsat 8, atmosférické korekce, ENVI, USGS

Doporučené zdroje informací

- Clark B., Suomalainen J., Pellikka P. 2011. An historical empirical line method for the retrieval of surface reflectance factor from multi-temporal SPOT HRV, HRVIR and HRG multispectral satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13:292–307. DOI: 10.1016/j.jag.2010.12.004.
- Cui L., Li G., Ren H., He L., Liao H., Ouyang N., Zhang Y. 2014. Assessment of atmospheric correction methods for historical Landsat TM images in the coastal zone: A case study in Jiangsu, China. *European Journal of Remote Sensing* 47:701–716. DOI: 10.5721/EuJRS20144740.
- Hadjimitsis DG., Papadavid G., Agapiou A., Themistocleous K., Hadjimitsis MG., Retalis A., Michaelides S., Chrysoulakis N., Toullos L., I. Clayton CR. 2010. Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: Impact on vegetation indices. *Natural Hazards and Earth System Science* 10:89–95. DOI: 10.5194/nhess-10-89-2010.
- Chrysoulakis N., Abrams M., Feidas H., Arai K. 2010. Comparison of atmospheric correction methods using ASTER data for the area of Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing* 31:6347–6385. DOI: 10.1080/01431160903413697.
- López-Serrano PM., Corral-Rivas JJ., Díaz-Varela RA., Álvarez-González JG., López-Sánchez CA. 2016. Evaluation of radiometric and atmospheric correction algorithms for aboveground forest biomass estimation using landsat 5 TM data. *Remote Sensing* 8:1–19. DOI: 10.3390/rs8050369.
- Mahiny AS., Turner BJ. 2007. A comparison of four common atmospheric correction methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73:361–368. DOI: 10.14358/PERS.73.4.361.
- Song C., Woodcock CE., Seto KC., Lenney MP., Macomber SA. 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment* 75:230–244. DOI: 10.1016/S0034-4257(00)00169-3.
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tomáš Klouček

Garantující pracoviště

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2018

doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 14. 04. 2018

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Tomáše Kloučka a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Praze, dne 12. 4. 2018

Bc. Michaela Svačínová

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce Ing. Tomášovi Kloučkovi za cenné rady a vedení při zpracování diplomové práce. Dále RNDr. Karlu Hrachovi, Ph.D. za odborné konzultace. Mé poděkování patří také mé rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu během studia.

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá dálkovým průzkumem Země (DPZ), konkrétněji družicovými snímky. Každý družicový snímek je při svém pořizování ovlivněn vlivy atmosféry, a proto je důležité ho před použitím například při výpočtu vegetačních indexů, objemu biomasy či při analýze časových řad snímků zpracovat atmosférickou korekcí. Cílem práce bylo na příkladu vegetačního indexu NDVI (normalizovaný diferenční vegetační index) a snímku z družice Landsat 8 porovnat (a) vybrané atmosférické korekce dostupné v softwaru ENVI 5.4 a (b) skrze volně dostupné služby United States Geological Survey (USGS) s hodnotami získanými vlastním terénním měřením v době přeletu družice nad areálem České zemědělské univerzity v Praze. K naměření reálných hodnot indexu NDVI byl použit přístroj GreenSeeker. Z výsledků práce je zřejmé, že pro získaný snímek z družice Landsat 8 jsou nejpresnějšími atmosférickými korekcemi metoda FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes) dostupná v ENVI a korekce volně dostupná skrze USGS. Naopak nedostatečné přesnosti dosáhly výpočetně méně náročné atmosférické korekce QUAC (QUick Atmospheric Correction) a Dark Object Subtraction. Dále je patrné, že přesnost provedené atmosférické korekce se liší v závislosti na typu krajinného pokryvu. Hlavním přínosem práce je samotné porovnání přesnosti jednotlivých metod atmosférických korekcí, jehož závěry jsou například využitelné v mnoho nejen environmentálních studií využívající jako zdroj vstupních dat družicové snímky.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, NDVI, Landsat 8, atmosférické korekce, ENVI, USGS

Abstrakt:

The diploma thesis deals with remote sensing, and further with satellite imagery. Every satellite image is influenced by atmospheric environment and that's the reason why we have to use atmospheric correction (while we want to calculate vegetative indices, biomass volumes or analyze time series of satellite imagery). Goal of this thesis was to compare atmospheric corrections on example of vegetative index NDVI (normalized differential vegetative index) and Landsat 8 image in ENVI 5.4 software. Comparison was done between freely available data from service of United States Geological Survey (USGS) and data measured in terrain in time of satellite crossing above Czech University of Life Science Prague campus. For measuring real values of NDVI index was used device called GreenSeeker. From results of thesis is obvious that for acquired image from Landsat 8 satellite are most precise atmospheric corrections from method called FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes) which is available in ENVI and correction is freely available through USGS. On the other hand, less computationally difficult atmospheric corrections as QUAC (QUick Atmospheric Correction) and Dark Object Subtraction maintain worse accuracy. Then it's also obvious that the accuracy of atmospheric corrections differs according to different types of landscape covers. Main benefit of the thesis is comparison of the individual methods of atmospheric corrections itself. Conclusions of this comparison are useful in many environmental studies which are using satellite imagery as an input.

Keywords: remote sensing, NDVI, Landsat 8, atmospheric corrections, ENVI, USGS

Obsah

1. Úvod a cíle práce.....	12
2. Literární rešerše	13
2. 1 Dálkový průzkum Země	13
2. 1. 1 Druhy DPZ	13
2. 1. 2 Elektromagnetické záření a spektrum.....	14
2. 1. 3 Vliv atmosféry na elektromagnetické záření.....	15
2. 1. 3. 1 Rozptyl záření	15
2. 1. 3. 2 Absorpce záření	16
2. 1. 4 Zdroje dat DPZ.....	17
2. 1. 5 Družicové snímky	18
2. 1. 5. 1 Prostorové rozlišení	18
2. 1. 5. 2 Spektrální rozlišení	19
2. 1. 5. 3 Radiometrické rozlišení.....	19
2. 1. 5. 4 Časové rozlišení	20
2. 2 Družicový systém LANDSAT	21
2. 2. 1 Základní informace o programu Landsat	21
2. 2. 2 Vybavení družic programu Landsat.....	21
2. 2. 3 Landsat 8	22
2. 3 Předzpracování obrazu	23
2. 3. 1 Radiometrické korekce	23
2. 3. 2 Atmosférické korekce	24
2. 3. 3 Geometrické korekce	25
2. 4 Vegetační indexy	25
2. 4. 1 Rozdílový vegetační index DVI.....	25
2. 4. 2 Jednoduchý poměrový vegetační index RVI	25

2. 4. 3 Normovaný rozdílový vegetační index NDVI	26
2. 5 ENVI.....	26
2. 5. 1 Radiometrické korekce v ENVI.....	27
2. 5. 2 Atmosférické korekce v ENVI.....	28
3. Charakteristika studijního území	31
4. Metodika.....	32
4. 1 Družicová data	32
4. 2 Terénní měření	32
4. 3 Zpracování v ENVI 5.4	33
4. 3. 1 Předzpracování snímků.....	34
4. 3. 2 Atmosférické korekce	34
4. 3. 2. 1 Dark Subtraction.....	34
4. 3. 2. 2 QUAC.....	36
4. 3. 2. 3 FLAASH	36
4. 3. 3 Výpočet vegetačního indexu NDVI	37
4. 4 Zpracování v ArcGIS.....	38
4. 5 Statistika	38
4. Výsledky.....	40
4. 1 Lokalita 1 - Louka.....	41
4. 2 Lokalita 2 - Pole.....	42
4. 3 Lokalita 3 - Parkoviště.....	43
5. Diskuse	44
6. Závěr	47
7. Zdroje.....	48
8. Seznam obrázků, tabulek a vzorců	51
8. 1 Seznam obrázků.....	51

8.2 Seznam tabulek	51
8.3 Seznam vzorců	51

1. Úvod a cíle práce

Dálkový průzkum Země (DPZ) má v dnešní době velmi široké uplatnění, a to nejen díky rychlému technologickému vývoji, ale především díky zvyšující se dostupnosti pořízených datových produktů. Obor dříve využíván spíše pro vědecké a vojenské účely se tak těší stále rostoucí pozornosti komerční sféry a družic nejen pro komerční použití stále přibývá. Jedním z nejvyužívanějších dat DPZ jsou družicové snímky, jež je možné získat jak volně na serverech datových pořizovatelů, tak případně za úplaty na zakázku od komerčních subjektů. Kvalita dat a dostupnost družicových snímků se postupem času stále zlepšuje. Kvalitativní zlepšení je možné pozorovat jak v prostorovém rozlišení, neboť dnes lze získat družicové snímky se sub-metrovou velikostí pixelu, tak v spektrálním rozlišení, tedy v počtu spektrálních pásem.

Družicové snímky jsou nepostradatelným zdrojem dat například pro klasifikaci krajinného pokryvu či monitoring vegetace. Avšak ať už se jedná o získávání informací o zdravotním stavu vegetace, nebo monitorování invazivních druhů rostlin, je pro řadu aplikací třeba snímky z družic nejprve zpracovat. Každý družicový snímek je nějakým způsobem ovlivněn atmosférou. Zpracování snímku, tzv. pre-processing by mělo proběhnout, tak aby bylo možné získat i přes tuto skutečnost co nejpřesnější informace. Předzpracování snímku a samotnou atmosférickou korekci, lze dnes provést v mnoha specializovaných DPZ softwarech, anebo je možné si požadovaný snímek nechat zpracovat přímo poskytujícím serverem

Hlavním cílem diplomové práce je na příkladu vegetačního indexu NDVI a snímku z družice Landsat 8 porovnat vybrané metody atmosférických korekcí dostupných v softwaru ENVI s hodnotami získanými terénním měřením. Dílčím cílem práce je odpovědět na tyto otázky. Je třeba při výpočtu NDVI provádět atmosférické korekce? Vyplatí se řešit atmosférickou korekci v programu ENVI nebo postačí využít snímek korigovaný poskytujícím serverem USGS? Platí, že čím složitější výpočet atmosférické korekce použijeme, tím věrohodnější výsledky dostaneme? Liší se věrohodnost atmosférických korekcí v závislosti na typu krajinného pokryvu?

2. Literární řešerše

2.1 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (DPZ) sdružuje soubor, metod sloužících k získávání informací o objektech a jevech nejen na zemském povrchu bezkontaktním způsobem. Základní princip je založen na snímání množství elektromagnetického záření odraženého nebo vyzařovaného zemským povrchem. Každý objekt na zemském povrchu, jehož teplota je větší, než absolutní nula je zdrojem záření. Díky odraženému záření lze získat informaci o daném povrchu. Rozdílnost informace nám umožňuje určit o jakou látku se jedná (Dobrovolný, 1998; copernicus.gov.cz, 2018)

Dálkový průzkum Země v anglickém jazyce remote sensing má řadu definic, zde je uvedena definice dle Lillesand, Kiefer a Chipman (2015):

V mnoha ohledech lze dálkové snímání považovat za proces čtení. Pomocí různých senzorů vzdáleně shromažďujeme data, která mohou být analyzována, abychom získali informace o objektech, oblastech nebo jevech, které jsou zkoumány.

2.1.1 Druhy DPZ

Dálkový průzkum Země lze klasifikovat z několika možných hledisek. Dvěma nejčastějšími jsou zdroj elektromagnetického záření a druh pořízených dat. Z pohledu zdroje elektromagnetického záření je DPZ děleno na aktivní a pasivní metody. Aktivní metoda vytváří obrazový záznam pomocí uměle vysílaného záření ze zdroje umístěného na nosiči. Klasickým příkladem jsou tzv. radarové systémy či laserové skenování (LiDAR). Naopak pasivní metody využívají pouze záření odražené nebo emitované objekty na zemském povrchu. Přímé pasivní metody využívají jako zdroj sluneční záření (např. letecká fotografie). Nepřímé pasivní metody získávají informaci na základě záření vyzařovaného přímo z objektů na zemském povrchu nebo v atmosféře. Jedná se např. o termovizi, která umožňuje zjistit informaci na základě teplotě objektu.

Druhým hlediskem klasifikace DPZ je druh pořízených dat. Primárně lze DPZ data rozdělit na obrazová (snímek dané oblasti) a neobrazová (data, která lze prezentovat např. jako graf). Dále data pořízená konvenčními metodami a nekonvenčními. Díky konvenční (klasické) metodě vznikají snímky fotografické. Fotografie je pořízená v jednom okamžiku jak z leteckých, tak družicových nosičů.

Jsou získávána jak analogová (filmový materiál), tak digitální data. Nekonvenční metoda označuje postupné snímkování (tzv. řádkování) za pomoci radiometrů a skenerů. Skenery zaznamenávají zemský povrch postupně po řádcích v digitální podobě. Digitální data jsou data číselná. Ve srovnání s fotografiemi je pořízený záznam odlišně zkreslený (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008).

2. 1. 2 Elektromagnetické záření a spektrum

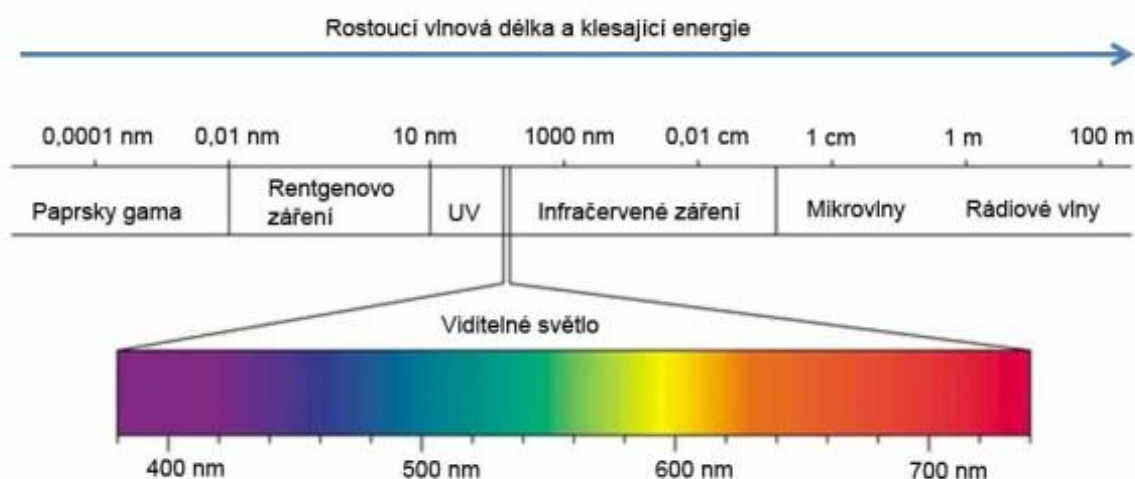
Jak už bylo v jednom z minulých odstavců zmíněno, dálkový průzkum Země využívá elektromagnetického záření. Elektromagnetické záření vzniká kombinací elektrické a magnetické vlny šířící se rychlostí světla (c). Základní důležité charakteristiky jsou vlnová délka (λ) a frekvence (ν).

Vzorec 1: Základní vztah (Dobrovolný, 1998)

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Rozsah vlnových délek je nazýván elektromagnetické spektrum, které je rozdělováno do několika oblastí (viz obr.1).

Obr. 1: Elektromagnetická spektra (labguide.cz, 2018)



Ve směru narůstající vlnové délky je jako první gama záření, které je využíváno např. ve zdravotnictví. Dále následuje rentgenové záření, které slouží k lékařské a průmyslové diagnostice.

Ultrafialové (UV) záření má nevýhodu, která spočívá v nízké propustnosti záření k zemskému povrchu způsobené vlivem atmosféry. I přesto, že tuto část spektra výrazně pohlcuje atmosféra, je využívána například pro geologické průzkumy.

Viditelné (optické, RGB) záření se dělí na tři další části, ze kterých také vyplývá zkratka RGB z angl. Red, Green, Blue, tedy červené, modré a zelené světlo. Tato část elektromagnetického spektra je viditelná lidským okem. Zdrojem viditelného záření je Slunce, což umožňuje pořizovat záznamy pouze ve dne. Dále pak viditelné záření neprojde oblačností ani mlhou a je tedy opět značně ovlivněno atmosférou. Ve srovnání s delšími vlnovými délkami naopak prochází modré světlo vodním sloupcem. Viditelné záření je hlavně z historického hlediska hojně využívaná část spektra, přestože například neumožňuje rozlišovat druhy hornin, minerálů ani půdy.

Infračervené záření lze jednoduše rozdělit na blízké (NIR), střední (MWIR) a dlouhé (LWIR) - tepelné. Blízké infračervené záření navazuje na viditelné, má tedy podobné vlastnosti. Jeho výhodou oproti viditelnému je menší pohlcování a rozptyl vlivem atmosféry. Naopak je silně pohlcováno na povrchu vody a je vhodné pro studium vegetace. Pásmo středního infračerveného záření je vhodné k identifikaci povrchů, pohlcení a rozptyl atmosférou je minimální. Tepelné infračervené záření umožňuje pracovat s teplotními vlastnostmi objektů či povrchů.

Mikrovlnné záření používají převážné radarové systémy. Jeho značnou výhodou je nezávislost na podmínkách počasí, ovlivnit šíření záření může jen vydatný déšť. Mikrovlnné záření umožňuje získání nejen obrazových dat, ale i dat neobrazových (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008; Oršulák a Pacina, 2010).

2. 1. 3 Vliv atmosféry na elektromagnetické záření

Elektromagnetické záření prochází atmosférou dvakrát, po prvé ze zdroje záření a poté jako odražené záření. Je tedy měněno délkou dráhy, velikostí emitovaného signálu, vlnovou délkou a atmosférickými podmínkami. Záření je nejvíce ovlivněno pohlcováním (absorpcí) a rozptylem (Dobrovolný, 1998).

2. 1. 3. 1 Rozptyl záření

Rozptyl vzniká nehomogenitou atmosféry, ovlivňují jej jak jednotlivé molekuly plynů, tak například i aerosoly. Na základě srovnání velikosti částic v atmosféře s vlnovou délkou záření lze odlišit dva druhy rozptylu. Pokud jsou částice mnohonásobně menší než vlnová délka, jedná se tzv. Rayleighův (molekulární) rozptyl. Účinnost molekulárního rozptylu (i) je nepřímo úměrná čtvrté mocnině vlnové délky (λ).

Vzorec 2: Základní vztah účinnosti molekulárního rozptylu (Dobrovolný, 1998)

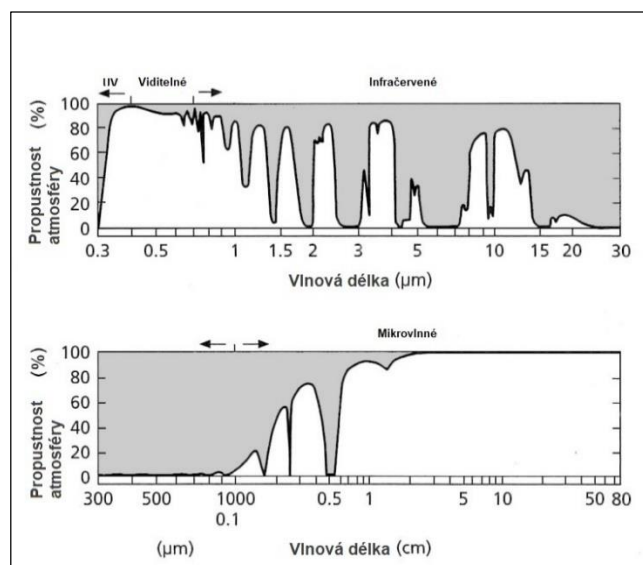
$$i = \frac{1}{\lambda^4}$$

Rayleighův rozptyl na snímcích z dálkového měření snižuje ostrost a kontrast. V případě, že jsou částice větší než vlnová délka, jedná se o tzv. aerosolový rozptyl. Aerosolový rozptyl je zapříčiněn např. vodní parou a prachovými částicemi. Mimo Rayleighova a aerosolového rozptylu lze dále označit třetí typ – neselektivní rozptyl, který je nezávislý na vlnové délce. Způsobují ho částice větší velikosti (například vodní kapičky) (Dobrovolný, 1998; Mischenko a kol., 2002).

2. 1. 3. 2 Absorpce záření

Absorpce záření závisí na plynné složce atmosféry. Podle druhu plynů se liší množství pohlceného záření. Absorpce může v podstatě úplně zamezit zaznamenávání elektromagnetického záření. V daných částech elektromagnetického spektra se nacházejí tzv. atmosférická okna. To je termín pro takové části spektra, kde je atmosféra propustná. Procentuální znázornění v jednotlivých částech spektra lze vidět na obrázku č.2 (Dobrovolný, 1998; Mischenko a kol., 2002)

Obr. 2: Atmosférická okna (h2oexplore.wordpress.com, 2018)



2. 1. 4 Zdroje dat DPZ

Mezi základním zdrojem DPZ dat můžeme zařadit vlastní měření (například pomocí tzv. „close range“ metod, spektrometru atd.), stažením již pořízených dat z volně přístupné aplikace nebo objednáním a zakoupením dat u příslušné firmy.

Výraz „close range“ pochází z angličtiny a popisuje blízkou fotogrammetrii. Lze provádět za pomoci bezpilotních leteckých prostředků (UAV), které jsou schopné snímat území v různých spektrálních kanálech, záleží na samotném snímacím zařízení (např. termální kamera, více kanálové kamery (multispektrální, hyperspektrální) atd.). UAV je ovládáno buď manuálně, nebo lze naplánovat vlastní letovou misi. Existují i UAV se složitějším autonomním systémem. Výhodou bezpilotních leteckých prostředků je vysoká přesnost a prostorové rozlišení, nevýhodou naopak časová náročnost pořizování dat a s ní související omezená velikost snímané scény. Pro sběr prostorově velmi přesných vřícovacích bodů a referenčních dat se využívají například tzv. RTK (Real Time Kinematic) GPS (asdi.com,2018; Dobrovolný, 1998).

Pro tuto práci je stěžejní zmínit ruční sběr dat, neboť v terénním měření byl využit GreenSeeker. Mimo tento přístroj jsou pro ruční sběr dat využívány ještě spektrometry, jak z názvu vypovídá je to přístroj, který měří spektrum nebo elektromagnetické záření. Nejběžnějším spektrometrem je například FieldSpec, je to přenosný spektrometr pokrývající celé spektrum slunečního záření. Pro sběr vřícovacích bodů a referenčních dat se využívají ještě tzv. RTK GPS, což je satelitní navigační technika využívaná pro zvýšení poziční přesnosti (asdi.com, 2018; Dobrovolný, 1998)

Pro potřeby diplomové práce je stěžejní zmínit ruční sběr dat. Jednou z možností je například využití přístroje GreenSeeker. GreenSeeker je ruční optický snímač, který měří hodnotu normalizovaného vegetačního indexu – NDVI, na jejímž základě je například možné určit zdravotní stav plodin na zemědělských plochách apod. Přístroj je hojně využíván v zemědělském hospodářství ke zlepšení výnosnosti polí, aplikací hnojiv atd. Principem přístroje je světelná dioda, která generuje krátkovlnné červené a blízké infračervené (NIR) elektromagnetické záření, které se odráží od objektu a měří se fotodiodou na přední části snímače. Průměrné hodnoty NDVI se zobrazují na LCD displeji. Hodnoty se pohybují v rozmezí 0,00 – 0,99, čím vyšší hodnota tím je rostlina zdravější (Govaerts a Verhulst, 2010; trimble.com, 2018).

Mimo GreenSeeker lze získat detailnější informace o spektrálních vlastnostech objektů pomocí spektrometru. Jak z názvu vypovídá je to přístroj, který měří spektrum nebo elektromagnetické záření. Nejběžnějším spektrometrem je například přístroj FieldSpec, což je přenosný spektrometr pokrývající širokou část elektromagnetického spektra.

Volně přístupná data jsou produkty (nejen družicové snímky), které lze získat z volně přístupných aplikací daných serverů. Jednotlivý pořizovatelé dat mají své portály, na nichž jsou data zveřejněna. Např. data z družic Sentinel jsou zveřejněna na Copernicus Open Access Hub. Další možnosti je portál EarthExplorer, kde lze získat např. snímky z družic rodiny Landsat. Naopak komerčními daty jsou produkty dostupné uživatelům za úplatu. V případě družicových snímků mluvíme převážně o multispektrálních datech velmi vysokého rozlišení.

2. 1. 5 Družicové snímky

Každý družicový snímek má své základní vlastnosti související s mateřským družicovým systémem či účelem pořízení. Rozlišujeme proto snímky z pohledu prostorového, spektrálního, radiometrického a časového rozlišení. Dále podle druhu dat, formátu a úrovně zpracování.

2. 1. 5. 1 Prostorové rozlišení

Prostorové rozlišení je informace o tom, kolik metrů na zemském povrchu představuje jeden pixel na snímku. Pixel je v podstatě základní jednotka digitálního obrazu. Rozlišení družicových snímků je možné popsat jako nízké až velmi vysoké. Velikost pixelu u družic s nízkým a středním prostorovým rozlišením je ve stovkách až desítkách metrů. Do této skupiny patří například družice ENVISAT a Sentinel 3A. Převážně jsou to multispektrální data zahrnující viditelnou a infračervenou část optického spektra. Jejich využití je rozsáhlé, počínaje sledováním změn v krajině, monitoringem zemědělských ploch, případně klasifikací využití území. Jedná se hlavně o celoplanetární a kontinentální aplikace.

Vysoké a velmi vysoké rozlišení je používáno pro podrobné mapování, tvorbu modelů, monitoring menších prostor (př. skládky). Pixel se pohybuje v jednotkách metrů až desítkách centimetrů. V případě dat velmi vysokého rozlišení je často využíváno i sub-metrového rozlišení (0,5 m). Do družic vysokého a velmi vysokého

rozlišení řadíme například Landsat, Sentinel 2, QuickBird, IKONOS, WorldView a Pleiades (gisat.cz, 2018).

2. 1. 5. 2 Spektrální rozlišení

Spektrální rozlišení je zásadní informace o snímku, umožňuje totiž určit množství a typ tematické informace. Díky spektrálnímu rozlišení lze určovat např. druhy vegetace nebo pokryv zemského povrchu (angl. land use / land cover). Podle počtu záznamů obrazových dat v různých vlnových délkách rozlišujeme data panchromatická, optická, multispektrální, hyperspektrální a radarová.

Panchromatická data vznikají při měření v rozsahu viditelné části spektra a částečně i blízkého infračerveného (NIR). Snímky z panchromatického senzoru jsou někdy označovány jako černobílé, neboť vizualizovaný snímek je často tvořen z různých stupňů šedi.

Multispektrální data jsou měřená ve více spektrálních pásmech. Obvykle v pásmu viditelném (RGB) a v blízkém infračerveném spektru (NIR). Nejnovější družice však umožňují měřit navíc k těmto čtyřem pásmům ještě další speciální pásma (Coastal, Yellow, Red Edge atd.). Například družice Landsat 8 obsahuje více kanálů v infračerveném a termálním pásmu. Spolu s multispektrálními daty bývají pořizována často i související panchromatická data.

Hyperspektrální data vznikají vysokým počtem (stovky) měření spektrálních pásem ve viditelném a infračerveném spektru. Využívají se k rozlišení velmi jemných charakteristik zemského povrchu.

Radarová data jsou specifická data, která vznikají měřením v mikrovlnné části elektromagnetického spektra. Radar vysílá vlastní záření, odražené záření od zemského povrchu zpětně zachycuje, a proto tyto snímky mohou vznikat i v noci (arcdata.cz, 2018; Dobrovolný, 1998; gisat.cz, 2018).

2. 1. 5. 3 Radiometrické rozlišení

Radiometrické rozlišení popisuje skutečný informační obsah v obraze. Vždy, když vzniká záznam, tak citlivost na velikost elektromagnetického záření určuje radiometrické rozlišení. Radiometrické rozlišení zobrazovacího systému popisuje jeho schopnost rozlišit velmi malé rozdíly v odraženém záření. Čím jemnější je

radiometrické rozlišení snímače, tím lépe se detekují rozdíly odraženého nebo vyzářeného záření (arcddata.cz, 2018; gisat.cz, 2018).

2. 1. 5. 4 Časové rozlišení

Časové rozlišení označuje frekvenci snímání stejného území. Frekvence je ovlivněna především šířkou záběru. Proto mají jednotlivé družice jiné časové rozlišení, např. Landsat má časové rozlišení 16 dní, družice SPOT 26 dní (arcddata.cz, 2018; gisat.cz, 2018).

2. 2 Družicový systém Landsat

2. 2. 1 Základní informace o programu Landsat

Družicový systém Landsat je určen k pozorování Země a jedná se o nejvíce využívaný družicový program zaměřený na monitoring životního prostředí. Program Landsat byl zahájen Národním úřadem pro letectví a kosmonautiku NASA v roce 1972, poté jej převzal Národní úřad pro oceán a atmosféru NOAA. Od roku 1984 spravuje družicový systém a zpracování dat společnost EOSAT. Data jsou distribuována přes veřejnou doménu Earth Resource Observation System (EROS). Dnes se jedná o osmidílnou sadu satelitů, z nichž jsou v současnosti v provozu pouze družice Landsat 7 a 8. První generace družic (Landsat 1, 2 a 3) pracovaly s dvěma senzory RBV (Return Beam Vidicon) a multispektrálním skenerem MSS. Další družice (Landsat 4 a 5) jsou označovány za druhou generaci, byly opět vybaveny multispektrálním skenerem MSS a sedmi kanálovým skenerem TM. Družice Landsat 6 havarovala při startu. Sedmá družice Landsat 7 byla vypuštěna v roce 1999 a nesla s sebou skener ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Nejnovější družicí je Landsat 8 (dříve nesoucí název LDCM), tato družice bude více popsána v následujícím odstavci, neboť právě data pocházející z této družice jsou stěžejní k praktické části diplomové práce (nasa.gov, 2018).

2. 2. 2 Vybavení družic programu Landsat

Senzor RBV byl součástí družic Landsat 1,2 a 3. Skládal se ze tří kamer, každá z kamer byla pro jedno spektrální pásmo (pásmo 1: modro zelená, pásmo 2: žluto červená, pásmo 3: blízké infračervené NIR). Senzor byl schopný pozorovat scénu 185 x 185 km s rozlišením 80 m. Multispektrální skener MSS je mechanický skener a využívá oscilujícího zrcadla a čidel, která jsou seskupená po šesti ve čtyřech řádcích. Každý řádek odpovídá spektrálnímu kanálu. Skener TM se objevil na družicích Landsat 4 a 5, jako mechanický sedmi kanálový skener. První ze čtyř kanálů jsou ve viditelném spektru a další tři v infračerveném. Skener ETM+ je hlavní vybavení družice Landsat 7. Osmi kanálový multispektrální mechanický skener, který byl v době vystřelení satelitu nejpřesnější dostupnou verzí skeneru (nasa.gov, 2018).

2. 2. 3 Landsat 8

Družice Landsat 8 spuštěna v roce 2013 za spolupráce NASA a USGS, byla vynesena na oběžnou dráhu raketou Atlas-V 401 do výšky 705 km nad mořem (heliosynchronní oběžnou dráhu). Landsat 8 je složen ze dvou základních přístrojů, senzoru OLI a tepelného infračerveného senzoru TIRS. Základní charakteristiky družice jsou zmíněné v Tab.1. Spektrální pásma senzoru OLI jsou oproti snímači ETM+ rozšířené o tmavě modrý kanál (pásmo 1 – vhodný ke studiu vodních ploch) a nový infračervený kanál (pásmo 9) pro detekci cirrusových mraků. Tyto dva senzory poskytují sezónní snímání zemského povrchu v prostorovém rozlišení 30 metrů (viditelné, NIR a SWIR – krátkovlnné IR), tepelné snímání v rozlišení 100 metrů a 15 metrů pro data panchromatická. Landsat 8 denně zachytí 725 scén, velikost jedné scény je 183 x 173 km. Časový interval oběhu je šestnáct dní. Hlavním cílem mise Landsat 8 je rozšíření záznamů Landsat a udržení kvality snímků. Landsat podporuje globální datové a informační potřeby programu NASA Earth Science, jehož cílem je rozvíjet pozorování vlivu lidské činnosti na přírodu, klimatické změny, přírodní katastrofy atd. Satelit má plně funkční integrovaný systém (GPS), což poskytuje lepší geometrickou přesnost (než u předešlých družic Landsat) (nasa.gov, 2018; Roy a kol, 2014).

Tab. 1: Základní charakteristiky satelitu Landsat 8 (vlastní tvorba)

	Spektrální kanál	Vlnová délka
Spektrální rozlišení	panchromatické	500–680 nm
	pobřežní	433–453 nm
	viditelné modré	450–515 nm
	viditelné zelené	525–600 nm
	viditelné červené	630–680 nm
	blízké infračervené	845–885 nm
	infračervené I	1360–1390 nm
	infračervené II	1560–1660 nm
	infračervené III	2100–2300 nm
	tepelné I	10300–11300 nm
	tepelné II	11500–12500 nm
Prostorové rozlišení	panchromatické	15 m
	multispektrální	30 m
	tepelné	100 m
Radiometrické rozlišení	12bitové	

2.3 Předzpracování obrazu

Pro správnou analýzu snímku, ať už družicového nebo například z leteckého průzkumu, je nutné tzv. předzpracovat obraz. Cílem předzpracování je zlepšení kvality obrazu (potlačení šumu, úprava kontrastu obrazu, odstranění zkreslení apod.). Předzpracování snímku by se mělo provádět s ohledem na jeho budoucí využití (Dobrovolný, 1998; Oršulák a Pacina, 2010).

2.3.1 Radiometrické korekce

Radiometrická korekce se provádí za účelem snížení nebo opravy chyb v digitálních hodnotách snímků (DN hodnoty). Radiometrická korekce zlepšuje interpretaci a kvalitu dat, což napomáhá k získání skutečných zářivých a odrazivých vlastností objektů.

Jak už je v předchozích kapitolách uvedeno, přijímaná energie (záření) je ovlivněna atmosférou, dále azimutem a elevací Slunce. V každém okamžiku snímání je ukládána informace o výšce Slunce, sinusem této hodnoty je upraven každý záznam a tím je výška Slunce normalizovaná na pozici družice v zenitu. Proto při radiometrické korekci dochází ke kompenzaci sezonních rozdílů.

Téměř každý snímek z DPZ obsahuje nějaké nepřesnosti, proto pod radiometrickou korekci spadá i odstraňování náhodných radiometrických chyb. Ty mohou vzniknout chybnou kalibrací jednoho ze senzorů nebo poruchou při přenosu signálu na Zemi. Chyby je možné odstranit zprůměrováním sousedních hodnot pixelů snímku. Další chyba může vzniknout při příčném skenování, kdy je snímáno více řádků najednou a v případě nepřesné kalibrace může vzniknout obraz s rozdílnými řádky (tmavší a světlejší). Tato chyba se nazývá tzv. páskování a je možné ji upravit v histogramu, posouváním do nižších a vyšších hodnot. Další chyba může vzniknout u elektrooptických skenerů výpadkem či poruchou v kalibraci snímajících detektorů, vzniklá chyba je zásadní a je obtížné ji opravit. Obrazový záznam nemá pravidelný charakter a obsahuje nepřesná nebo dokonce chybějící data. Vhodným algoritmem pro všechny radiometrické korekce jsou tzv. Fourierovy filtrace. (Dobrovolný, 1998).

2. 3. 2 Atmosférické korekce

Atmosférická korekce je proces odstraňování účinků atmosféry, které se projevují jako rozptyl a absorpce záření (Mahiny a Turner, 2007). Účelem korekce je dosáhnout přesnějšího odrazu od zemského povrchu a potenciálně zlepšit extrakci parametrů zemského povrchu ze satelitních snímků (Chrysoulakis a kol, 2010). Oproti radiometrickým korekcím (např. elevace Slunce) je však účinek atmosféry mnohem menší. Atmosférické metody lze obecně dělit na metodu nejtmašího pixelu, metodu založenou na regresní analýze a na modelování atmosférických vlivů (Song a kol, 2001).

Existuje více metod eliminace účinku atmosféry, jedna z nejjednodušších je tzv. metoda nejtmašího pixelu (angl. Dark Object Subtraction Method), koriguje účinky způsobené úhlem slunečního zenitu, slunečního záření a rozptylu atmosféry, ale nedokáže korigovat účinky indukované atmosférickou absorpcí (Cui a kol, 2014). Metoda je podle Lillesanda a Kiefera (1994) označována za méně přesnou, neboť může nevhodně degradovat původní data. Princip metody je založený na pixelu ve snímku, který je v tzv. úplném stínu (odrazová hodnota se rovná téměř nule – např. vodní plocha). Senzorem přijaté záření se tedy považuje za účinek atmosféry. Naměřená hodnota je následně odečtena od každého pixelu snímku (Dobrovolný, 1998). U této metody je vhodné vizuálně zkontrolovat histogram a prostorové umístění nejtmaších pixelů, aby se zajistilo, že tmavý objekt je smysluplným prvkem uvnitř obrazu, a nikoliv okrajovým pixelem nebo výpadkem (Clark a kol, 2011). Metoda pracuje s blízkou infračervenou (NIR) částí spektra.

Metoda regresní závislosti je díky časové a finanční náročnosti nejméně používaná metoda, která je založena na analýze mezi daty z dálkového snímání a daty z pozemního měření provedeného v době přeletu družice.

Modelování účinků atmosféry je třetí možnost atmosférické korekce. Tuto metodu lze využít v případě dostupnosti informací o atmosférických podmínkách v době pořízení snímku. Ve specializovaných DPZ programech lze k těmto účelům použít numerické modely, které společně s informacemi o atmosféře (viditelnost, teplota, vlhkost atd.) a DN hodnotami jednotlivých pixelů vytváří opravená (korigovaná) data. Existuje mnoho modelů, v této práci bude zmíněn model MODTRAN, na jehož principu bude prováděná atmosférická korekce v praktické části v softwaru ENVI. MODTRAN se soustředí na propustnost atmosféry a její vliv na

záření, tyto vlastnosti jsou definované meteorologickými prvky, geografickou polohu a přesným určením doby snímání (Dobrovolný, 1998; Hadjimitsis a kol, 2010).

2. 3. 3 Geometrické korekce

Úkolem geometrické korekce je z původních dat (snímků) odstranit polohové nepřesnosti a umožnit je tak použít jako mapy. Geometrické zkreslení vzniká nejčastěji vlivem změny výšky a rychlosti pohybu nosiče, výškové změny reliéfu a zakřivení Země při porizování DPZ dat (Dobrovolný, 1998).

2. 4 Vegetační indexy

Pomocí DPZ lze pracovat v mnoha odvětvích a získávat nejrůznější charakteristiky. Pro řešenou diplomovou práci jsou stěžejní proměnou vegetační indexy. Vegetační indexy lze nejčastěji popsat jako jednoduchý nebo normalizovaný výpočet odrazivosti povrchu ve viditelné (červené – RED) a blízké infračervené části (NIR) spektra. Podstatou vegetačních indexů je zvýraznit složku vegetace přímo v obrazu a pracovat s ní. Níže jsou představeny nejčastěji užívané vegetační indexy (Haboudane a kol, 2004).

2. 4. 1 Rozdílový vegetační index (DVI – Difference Vegetation Index)

Vzorec 3: Základní vztah DVI (Hadjimitsis, 2010)

$$DVI = NIR - RED$$

Pravděpodobně nejjednodušší vegetační index citlivý na množství vegetace. Pomocí DVI lze rozlišit půdu a vegetaci.

2. 4. 2 Jednoduchý poměrový vegetační index (RVI – Ratio Vegetation Index)

Vzorec 4: Základní vztah RVI (Hadjimitsis, 2010)

$$RVI = \frac{NIR}{RED}$$

Jedná se opět o jednodušší index založený na poměru, charakterizuje množství vegetace a redukuje účinky atmosféry a topografie.

2. 4. 3 Normovaný rozdílový vegetační index (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index)

Vzorec 5: Základní vztah NDVI (Hadjimitsis, 2010)

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Velmi využívaný vegetační index NDVI lze aplikovat při mapování sucha, pozorování změn krajiny, určování zemědělských výnosů, určování objemu zelené biomasy. Autorem NDVI je Rouse a kol. (1974). Index je založen na kontrastu mezi maximální absorpcí v červeném viditelném spektru (chlorofyl) a maximálním odrazu ve spektru infračerveném (listová struktura). NDVI je možné obecně popsat jako vegetační index určený k přehledovému stavu vegetace. Hodnoty NDVI se pohybují v intervalu [-1; +1]. Index minimalizuje topografické účinky, ale není schopný vyloučit ty atmosférické, z toho důvodu je nutné provést atmosférickou korekci před zjišťováním samotných hodnot NDVI (earthobservatory.nasa.gov, 2018; Hadjimitsis, 2010)

2. 5 ENVI

Zpracovat data z DPZ je dnes možné v různých softwarech jako jsou např. ENVI, PCI Geomatica a Idrisi. Diplomová práce je zaměřena na software ENVI, který distribuuje americká společnost Exelis Visual Information Solution (Exelis VIS). Exelis VIS je dceřiná společnost společnosti Harris Geospatial Solutions, která se soustředí na zpracování distančně naměřených dat. Samotný software nabízí pro uživatele velmi příjemné a přehledné pracovní prostředí. ENVI umožňuje předzpracování snímku, rychlé prohlížení a manipulaci se snímky a vektory, analýzu dat a sdílení v různých formátech (JPG, geoTIFF, shapefile atd.) Lze pracovat s více vrstvami dat najednou, a to v jednom i více paralelních oknech. Software je speciálně navržen pro družicové snímky a podporuje většinu družicových systémů. Co se týče načítání a správy dat, ENVI umožňuje pracovat s panchromatickými, optickými,

multispektrálními, hyperspektrálními, radarovými, termálními, LiDAR a dalšími typy dat. Je možné pracovat s velkým objemem dat, a navíc se data dají načítat přímo z družicových senzorů. Jak už bylo výše zmíněno software disponuje analytickými nástroji, především pro multispektrální a hyperspektrální analýzy. Pomocí těchto analýz lze provádět klasifikace, charakterizace materiálů pomocí porovnávání s rozsáhlou spektrální knihovnou, vegetační analýzy (např. NDVI). Dále ENVI nabízí ortorektifikaci, tvorbu digitálních modelů a 3D vizualizace, práci s programovacími jazyky (C++, Java, Python) a rozšíření různými nadstavbami. Pro tuto práci je důležitá nadstavba ENVI Atmospheric Correction Module, užívaná pro atmosférické korekce (arcddata.cz, 2018; harrisgeospatial.com, 2018).

2. 5. 1 Radiometrické korekce v ENVI

Software ENVI umožňuje radiometrickou korekci, díky které lze korigovat obrazová data na radianci (celkové záření objektů – angl. Radiance), reflektanci (odrazové vlastnosti objektů – angl. Reflectance) a jasovou teplotu (angl. Brightness Temperature). Jejich výpočty shrnují níže uvedené vzorce.

Vzorec 6: Modelování radiance (harrisgeospatial.com, 2018)

$$L_{\lambda} = Gain * Pixel\ value + Off\ set$$

Radiance se vypočte dle této rovnice, kde L_{λ} v jednotkách $W/(m^2 * sr * \mu m)$, *Gain* a *Off set* jsou tzv. kalibrační konstanty a *Pixel Value* jsou hodnoty daného pixelu.

Hodnoty reflektance se pohybují od [0;1], pro výpočet jsou z metadat snímku odečteny hodnoty elevace Slunce, přesný čas, datum atd. Odraz z objektů na zemském povrchu se vypočte pomocí následující rovnice:

Vzorec 7: Modelování reflektance (harrisgeospatial.com, 2018)

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} d^2}{ESUN_{\lambda} \sin \theta}$$

V rovnici je jako nový člen d , který určuje vzdálenost Země a Slunce, $ESUN_{\lambda}$ je solární radiance v jednotkách $W/(m^2 * \mu m)$ a θ jako výška Slunce ve vstupních.

Modelování jasové teploty je k dispozici pouze pro termální snímky z družic Landsat 8. Teplota je vypočtená v jednotkách (K – Kelvin):

Vzorec 8: Modelování teploty jasu (harrisgeospatial.com, 2018)

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Kde $K1$ a $K2$ jsou kalibrační konstanty v Kelvinech a funkce si je sama odebere z metadat družic Landsat.

2.5.2 Atmosférické korekce v ENVI

V předcházejících odstavcích byly atmosférické korekce zmíněny a obecně popásány. Program ENVI nabízí řadu nástrojů pro korekci atmosféry. V rámci diplomové práce bude využito a níže popsáno několik na základě literatury a konzultace s vedoucím práce vybraných atmosférických korekcí.

- Dark Subtraction

Obecně byla tato metoda popsána v přechozích odstavcích. V ENVI je možné zvolit oblast, na které korekce proběhne, ale i hodnotu, která se bude odečítat od všech vybraných pixelů snímku (harrisgeospatial.com, 2018).

- QUick Atmospheric Correction (QUAC)

V roce 2004 byl představen nový algoritmus a kód korekce atmosféry, který se nazývá rychlá atmosférická korekce. QUAC pracuje ve viditelném a blízkém infračerveném spektru (NIR) s multispektrálními i hyperspektrálními daty. Je to metoda, která získává atmosférické korekce z informací obsažených v jednotlivých pixelech (EXELIS, 2012; Bernstein a kol, 2012).

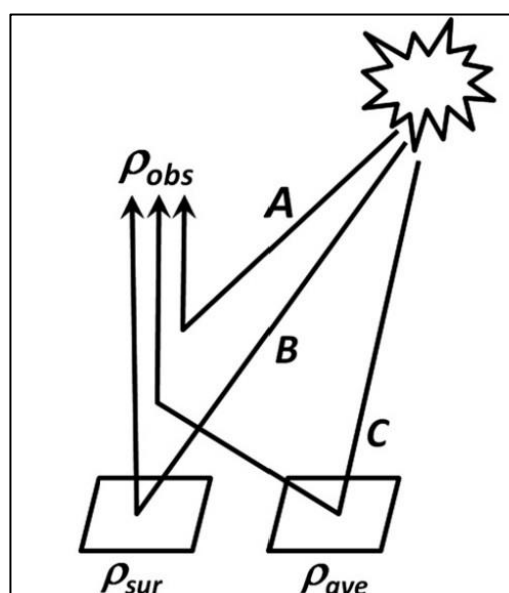
Vzorec 9: Základní rovnice (Bernstein a kol, 2012)

$$L_{obs} = (A + C\rho_{ave}) + B\rho_{sur}$$

Kde L_{obs} představuje pozorované spektrální záření pro pixel s odrazivostí povrchu, ρ_{sur} je skutečná odrazivost pozorovaného pixelu, ρ_{ave} je průměr odrazivosti okolních pixelů. A členy A, B a C jsou tři typy cest sluneční energie od zdroje

k přijímači. Pro lepší představu viz. Obr.č.3. Tyto parametry jsou určeny přímo ze spektrálních dat v rámci scény. Klíčový předpoklad QUAC, který empiricky platí pro většinu scén, je ten, že průměr odrazu z různých pixelů je s výjimkou vysoce strukturovaných povrchů (např. vegetace, mělká voda, bahno) vždy stejný. Konkrétně se předpokládá, že každý snímek obsahuje alespoň část (~10 a více) spektrálně odlišných materiálů, jejichž průměrný spektrální odraz může být považován za univerzální vzorek. Materiály mohou být jak přírodní, tak i umělé (např. vodní plochy, skály, střechy, silnice, auta). Tento scénář může nastat, je to však velmi neobvyklé. Většinou se jedná o snímky obsahující pouze vodní plochy nebo pouště. QUAC získává přesné hodnoty odrazu i ze sensorů bez radiometrických korekcí nebo snímků s neznámou intenzitou slunečního záření (EXELIS, 2012; Bernstein a kol, 2012).

Obr.č.3: Základní fyzické schéma atmosférické korekce (Bernstein a kol, 2012)



- Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)

FLAASH je atmosférická korekce, která opraví vlnové délky ve viditelné části spektra za pomoci blízkého a středního infračerveného záření. Předchozí atmosférické korekce využívají předem vypočtenou databázi modelových výsledků, ale FLAASH využívá speciální atmosférický model MODTRAN5. Navíc je FLAASH oproti jiným atmosférickým korekcím velmi variabilní a umožňuje modelovat parametry ovlivňující rozptyl a absorpci. Modelované parametry jsou elevace Slunce, množství

aerosolů, modely rozptylu, stav atmosféry, poloha snímku, viditelnost a další. FLAASH řeší odrazivost pixelu standartní rovnicí:

Vzorec 10: Základní vztah (Perkins a kol, 2012)

$$L = \left(\frac{A\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a$$

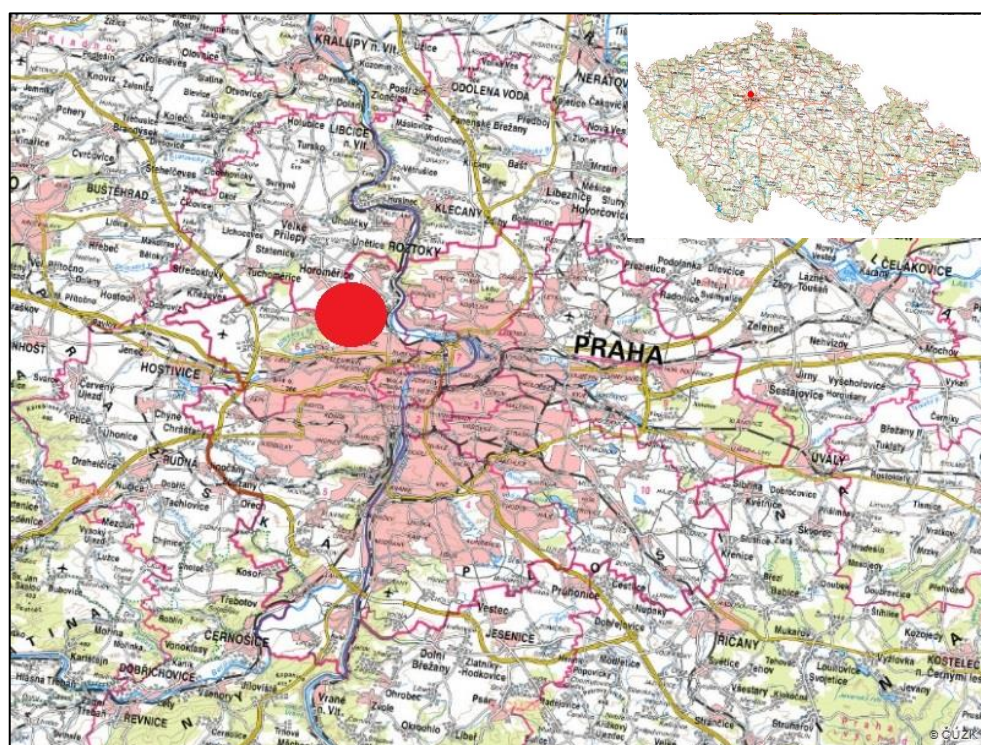
Kde ρ je odrazivost povrchu pixelu, ρ_e je průměrná odrazivost povrchu v pixelu a okolní oblasti. S je sférické albedo atmosféry, L_a je zářivost rozptýlená atmosférou a koeficienty A a B závisí na atmosférických a geometrických podmínkách. Hodnoty A , B , S a L_a vycházejí z výpočtu atmosférického modelu MODTRAN, který využívá úhel slunečního záření, modelovou atmosféru, typ aerosolu. Dále silně závisí na sloupci vodní páry, což dost ovlivňuje výpočet, ale bohužel není úplně možné určit přesnou hodnotu, neboť se v celém rozsahu scény často mění. U snímků (Landsat a SPOT), které neobsahují pásy v příslušných polohách vlnových délek (spektrální pás vody – 1130nm), je hodnota vodního sloupce určena zvoleným atmosférickým modelem (López-Serrano a kol, 2016; Perkins a kol, 2012).

3. Charakteristika studijního území

Zájmové území se nachází v okolí městské části Suchdol v Praze, tedy v severní části Prahy (viz obr. 4) v Poberounské soustavě. V okolí České zemědělské univerzity v Praze (ČZU) byly zvoleny tři zájmové lokality, které reprezentovaly tři různé typy krajinného pokryvu – louku, pole, parkoviště. A to proto, aby bylo možné získat porovnání atmosférických korekcí v závislosti na typu krajinného pokryvu. Lokality leží v plochém až mírně zvlněném terénu na levém břehu Vltavy s nadmořskou výškou asi 290 m n. m. a zároveň patří do chráněného území Údolí Únětického potoka.

Krajinný pokryv studijního území tvoří z velké části městská zástavba protkaná sítí komunikací, poli a liniovou zelení. Oblast je v teplém, mírně suchém klimatickém regionu, kde převládají hnědozemě s celkovým obsahem skeletu do 10 %. Objevují se i regozemě a kambizemě převážně na mírných svazích, se všesměrnou expozicí (vumop.cz, 2018). Přirozenou vegetací v této oblasti je lipová doubrava, dubohabřina a jedlová doubrava. Geologické podloží tvoří nezpevněný sediment, typy hornin jsou písek a štěrk. Jedná se o soustavu Český masiv – pokryvné útvary a postvariské migmatity (geoportal.gov.cz, 2018).

Obr. 4: Zájmové území označené červenou značkou (cuzk.cz, 2018).



4. Metodika

Metodika práce byla rozdělena do pěti na sebe navazujících kapitol. První kapitola je zaměřena na družicová data, druhá na terénním měření. Ve třetí kapitole je popsána práce v softwaru ENVI 5.4 s náležitými podkapitolami popisujícími atmosférické korekce. Čtvrtá kapitola se zabývá obecnou prací s prostorovými daty v softwaru ArcGIS. Poslední kapitola popisuje statistické vyhodnocení v softwaru Statistica a MS Excel. Všechny zmíněné softwary jsou volně dostupné všem studentům FŽP ČZU v Praze.

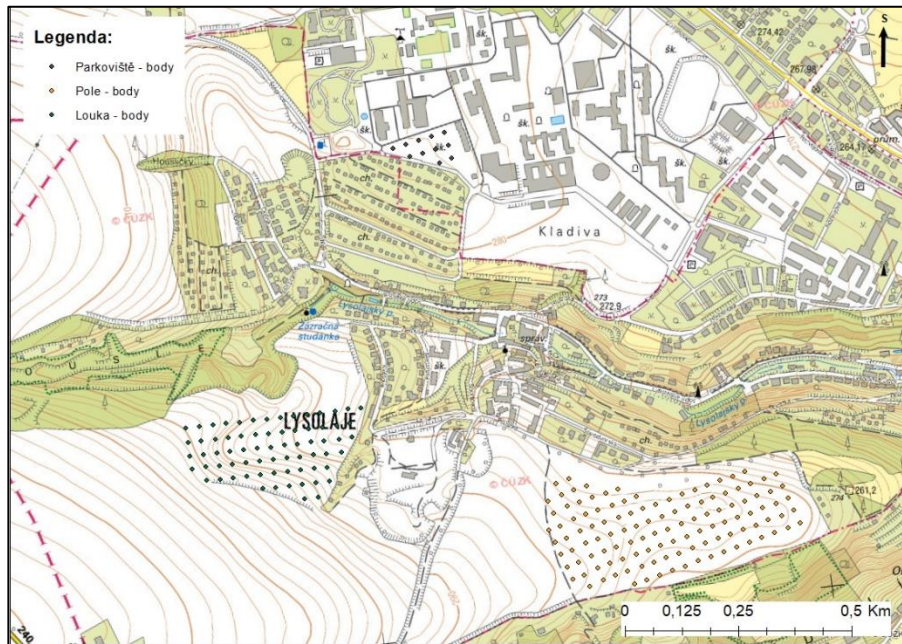
4.1 Družicová data

Pro potřeby diplomové práce byla využita data pořízená družicí Landsat 8. Data byly pro danou lokalitu stažena ze serveru USGS (earthexplorer.usgs.gov), kde jsou volně dostupná. Použitý snímek byl pořízen 14.8.2017. Server pro danou scénu nabízí různé druhy zpracování téhož snímku. V práci byly použity dva druhy dat s různým stupněm zpracování (a) Landsat Collection 1 Level-1, (b) Landsat Collection 1 – Level-2. Snímky nezpracované (a) a snímky předzpracované serverem USGS (b). Pro větší přehlednost budou v následujících odstavcích data označována jako Level1 (a) a Level2 (b).

4.2 Terénní měření

Další data, se kterými se v diplomové práci pracuje, jsou data naměřená v terénu (Fielddata). Měřeny byly hodnoty NDVI, které byly pořízeny dne 14. 8. 2017. Měření bylo naplánované v době přeletu družice a zároveň za minimální oblačnosti. Nad třemi zvolenými zájmovými lokalitami v okolí kampusu ČZU – lokalita louka, pole a parkoviště. Na všech lokalitách byla na předem vygenerovaných bodech (*ArcGIS, Generate Points Along Lines*) v pravidelné mřížce (gridu) 30x30m (velikost pixelu Landsat 8) přístrojem GreenSeeker měřena aktuální hodnota vegetačního indexu NDVI (viz obr. 5).

Obr. 5: Rozmístění měřených bodů (vlastní tvorba)



4.3 Zpracování v ENVI 5.4

Jak už bylo v předminulých kapitolách zmíněno, hlavní část práce probíhala v softwaru ENVI. Metodiku zpracování dat v ENVI znázorňuje obr. 6 a lze ji obecně rozdělit na předzpracování snímku, atmosférickou korekci, výpočet NDVI.

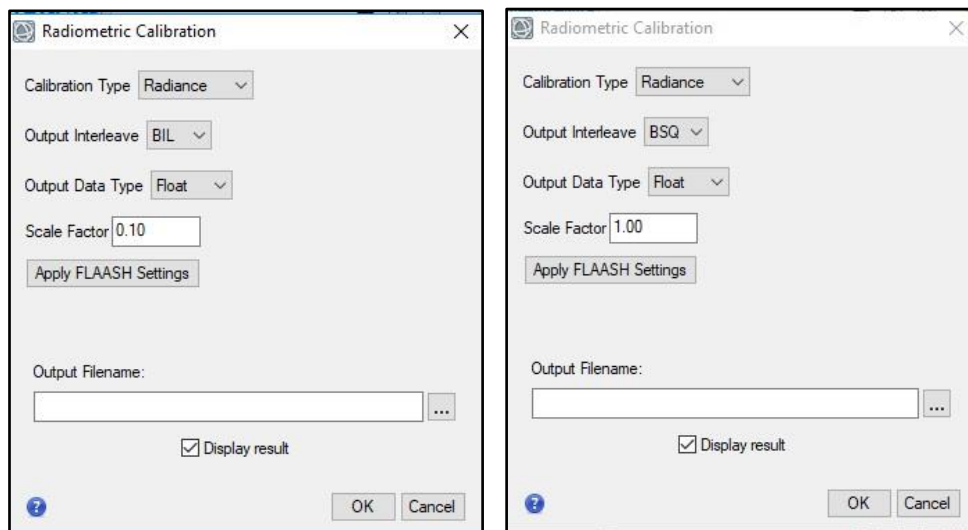
Obr. 6: Schéma postupu práce v ENVI (vlastní tvorba)



4. 3. 1 Předzpracování snímků

Nejdříve byla data Level1 předzpracována tzv. radiometrickou korekcí. V toolboxu ENVI pod záložkou *Radiometric Correction* byla vybrána funkce *Radiometric Calibration*. Pro spuštění nástroje bylo nutné v dialogovém okně zvolit vstupní snímek Level1, určit typ kalibrace (Radiance) a zadat název vzniklého výstupu. Radiometrická korekce byla provedena dvakrát, a to proto, že atmosférická korekce FLAASH potřebuje jako vstup speciálně radiometricky kalibrovaná data. Její požadované vstupní parametry lze automaticky nastavit prostřednictvím možnosti *Apply FLAASH settings*. Změnu oproti nastavení vstupů pro ostatní atmosférické korekce představuje obr. 7.

Obr. 7: Vlevo dialogové okno radiometrické korekce s aplikací FLAASH Settings, vpravo radiometrická korekce původní (vlastní tvorba)



4. 3. 2 Atmosférické korekce

Atmosférické korekce byly opět provedeny v softwaru ENVI v toolboxu pod záložkou *Radiometric Correction*. Byly použity 3 různě výpočetně náročné atmosférické korekce, a to Dark Subtraction, QUAC a FLAASH.

4. 3. 2. 1 Dark Subtraction

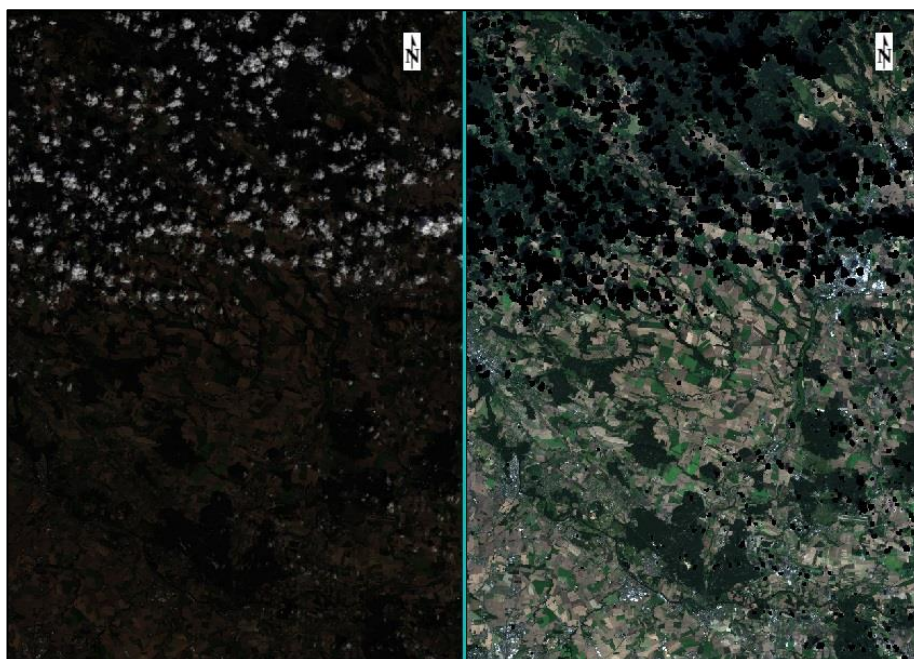
Práce probíhala s předzpracovanou verzí Level1 (po radiometrické korekci). Před provedením této atmosférické korekce, bylo nutné snímek oříznout. Snímek má kolem

4.3.2.2 QUAC

QUAC je v ENVI opět uložen v toolboxu *Radiometric / Atmospheric Correction Module*. Práce probíhala s předzpracovanou verzí dat Level1. Předpokladem pro správné provedení této korekční metody je použití bezoblačných snímků. Z toho důvodu musela být ze snímku (radiometricky korigovaná data Level1) oblačnost nejprve odstraněna. V podstatě byla vytvořena maska oblačnosti, která se odečetla od snímku, a tím byl získán snímek bez oblačnosti (viz obr. 9). Tmavá místa, která vznikla po odstranění oblačnosti, nezasahovala do studijního území.

Po spuštění samotné korekce, se jako vstupní rastr zvolila data Level1 po odstranění oblačnosti. A bylo nutné určit typ senzoru v tomto případě Landsat TM/ETM/OLI. Po proběhnutí funkce byl opět získán atmosféricky korigovaný rastr.

Obr. 9: Vlevo snímek před odstraněním oblačnosti, vpravo snímek po odstranění oblačnosti (vlastní tvorba)

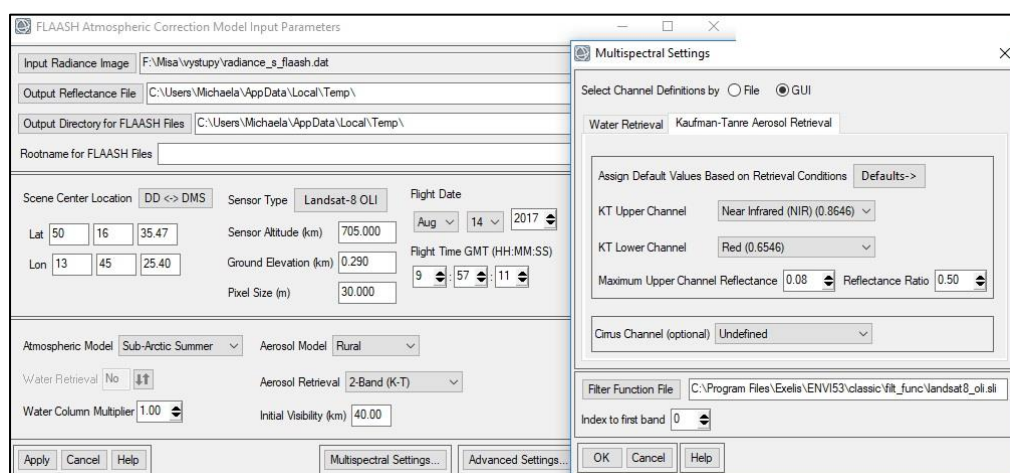


4.3.2.3 FLAASH

V případě této atmosférické korekce se pracovalo s předzpracovanou verzí dat Level1 pro atmosférickou korekci FLAASH. Jak už bylo zmíněno v kapitolách literární rešerše, u této korekce je možné nastavit různé parametry. Jako vstupní rastr byl tedy zvolen speciálně radiometricky kalibrovaný snímek pro FLAASH. Po vložení snímku se většina parametrů vyplnila z metadat. Některé se však musely upravit

případně doplnit. Jako první bylo nutné vybrat typ senzoru (Landsat-8 OLI), byla doplněna nadmořská výška (0,290 km), model atmosféry (Sub-Artic Summer). Dále se pracovalo s multispektrálním nastavením, kde byly nastaveny výchozí hodnoty vlnových délek využitých při modelování atmosféry. Kromě nadmořské výšky, byly parametry určené z nápovědy softwaru ENVI, nadmořská výška byla získaná z výškopisu ČR pro konkrétní studijní území. Detailní nastavení představuje obr. 10.

Obr. 10: Nastavování parametrů pro atmosférickou korekci FLAASH (vlastní tvorba)



4. 3. 3 Výpočet vegetačního indexu NDVI

Výpočet NDVI byl proveden opět v softwaru ENVI, pomocí stejnojmenného nástroje uloženého v záložce *Spectral*. Podskupina této záložky (*Vegetation*) umožňuje vypočítat větší množství indexů, pro tuto práci byl však vybrán jen NDVI. Výpočet byl analogicky aplikován pro pět různých vstupních rastrů, a to (a) pro snímky upravené atmosférickými korekcemi – Dark Subtraction, QUAC a FLAASH, (b) pro snímek bez atmosférická korekce a (c) snímek zpracovaný automaticky serverem USGS (data Level2).

Po vyvolání funkce NDVI byl vybrán daný vstupní soubor, poté se objevila tabulka s výpočetními parametry, kde byly nastaveny potřebné kanály. V tomto případě (pro Landsat – OLI) kanál č. 4 (Red) a kanál č.5 (NIR), po zvolení cílové složky pro nově vzniklý rastr byl spuštěn výpočet. Jednotlivé pixely výsledného rastru mají hodnoty v intervalu [-1,1].

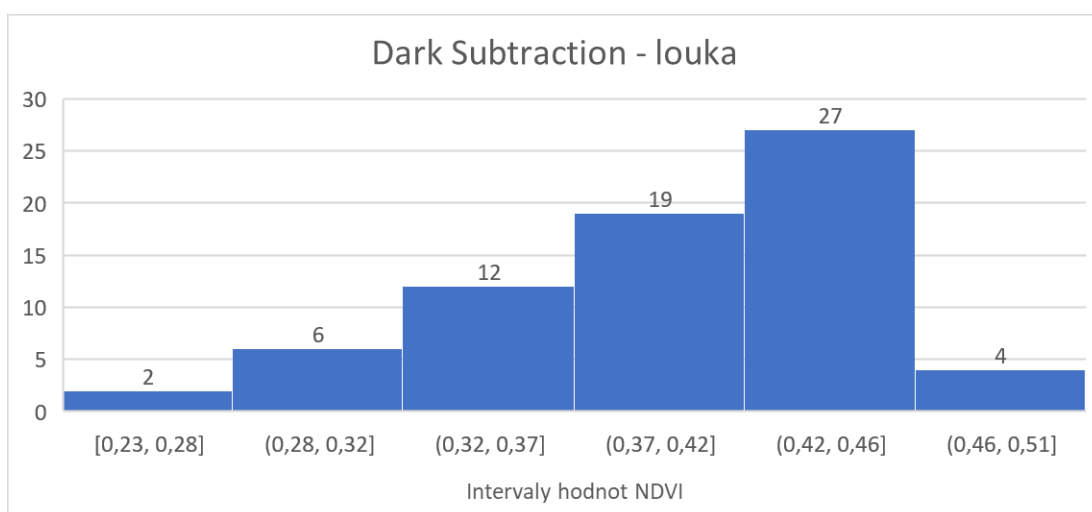
4. 4 Zpracování v ArcGIS

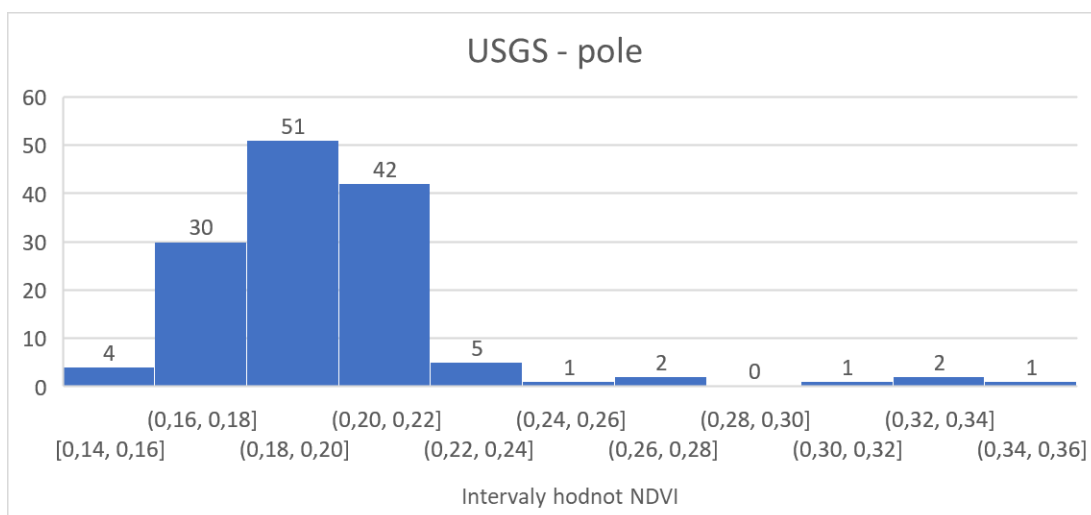
Výsledné rastry NDVI bylo pro následné vyhodnocení potřeba nějakým způsobem propojit s body z terénního měření. To bylo provedeno v programu ArcGIS, ve kterém byla už před terénním měřením vytvořena bodová vrstva pro jednotlivé stanoviště. Tyto vrstvy byly následně propojeny s vytvořenými rastry NDVI pomocí funkce *Extract Multi Values to Point*. Funkce umožňovala spojit bodovou vrstvu se všemi rastry najednou. Po proběhnutí funkce se v atributové tabulce objevily nové sloupce s potřebnými hodnotami NDVI pro každý bod. Následně bylo možné pro potřeby dalšího zpracování hodnoty z atributové tabulky nakopírovat do programu MS Excel.

4. 5 Statistika

Hodnoty NDVI z jednotlivých korekcí bylo třeba následně statisticky vyhodnotit, tedy zjistit, zda je od sebe statisticky liší. V první řadě bylo nutné ověřit normalitu rozdělení. Pro jednotlivé metody atmosférických korekcí proto byly z hodnot NDVI vytvořeny histogramy (v MS Excel) a hned na první pohled se ukázalo, že sloupce histogramu neodpovídají Gaussovu (normálnímu) rozdělení. Vzhledem k velkému množství rastrů NDVI, zde bude jako příklad uvedena jen dvojice grafů (viz obr. 11). Z tohoto důvodu bylo potřeba pro statistické vyhodnocení zvolit vhodný neparametrický test.

Obr. 11: Histogramy jednotlivých metod a lokalit (vlastní tvorba)





Po domluvě se statistikem byl pro tento typ výsledků zvolen Wilcoxonův párový test. Jeho výpočet byl zpracován v programu Statistica. Po exportu tabulek do softwaru, byly zvoleny neparametrické rovnice a porovnání dvou závislých proměnných. Pak byly vybrány příslušné sloupce a následně se vypočetl Wilcoxonův test. Vzhledem k tomu, že tzv. p-hodnota (nejmenší hladina významnosti testu) byla ve většině případech menší než 0,000001, tak se tento test projevil jako neprůkazný (viz Tab. 2) a z tohoto důvodu se přistoupilo pouze k vyhodnocení výsledků pomocí popisných (deskriptivních) statistik (Lepš a Šmíauer, 2016). Vyhodnocení proběhlo v programu MS Excel, v němž byly spočítány odchylky všech NDVI rastrů od v terénu naměřených hodnot a následně z nich byly vytvořeny krabicové diagramy.

Tab. 2: Výsledky p-hodnot z programu Statistica (vlastní tvorba)

		p-hodnota		p-hodnota	p-hodnota	
LOUKA	DarkSubtraction	0,000000	POLE	0,000000	PARKOVIŠTĚ	0,075369
	QUAC	0,000000		0,000000		0,003346
	FLAASH	0,000000		0,000000		0,247747
	NEKORIGOVANÝ	0,000000		0,000000		0,075369
	USGS	0,000000		0,000000		0,012793

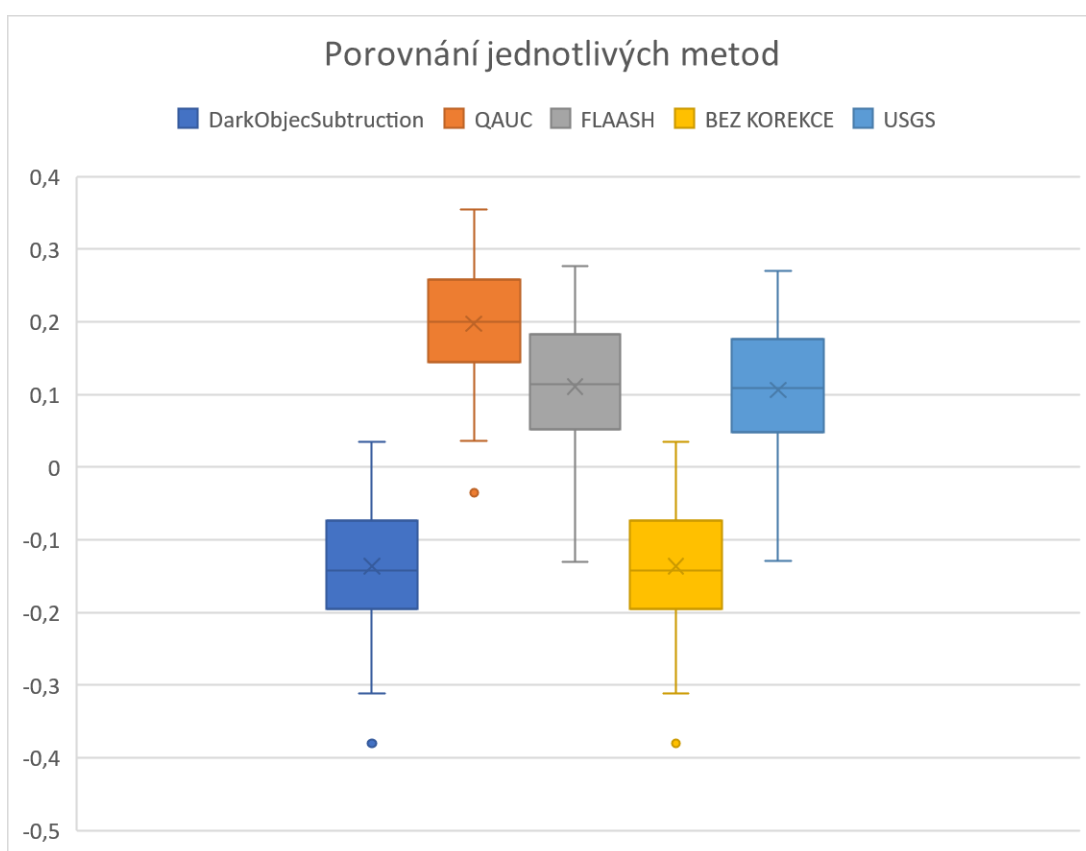
4. Výsledky

Výsledky diplomové práce jsou graficky zpracované ve formě krabicových diagramů, které byly vytvořené z odchylek naměřených hodnot NDVI a hodnot získaných z jednotlivých rastrů. Jednotlivé metody mají napříč prací vlastní barvu základního obdélníku tzv. krabice. Vodorovná čára vně krabice představuje medián a výška krabice je tzv. mezikvartilové rozpětí. Křížek uvnitř krabice je aritmetický průměr ze všech hodnot. Dolní a horní úsečka odpovídá hodnotám, které nejsou mezi kvartily a jsou od nich vzdáleny nejvýše o 1,5-násobek mezikvartilového rozpětí. Body, které se nacházejí mimo tuto hranci jsou tzv. odlehlé hodnoty (Pavlík, 2005). Vzhledem k tomu, že krabicové diagramy vychází z hodnot odchylek, tak je na jejich základě (mediánu) možné porovnat vzájemnou přesnost použitých metod. Ta, jejíž medián leží nejbliže k nule, se jeví jako nejpřesnější a naopak.

4.1 Lokalita 1 - Louka

V případě Lokality 1, nalézající se na louce, nejlépe vyšla varianta korigovaná serverem USGS a hned jako druhá varianta vyhotovená pomocí ENVI korekce FLAASH. Rastry zhotovené metodou Dark Object Subtraction a snímek bez atmosférické korekce jsou totožné. Oproti hodnotám z terénního měření jsou výsledky z těchto dvou metod podhodnocené. Nejnižší přesnosti dosahuje rastr korigovaný metodou QUAC, který naopak významně nadhodnocuje hodnoty NDVI oproti terénním měření.

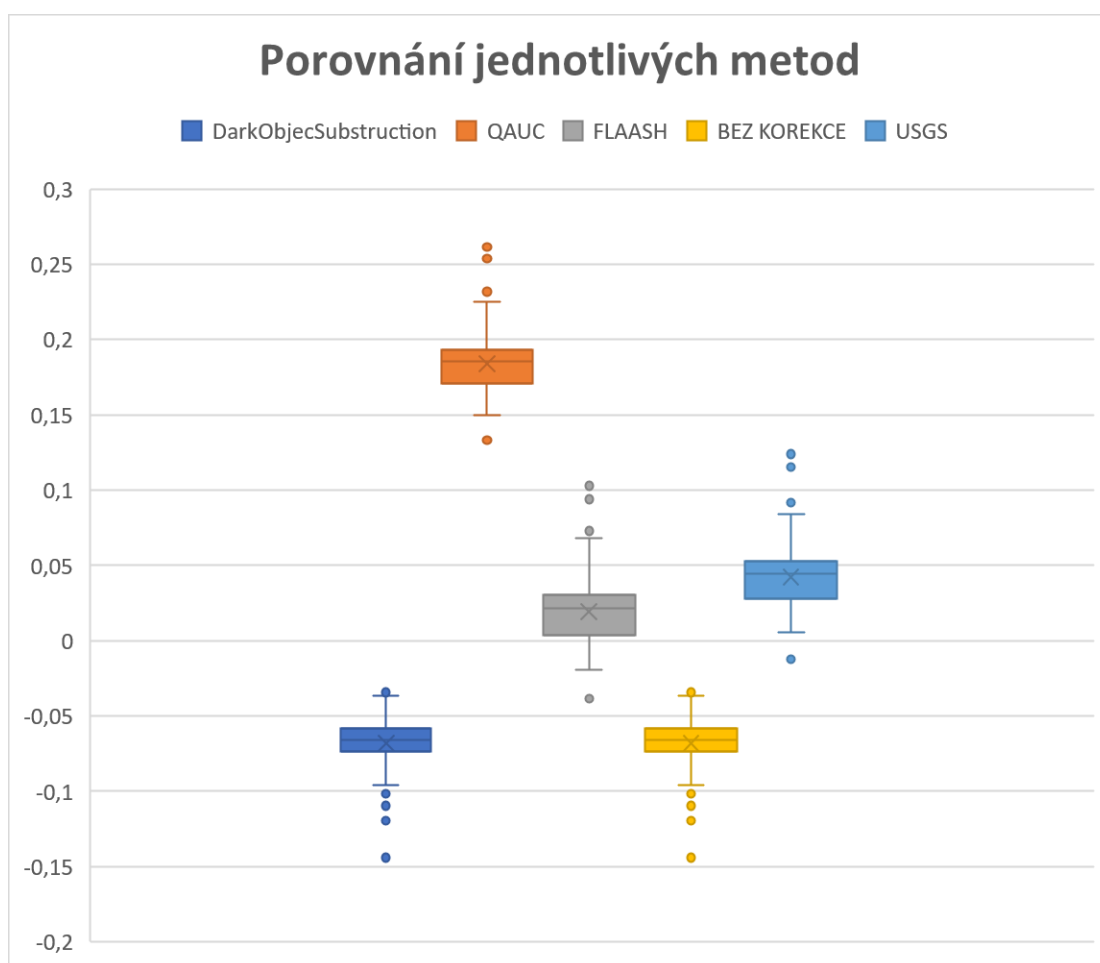
Obr. 12: Výsledný graf pro lokalitu – louka (vlastní tvorba)



4.2 Lokalita 2 - Pole

Na druhé lokalitě (poli) se jako nejlepší metoda ukázala korekce FLAASH, následovaná USGS. Rastr Dark Object Subtraction je opět totožný s rastrem bez korekce a podhodnocuje hodnoty NDVI. Velmi nepřesný je opět rastr vytvořený korekcí QUAC. A stejně jako v případě lokality ležící na louce významně nadhodnocuje reálné hodnoty.

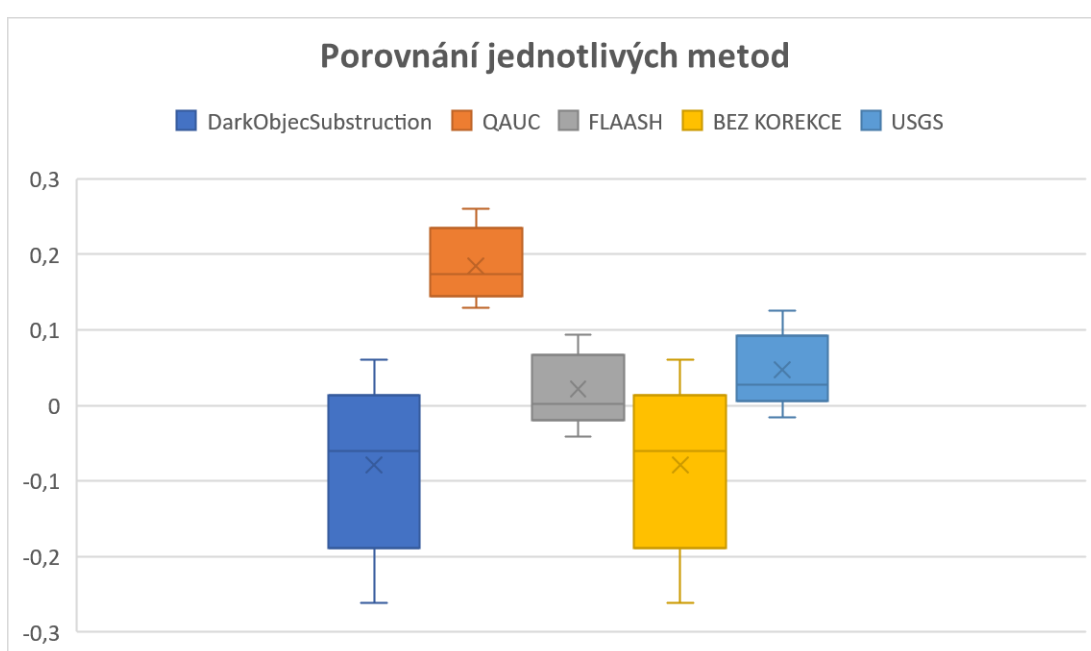
Obr. 13: Výsledný graf pro lokalitu – pole (vlastní tvorba)



4.3 Lokalita 3 - Parkoviště

Třetí lokalita ležící na parkovišti se nijak zvlášť neliší od předchozích. Nejpřesněji vyšla metoda FLAASH, následována USGS. Rastry Dark Object Subtraction a bez atmosférické korekce jsou oproti QUAC blíže nulové ose, tedy jsou přesnější, ale rozsah krabice (boxu) je velký, tedy objevují se zde ze všech tří lokalit největší rozsahy hodnot. Snímek korigovaný pomocí QUAC opět v průměru nejvíce nadhodnocuje a lze ho pravděpodobně označit za nejméně přesný.

Obr. 14: Výsledný graf pro lokalitu – parkoviště (vlastní tvorba)



5. Diskuse

Problematice atmosférických korekcí se zabývalo a stále zabývá mnoho autorů, ale jejich pozornost je zaměřena spíše na vývoj nových výpočetních algoritmů či na modifikaci stávajících metod pro potřeby nových družicových systémů. Samozřejmě lze již nalézt několik studií zaměřených na problematiku přesnosti různých atmosférických korekcí. Některé z nich byly již zmíněny v předchozích kapitolách diplomové práce (Clark a kol, 2011; Hadjimitsis a kol, 2010; Chrysoulakis a kol, 2010, López-Serrano a kol, 2016; Mahiny a Turner, 2007). Tyto studie se ale od předkládané práce často liší použitým DPZ softwarem, družicovými daty, srovnávanými atmosférickými korekcemi a metodami jejich výpočtu, validací přesnosti (v práci na příkladu NDVI) či neprovedením referenčního terénního měření apod. (Clark a kol, 2011; Hadjimitsis a kol, 2010; Chrysoulakis a kol, 2010, López-Serrano a kol, 2016; Mahiny a Turner, 2007).

Z výsledků práce je zřejmé, že složitější metody atmosférické korekce (FLAASH a USGS) dosahují obecně vyšší přesnosti, než metody výpočetně jednodušší založené na detekci nejtmašího objektu (DOS) nebo regresní analýze (QUAC). V případě DOS se tak shoduje tvrzení Lillesanda a kol. (2015) o jeho menší přesnosti. Přesto např. Clark a kol. (2011) upřednostňují právě DOS, to je ale zapříčiněno prací s historickými daty, kde je složité dohledat potřebné informace pro metody modelování atmosféry. Pokud bychom se podívali konkrétněji na metody FLAASH a USGS, tak se ve většině případů blížíla nepatrně přesněji skutečnosti v podobě terénního měření ENVI metoda FLAASH. Tento fakt je logický, protože i když obě metody používají podobný atmosférický model (MODTRAN), tak při FLAASH korekci byly použity vstupní parametry šité na míru zájmové lokality. Na druhou stranu rozdíl mezi metodami je pro praktickou aplikaci zanedbatelný, a když vezmeme v úvahu, že modul Atmospheric Correction je placená nadstavba již komerčního softwaru ENVI, tak lze na základě dosažených výsledků doporučit běžnému uživateli využití atmosférické korekce skrze volně dostupné služby USGS.

Z výsledků v příložených grafech (obr. 12, 13, 14) je patrné, že varianta bez korekce dosahuje stejných výsledků jako po provedení Dark Object Subtraction (DOS). A to pravděpodobně proto, že metoda atmosférické korekce DOS nenašla nejtmaší pixel v dané scéně, což je u této korekce dost častý problém. Hlavně pro snímky, na kterých se nevyskytují hluboké vodní plochy. Řešením tohoto nedostatku

by bylo využití jiné DOS metody. Problematiku různých DOS přístupů shrnuje například Clark a kol. (2011). Na druhou stranu žádná z nich není standardní součástí softwaru ENVI.

První lokalita (louka) disponuje velkým rozsahem odchylek $[-0,4;0,4]$, to mohlo být způsobeno jednak rozlišením snímku a dále vegetačním obdobím v době pořizování referenčních dat. Hodnoty NDVI z terénního měření byly získané ze snímané plochy 1×1 m, kdežto hodnoty NDVI získané ze snímku pracují s jedním pixelem (gridem) o velikosti 30×30 m (nejmenší mapovací jednotka). Při pořízení družicového snímku, tak dochází v rámci pixelu k zprůměrování více hodnot (z větší plochy), než v případě ručního měření. S velikostí pixelu družicového snímku souvisí i probíhající vegetační fáze, neboť na louce v té době byla nesekaná travní vegetace s rozdílným zdravotním stavem a byla proto značně heterogenní. Oproti tomu druhá lokalita (pole) byla v době terénního měření jednolitá (homogenní). Pole bylo čerstvě zorané, což může být důvod menšího rozsahu odchylek $[-0,2;0,3]$. Opět však nastává stejný problém s rozlišením. Třetí lokalita (parkoviště) disponuje nejmenším počtem referenčních bodů, ale přesto její výsledky dosahují velmi podobného trendu jako v případě předchozích dvou lokalit $[-0,3;0,3]$. Specifikem parkoviště je, že ač je to na první pohled nejhomogennější lokalita, tak mají s odhadem jeho hodnot největší problém než na jiných lokalitách konzistentní DOS a snímek bez atmosférické korekce. Vzhledem k tomu, že žádná atmosférická korekce neproběhla a parkoviště se nachází v blízkosti zástavby, mohlo dojít k ovlivnění odraženého záření ze střech zástavby.

Výše zmíněné proměnné (rozdílná nejmenší mapovací jednotka a vegetační fáze) tak mohou částečně ovlivňovat konkrétní odchylku jednotlivých modelů od skutečnosti. Na druhou stranu by neměly ovlivňovat vzájemnou přesnost korekcí mezi sebou.

Vzhledem k tomu, že se jedná o případovou studii, výsledky jsou platné pouze pro snímek pořízený družicí Landsat 8 a studijní území lokalizované v přírodních podmínkách ČR (střední Evropy). V případě, že by stejný pokus byl proveden s jinými daty nebo v oblasti s jinými přírodními podmínkami, mohlo by dojít k naprosto odlišným závěrům. Přesto je pravděpodobné, že budou mít podobný trend, tedy metody založené na modelování atmosféry budou přesnější.

Dílčím cílem práce bylo zodpovědět výzkumné otázky. Jedna z nich se týká potřeby provádění atmosférické korekce při výpočtu indexu NDVI. Z výsledků

vyplývá, že je vhodné použít atmosférickou korekci a zároveň se toto tvrzení shoduje se studií Hadjimitsis a kol. (2010), kde se na snímkách z Landsat TM aplikovala atmosférická korekce a zjišťoval se dopad na vegetační indexy. Jeden z indexů byl právě NDVI, ačkoliv byla využita metoda DOS doporučuje se atmosférickou korekci provést. Další otázka řeší, zda se vyplatí provádět atmosférickou korekci v ENVI nebo postačí využít snímek korigovaný USGS. Výpočet atmosférické korekce v ENVI, bude vzhledem k výsledkům vztažen pouze k atmosférické korekci FLAASH. FLAASH a korekce skrze USGS byly velmi vyrovnané, z toho důvodu je praktičtější využít korekci od USGS. Z ekonomického hlediska je ENVI software náročný na pořizování a samotná atmosférická korekce v ENVI je časově náročná, kdežto USGS během několika hodin zpracuje snímek zcela zdarma. Třetí otázka zkoumá, zda platí, že čím výpočetně složitější korekci použijeme, tím věrohodnější výsledky lze získat. Výsledky poukazují na to, že nejsložitější atmosférická korekce FLAASH založená na modelování atmosféry byla nejpřesnější. Ale pokud srovnáváme QUAC (regresní analýza) a DOS (nejtmavší pixel), DOS je označována za nejjednodušší metodu a ta dosáhla lepších výsledků než QUAC. Poslední otázka se zabývá věrohodností atmosférických korekcí v závislosti na typu krajinného pokryvu. Dle výsledků nebyly zaznamenány nijak velké rozdíly mezi korekcemi u jednotlivých lokalit. Pokud však dochází ke snímání více heterogenního prostředí a získáváme z něj právě hodnoty NDVI, výsledky jsou více variabilní.

6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo na příkladu vegetačního indexu NDVI a snímku z družice Landsat 8 porovnat vybrané atmosférické korekce dostupné v softwaru ENVI a skrze služby United States Geological Survey (USGS) s hodnotami NDVI, které byly získané terénním měřením v době přeletu družice nad zvoleným zájmovým územím. Měření a hodnocení probíhalo na třech typech krajinného pokryvu. Jednalo se o louku, pole a parkoviště. Družicový snímek byl upraven radiometrickou korekcí a následně korekcí atmosférickou. Výpočet indexu NDVI proběhl, stejně jako předchozí dvě korekce v softwaru ENVI 5.4. Další zpracování výsledků probíhalo v softwaru ArcGIS a MS Excel.

Všechny výsledky jsou platné pouze pro snímek Landsat 8 a studijní území lokalizované v přírodních podmínkách ČR. Základním poznatkem je určení dvou nejpřesnějších atmosférických korekcí. Ze softwaru ENVI atmosférickou korekci FLAASH a korekci dostupnou skrze služby USGS. Metoda QUAC vyšla jako nejhorší, neboť velmi nadhodnocovala a dosáhla horších výsledků než snímek nekorigovaný. Vzhledem k tomu, že metoda DOS měla totožné výsledky jako snímek nekorigovaný, není možné ji plně zhodnotit.

Z výsledků vyplývá, že pro výpočet NDVI z družicových snímků je vhodné pro získání přesnějších výsledků použít atmosférickou korekci. Dalším poznatkem je, že vzhledem k časové a ekonomické náročnosti zpracování atmosférické korekce v ENVI, lze upřednostnit atmosféricky korigovaný snímek z USGS.

Přínosem této práce tkví v usnadnění výběru metody atmosférické korekce v ENVI a potvrzení názorů jiných autorů, že pro výpočet indexu NDVI je nezbytné použít atmosférické korekce.

7. Zdroje

ASD Inc., ©2018: FieldSpec4 Hi-Res NG Spectroradiometer (online) [cit.2018.01.02], dostupné z <<https://www.asdi.com/products-and-services/fieldspec-spectroradiometers/fieldspec-4-hi-res-ng-spectroradiometer>>.

ARCDATA PRAHA, ©2018: Družicová data Landsat 8 (online) [cit.2018.10.03], dostupné z <<https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/druzicova-data/landsat>>.

Bernstein, L. S., 2012: Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades. *Optical Engineering*, 51(11), 1-13.

COPERNICUS ČR, ©2014: Oblasti využití DPZ (online) [cit.2018.01.02], dostupné z <<http://copernicus.gov.cz/oblasti-vyuziti-dpz>>.

Clark, B., Suomalainen, J., Pellikka, P., 2011: An historical empirical line method for the retrieval of surface reflectance factor from multi-temporal SPOT HRV, HRVIR and HRG multispectral satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(2), 292–307.

Cui, L., Li, G., Ren, H., He, L., Liao, H., Ouyang, N., Zhang, Y., 2014: Assessment of atmospheric correction methods for historical Landsat TM images in the coastal zone: A case study in Jiangsu, China. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 701–716.

CUZK, ©2017: Základní mapa ČR (online) [cit.2018.01.02], dostupné z <<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec>>.

Dobrovolný, P., 1998: Dálkový průzkum Země digitální zpracování obrazu. Masarykova Univerzita, Brno, 208 s.

EARTH OBSERVATORY NASA, ©2017: Measuring Vegetation (NDVI and EVI) (online) [cit.2018.15.03], dostupné z <https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/overview/index.html>.

EXELIS, 2012: ENVI Atmospheric Correction Module, ARCDATA, Praha, 2 s.

GEOPORTAL, ©2001: Prohlížeč služby (online) [cit.2018.06.04], dostupné z <<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>>.

GISAT, ©2001: Družicová data (online) [cit.2018.10.03], dostupné z <<http://gisat.cz/content/cz/druzicova-data>>.

GISAT, ©2001: Rozlišení dodávaných dat (online) [cit.2018.10.03], dostupné z <<http://gisat.cz/content/cz/druzicova-data/dodavana-data/nizke-a-stredni-rozliseni>>.

Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., Strachan, I. B., 2004: Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90(3), 337–352.

Hadjimitsis, D. G., Papadavid, G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Hadjimitsis, M. G., Retalis, A., Michaelides, S., Chrysoulakis, N., Toullos, L., and Clayton, C. R. I., 2010: Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 89-95.

Halounová, L., Pavelka, K., 2008: *Dálkový průzkum Země. České vysoké učení technické, Praha*, 192 s.

HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS, ©2018: ENVI – Software and Technology (online) [cit.2018.10.03], dostupné z <<http://www.harrisgeospatial.com/SoftwareTechnology/ENVI.aspx>>.

HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS, ©2018: Other Radiometric Correction Tools (online) [cit.2018.10.03], dostupné z <<http://www.harrisgeospatial.com/docs/OtherRadiometricCorrectionTools.html>>.

Chrysoulakis, N., Abrams, M., Feidas, H., Arai, K., 2010: Comparison of atmospheric correction methods using ASTER data for the area of Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 31(24), 6347–6385.

LABGUIDE, ©2014: Elektromagnetické spektrum (online) [cit.2018.15.03], dostupné z <<http://labguide.cz/fluorochromy/elektromagneticke-spektrum/>>.

Lepš J., Šmilauer P., 2016: *Biostatistika. Jihočeská univerzita, České Budějovice*, 438 s.

Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J., 2015: *Remote Sensing and Image Interpretation. 7th Edition. John Wiley & Sons, Hoboken*, 736 s.

López-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., Díaz-Varela, R. A., Álvarez-González, J. G., López-Sánchez, C. A., 2016: Evaluation of radiometric and atmospheric correction algorithms for aboveground forest biomass estimation using landsat 5 TM data. *Remote Sensing*, 8(5), 1–19.

Mahiny, A. S., Turner, B. J., 2007: A Comparison of Four Common Atmospheric Correction Methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(4), 361–368.

Mischenko, M., Travis, L., Lacis, A., 2002: *Scattering, Absorption and Emission of Light by Small Particles. University Press, Cambridge*, 395 s.

NASA, ©2017: Landsat Overview (online) [cit.2018.15.03], dostupné z <https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/overview/index.html>.

Oršulák T., Pacina J., 2010: *Dálkový průzkum Země. Centrum digitálních služeb MINO, Ústí nad Labem*, 18 s.

Pavlík, J., 2005: *Aplikovaná statistika. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha*, 173 s.

Perkins, T., 2012: Speed and accuracy improvements in FLAASH atmospheric correction of hyperspectral imagery. *Optical Engineering*, 51(11), 1-9.

Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E., W., Allen, R. G., Anderson, M. C., ... Zhu, Z., 2014: Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment* 145, 154–172.

Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., Macomber, S. A., 2001: Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?, *Remote Sensing of Environment* 75, 230–244.

Trimble Inc., ©2018: GreenSeeker handheld crop sensor (online) [cit.2018.08.03], dostupné z <http://www.trimble.com/Agriculture/gshandheld.aspx?tab=Product_Overview>.

Verhulst, N., Govaerts, B. 2010: The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeekerTM handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part B: User guide. CIMMYT, 8 s.

VUMOP, ©2007: eKatalog BPEJ (online) [cit.2018.10.04], dostupné z <<https://bpej.vumop.cz/>>.

8. Seznam obrázků, tabulek a vzorců

8.1 Seznam obrázků

- Obr. 1: Elektromagnetická spektra (labguide.cz, 2018)
- Obr. 2: Atmosférická okna (h2oexplore.wordpress.com, 2018)
- Obr.č.3: Základní fyzické schéma atmosférické korekce (Bernstein a kol, 2012)
- Obr. 4: Označení zájmového území na základní mapě ČR (cuzk.cz, 2018).
- Obr. 5: Rozmístění měřených bodů (vlastní tvorba)
- Obr. 6: Schéma postupu práce v ENVI (vlastní tvorba)
- Obr. 7: Vlevo dialogové okno radiometrické korekce s aplikací FLAASH Settings, vpravo radiometrická korekce původní (vlastní tvorba)
- Obr. 8: Změna velikosti snímku v programu ENVI (vlastní tvorba)
- Obr. 9: Vlevo snímek před odstraněním oblačnosti, vpravo snímek po odstranění oblačnosti (vlastní tvorba)
- Obr. 10: Nastavování parametrů pro atmosférickou korekci FLAASH (vlastní tvorba)
- Obr. 11: Histogramy jednotlivých metod a lokalit (vlastní tvorba)
- Obr. 12: Výsledný graf pro lokalitu – louka (vlastní tvorba)
- Obr. 13: Výsledný graf pro lokalitu – pole (vlastní tvorba)
- Obr. 14: Výsledný graf pro lokalitu – parkoviště (vlastní tvorba)

8.2 Seznam tabulek

- Tab. 1: Základní charakteristiky satelitu Landsat 8 (vlastní tvorba)
- Tab. 2: Výsledky p-hodnot z programu Statistica (vlastní tvorba)

8.3 Seznam vzorců

- Vzorec 1: Základní vztah (Dobrovolný, 1998)
- Vzorec 2: Základní vztah účinnosti molekulárního rozptylu (Dobrovolný, 1998)
- Vzorec 3: Základní vztah DVI (Hadjimitsis, 2010)
- Vzorec 4: Základní vztah RVI (Hadjimitsis, 2010)

Vzorec 5: Základní vztah NDVI (Hadjimitsis, 2010)

Vzorec 6: Modelování radiance (harrisgeospatial.com, 2018)

Vzorec 7: Modelování reflektance (harrisgeospatial.com, 2018)

Vzorec 8: Modelování teploty jasu (harrisgeospatial.com, 2018)

Vzorec 9: Základní rovnice (Bernstein a kol, 2012)