

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Eva TÖGELOVÁ

**NASAZENÍ MULTISPEKTRÁLNÍ KAMERY
ADC TETRACAM PŘI MONITOROVÁNÍ
VEGETAČNÍCH PŘÍZNAKŮ**

Magisterská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jakub Miřijovský, Ph. D.

Olomouc 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci magisterského studia oboru Geoinformatika vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Jakuba Miřijovského, Ph. D.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci dne 7. 8. 2013

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Jakobovi Miřijovskému, Ph. D. za podněty a připomínky při vypracovávání práce.

Děkuji členům Kateder geoinformatiky a biofyziky při Univerzitě Palackého v Olomouci, kteří se podíleli na tvorbě dat použitých v této práci.

V neposlední řadě děkuji rodině a přátelům za veškerou podporu, kterou mi projevovali během celého studia.

Vložený originál **zadání** bakalářské/magisterské práce (s podpisy vedoucího katedry, vedoucího práce a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	6
ÚVOD	7
1 CÍLE PRÁCE.....	8
2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	9
2.1 Použitá data	9
2.2 Použité programy	10
2.3 Postup zpracování	10
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	11
3.1 Přehled multispektrálních kamer dle výrobce	14
3.1.1 Tetracam	15
3.1.2 Dycam.....	17
3.1.3 FluxData	17
3.1.4 PixelTeq.....	17
3.2 Vegetační indexy.....	18
3.2.1 Indexy založené na sklonu (poměrové indexy)	21
3.2.2 Indexy založené na vzdálenosti	25
3.2.3 Ortogonální indexy	29
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ	30
4.1 Kalibrace	30
4.2 Výpočet vegetačních indexů (I. případová studie).....	37
4.3 Detekce změn vegetace v čase (II. případová studie)	51
5 VÝSLEDKY	59
6 DISKUZE	62
7 ZÁVĚR.....	63

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
ADC	Agricultural Digital Camera
CTVI	Corrected Transformed Vegetation Index
DVI	Difference Vegetation Index
FOV	Field Of View
GPS	Global Positioning System
LAI	Leaf Area Index
LCD	Liquid Crystal Display
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near Infrared - Odrazivost v blízkém infračerveném spektrálním pásmu
NRVI	Normalized Ratio Vegetation Index
PCA	Principal Components Analysis
PVI	Perpendicular Vegetation Index
PW2	PixelWrench2
R	Red - Odrazivost v červeném spektrálním pásmu
RVI	Ratio Vegetation
SAVI	Soil-Adjustment Vegetation Index
TSAVI	Transformed Soil-Adjustment Vegetation Index
TTVI	Thiam's Transformed Vegetation Index
TVI	Transformed Vegetation Index
VAI	Vegetation Anomaly Index
VI	Vegetační index(y)

ÚVOD

Díky schopnosti vidět a rozlišovat různé barvy viditelného spektra lze na dálku odhadnout množství informací o sledovaných objektech. Příkladem může být odhad zdraví stromu podle toho, zda jsou jeho listy zelené nebo hnědé. Multispektrální metody zobrazování jsou užitečné ze stejného důvodu. Stejně jako viditelná oblast, i ostatní části elektromagnetického spektra poskytují určité informace využitelné v různých oborech lidské činnosti. V této práci je kromě viditelné části kladen důraz na oblast infračerveného záření, kterou pro zaznamenávání obrazu využívá multispektrální kamera ADC (Agricultural Digital Camera) Tetracam, jež je předmětem studia této magisterské práce.

Multispektrální obrazová data jsou často pořizována metodami dálkového průzkumu Země (dále jen DPZ). Jedná se o nedestruktivní postupy uplatňované v různých vědeckých oborech, jako jsou například geologie, archeologie, urbanismus a další. Mezi tyto metody lze zařadit i snímkování s kamerou ADC Tetracam, která produkuje digitální snímky, jež lze zařadit do procesu digitálního zpracování obrazu. Konečné výstupy nabízí rozsáhlé možnosti studia socioekonomických a fyzickogeografických jevů. Tato práce se zaměřuje na studium vegetačních příznaků, jejichž mapování dnes tvoří základ velkého množství významných vědeckých prací.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem magisterské práce je podrobně popsat možnosti využití multispektrální kamery ADC Tetracam při monitorování vegetačních příznaků. V teoretické části práce se objeví literární rešerše zaměřená na obecné souvislosti v oblasti multispektrálního snímkování a multispektrálních kamer pro vegetační mapování a popis jednotlivých typů vegetačních indexů. V praktické části se předpokládá ověření spektrálních vlastností kamery - její kalibrace a nejméně dvě případové studie, na kterých bude podrobně popsán celý proces od kalibrace kamery až po zpracování snímků.

Finálním výstupem magisterské práce by tedy měl být text se všemi výše uvedenými informacemi a studie podložené originálními i zpracovanými snímky a statistickými údaji ve formě grafů a tabulek tak, aby splňovaly dílčí cíle stanovené v průběhu pracovního procesu.

Podoba práce by v konečném výsledku mohla představovat kameru z praktického hlediska uživatelům - například zemědělcům - kteří by získali přehled o možnostech práce s ADC kamerou a zisku dat, z nichž by byli schopni vědeckou cestou odpovědět na otázky spojené s vlastní zemědělskou činností a vyvodit požadované závěry, tak aby jejich práce byla co nejefektivnější.

2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Vypracování magisterské práce sestávalo z mnoha kroků, které měly za cíl seznámit se s multispektální kamerou ADC Tetracam a zhodnotit její vlastnosti a možnosti využití. Na počátku celého procesu a před samotnou prací s kamerou bylo úkolem nastudovat související problematiku, což sestávalo z četby odborných článků a publikací. Tato činnost výrazně přispěla k rozšíření povědomí a získání vědomostí na dané téma. Zdroje byly čerpány zejména z webových stránek firmy Tetracam, Inc., která se zabývá výrobou multispektrálních kamer pro zemědělské účely a jejich aplikací. Získané poznatky pak byly shromážděny a použity jako základ pro sepsání rešerše, která má za úkol vysvětlit základní problematiku a důležité pojmy vztahující se k tématu práce, především tedy k multispektální kameře ADC Tetracam a současné metodice využívané pro monitování vegetace. Důležitými zdroji byly práce *Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu* (Dobrovolný, 1998), *ENVI User's Guide* (2005) a *Idrisi Selva Manual a Tutorial* (2012).

2.1 Použitá data

Pracovní data lze rozdělit na tři skupiny podle oddílů v praktické části. Data pro kalibraci byla vytvořena členy Kateder geoinformatiky a biofyziky Univerzity Palackého dne 1. října 2012 na zatravněné ploše u Terežské brány na třídě Svobody v Olomouci. Kamerou ADC Tetracam byla snímkována vymezená plocha jednoho metru čtverečního s mřížkou 10 x 10 centimetrů. Pracovníci katedry biofyziky dále nasbírali data s pomocí přístroje PlantPen NDVI 300, která představovala další reprezentativní hodnoty NDVI pro vybrané čtverce v mřížce. Tato data byla v práci rovněž využita.

V I. případové studii – *Výpočet vegetačních indexů* - byly použity multispektrální snímky pořízené pracovníky Katedry geoinformatiky s pomocí kamery ADC Tetracam ve čtyřech termínech (18. 5., 26. 6., 1. 8., 17. 9. 2012). Snímkování probíhalo díky přístroji Hexakoptr XL ze vzduchu a zachytilo část území obce Vysoké Pole.

Pro II. případovou studii - *Detekci změn vegetace v čase* – byla autorkou práce pořizována data ve formě multispektrálních fotografií za pomoci kamery ADC Tetracam v sedmi termínech v období od 12. července do 14. září roku 2012. Fotografování probíhalo v zahradě rodinného domu v městské části Povel obce Olomouc. Předmětem byla volně rostoucí vegetace vymezená čtvercem 120 x 120 centimetrů, kde ze strany člověka nebyly prováděny žádné změny a zásahy a kde působily vnější faktory, jako jsou například déšť, vítr nebo prašnost. Data v digitálním formátu byla dále přenesena do počítače, kde byla zpracovávána v příslušných programech pro práci s multispektrálním obrazem.

2.2 Použité programy

Pro zpracování pořízených dat byly použity tři softwarové produkty: PixelWrench2 v. 1.0.6.5 firmy Tetracam, Inc. dodaný společně s kamerou, IDRISI Selva získaný z webových stránek Clark Labs, 2012 ve formě 30ti-denní zkušební verze a ESRI produkt ArcGIS 10 prostřednictvím Katedry geoinformatiky.

2.3 Postup zpracování

Práce byla zahájena nastudováním příslušné problematiky a sepsáním rešerše zaměřující se na multispektrální snímkování, multispektrální kamery, vegetační indexy a jejich využití.

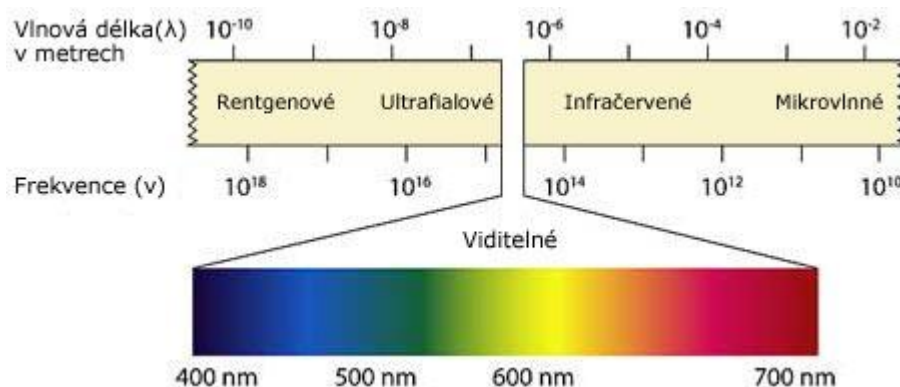
Následně bylo vypracováno vlastní řešení rozdělené na tři části – kalibraci, výpočet vegetačních indexů (I. případová studie) a detekci změn vegetace v čase (II. případová studie). Každá část obsahuje popis postupu specifického digitálního zpracování snímků, které zahrnovalo velké množství úkonů a nástrojů. Multispektrální obrazy byly obarveny, kalibrovány, rozděleny na jednotlivá pásma, exportovány do jiných formátů atd. Velká část pak byla věnována výpočtům vegetačních indexů.

Nakonec byly popsány výsledky vlastního řešení a stanoveny závěry, včetně kritického zhodnocení práce.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Pro pochopení fungování multispektrální kamery je třeba nejdříve porozumět fyzikální podstatě elektromagnetického spektra.

Všechny objekty nebo jevy na zemském povrchu o sobě vydávají informace prostřednictvím tzv. silových polí. Silové pole využívané v dálkovém průzkumu se nazývá elektromagnetické. Elektromagnetické záření zahrnuje spektrum dosahující téměř dvaceti řádů, které lze podle vlnové délky rozdělit do několika oblastí (obrázek 1). První metody DPZ používaly pouze snímky ve viditelné části spektra, s technickým pokrokem se však využitelná část spektra dálkovým průzkumem rozšiřovala a dnes je možné využívat záření s vlnovou délkou zhruba od 0,1 mikrometrů do 1 metru (Dobrovolný, 1998).



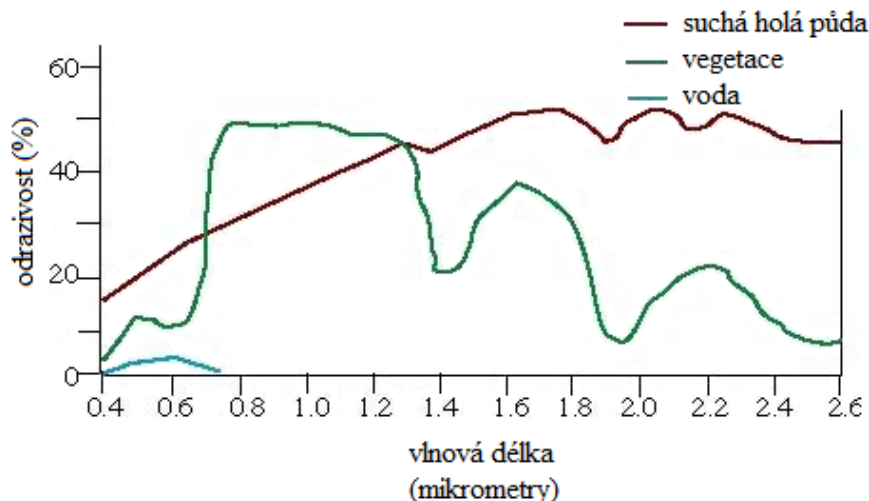
Obr. 1 Základní oblasti elektromagnetického spektra (zdroj: <http://is.muni.cz/>).

Pro dálkový průzkum vegetace mají význam zejména oblasti viditelného a blízkého infračerveného záření. Viditelné záření, které obsahuje vlnové délky v intervalu přibližně 0,4 až 0,7 mikrometrů, lze rozdělit na část modrého, zeleného a červeného světla. Jedná se o krátkovlnné záření, jehož zdrojem je Slunce, a proto je možné jej zaznamenávat pouze během dne. Záření neprochází oblačností a mlhou, neboť je velmi rozptylováno a pohlcováno různými druhy aerosolů. Oproti delším vlnovým délkám je záření schopné pronikat vodním sloupcem, a to zejména v modré části spektra, takže je možné sledovat některé biologické a fyzikální charakteristiky vodních objektů. Blízké infračervené záření navazuje na atmosférické okno z viditelné oblasti spektra

a chová se tedy do značné míry podobně. Záření je méně rozptylováno a pohlcováno atmosférou, což umožňuje pořizování ostrých kontrastních snímků, které se hodí například pro topografické účely (Dobrovolný, 1998). Právě tato část spektra je velmi důležitá pro studium vegetace v zemědělství a lesnictví.

V současnosti existuje množství situací, které vyžadují studium vegetačního pokryvu. Příkladem může být definování vegetačních typů, mapování vegetace nebo ochrana přírody. Významnými pomocníky v tomto studiu jsou metody GIS a dálkového průzkumu Země a právě data pořízená prostřednictvím DPZ a jejich digitální zpracování dnes nabízejí rozsáhlé možnosti zkoumání problematiky prostřednictvím analýzy leteckých a družicových snímků, které obsahují mnoho užitečných a dále interpretovatelných informací.

K mapování vegetačního povrchu se využívá poznatků o různé odrazivosti vegetace v odlišných intervalech elektromagnetického spektra, což se nazývá spektrálním chováním. Pro spektrální chování vegetace je typický výrazný nárůst odrazivosti v blízké infračervené části spektra. Záření ve viditelné části spektra je výrazně pohlcováno chlorofylem (zelené barvivo), což omezuje možnosti studia vegetace pomocí klasické fotografie. Multispektrální fotografie může být naopak velmi dobrým pomocníkem, neboť v blízké infračervené části spektra je odrazivost formována uspořádáním buněk částí rostlin, na které dopadá sluneční záření (tzn. odrazivostí listů), přičemž buněčná struktura rostlin a jejich odrazivost je pro různé druhy rostlin odlišná, čehož lze využít k jejich rozpoznávání. V oblasti středního infračerveného záření je odrazivost vegetace ovlivňována zejména přítomností vody v rostlinných orgánech, kdy vyšší obsah vody snižuje odrazivost rostlin. Vegetaci lze identifikovat i v mikrovlnné části spektra, kdy je však odraz ve většině případů difúzní, neboť se odráží v celé vrstvě vegetačního krytu. Spektrální křivku vegetace vynesenu na základě odrazivosti a vlnové délky zachycuje obrázek 2.



Obr. 2 Spektrální křivka vegetace, vody a suché holé půdy (*upraveno, IDRISI Selva Manual, 2012*).

V odborné literatuře lze dohledat množství studií zabývajících se analýzou vegetace s pomocí multispektrálních fotografií a vegetačních indexů. Často se objevují práce hodnotící metody využití dat pořízených v infračervené oblasti spektra i samotné vegetační indexy. Autoři Zhao, Li, Qi například provedli studii (2005), ve které byla cílem výzkumu analýza vlivů středních vlnových délek červeného a blízkého infračerveného pásma na vegetační indexy a evaluace potenciálu vegetačních indexů pro rozlišení bavlny podle stresu z dusíku a růstových fází. Bylo zjištěno, že široce užívané červené a blízké infračervené pásmo nejsou pro tyto výpočty nezbytně nejlepší. Práci přímo zaměřených na výpočet vegetačních indexů pro kvantitativní charakteristiku vegetačního pokryvu existuje rovněž nespočet. Příkladem může být studie analýzy chování vegetace v polosuchých oblastech severní Afriky (Amri, Zribi, Lili-Chabaane, Duchemin, Gruhier a Chehbouni, 2011). Pro odhadnutí stavu stresu vegetačního krytu bylo navrženo hodnocení pomocí indexu anomálie vegetace (VAI – Vegetation Anomaly Index). Kladné hodnoty VAI indikovaly vysokou dynamiku vegetace, zatímco hodnoty záporné poukazyvaly na přítomnost stresu rostlin. Jednou z novějších studií je práce zaměřená na posouzení obnovy vegetace po požárech s využitím třinácti vegetačních indexů (Veraverbeke, Gitas, Polychronaki a Somers, 2012). Některé z nich se snaží minimalizovat vliv variability prostředí, ačkoliv dopad proměnlivosti spektrální odezvy různých druhů vegetace na chování indexu nebyl dosud důkladně posouzen. Závěrem práce bylo podpoření indexu SAVI v prostředí s jedním typem vegetace (jako je krajina

obnovující se po požáru), nicméně autoři doporučili použití indexu NDVI pro schopnost minimalizovat vliv variability vegetace. Analýzou vegetačního pokryvu se nezabývají jen studie zahraniční, ale i české. Jednou z takových prací je Analýza sezónních změn vegetace kvantifikováním vegetačního charakteru krajiny (Hrdina, 2006), ve které byly použity například metody NDVI nebo TASSELED CAP transformace.

Jak již bylo řečeno, mezi základní metody studia vegetačního povrchu patří dálkový průzkum Země, který poskytuje data obsahující množství informací, z nichž jednou z nejdůležitějších je informace spektrální. Prvním krokem průzkumu je sběr dat. Nejvyužívanější data mají podobu leteckých a družicových snímků. Cílem analýzy vegetačního povrchu je diferenciací co největšího počtu druhů zemského pokryvu a charakteristika vegetace (Dobrovolný, 1998). Po sběru dat obvykle následuje digitální zpracování obrazu. Poté může být provedena analýza vegetačního krytu, která má za úkol podat informace o jevech a procesech spojených s vegetací, jako je například obsah vody, fyziologický stres rostlin, fenofáze či chemické a mechanické poškození (Dobrovolný, 1998). K tomuto účelu se nejčastěji používají kvantitativní ukazatele – tzv. vegetační indexy (viz kapitola 3.2). Výsledky výpočtu vegetačních indexů ve formě obrazových výstupů a tabulárních dat lze dále interpretovat nebo použít k dalšímu studiu dané problematiky. Všechny předchozí kroky lze provést v různých programech, jako jsou například ERDAS IMAGINE, ENVI, IDRISI nebo PixelWrench2.

Následující podkapitoly se úžeji zaměřují na dva nejdůležitější elementy této práce, jimiž jsou multispektrální kamery a vegetační indexy.

3.1 Přehled multispektrálních kamer dle výrobce

Na světovém trhu je v současné době velké množství firem zabývajících se produkcí multispektrálních kamer a jejich aplikací. Následující text se zabývá zejména multispektrální kamerou ADC Tetracam společnosti Tetracam, Inc., pro přehled a srovnání jsou zde však uvedeni i jiní výrobci se svými produkty.

3.1.1 Tetracam

Zavedení první komerční digitální kamery na světový trh (model Dycam, 1989) znamenalo počátek nové éry fotografování. Pracovníci firmy Tetracam, Inc. se sídlem v Chatsworthu v Kalifornii od té doby navrhli a vyrobili více než sto různých modelů digitálních kamer s celkovou produkcí blížící se jednomu milionu produktů. Standardní i zakázkové platformy kamer uspokojují různé potřeby v oblasti vědy, bezpečnosti, pozorování i mobilních a bezdrátových řešení. Důraz se klade zejména na nízkonákladovou výrobu multispektrálních digitálních kamer pro dálkový průzkum zemědělství (Tetracam online, 2011).

Aktuálními produkty firmy jsou kamery ADC, ADC - Air, ADC - Lite, ADC Micro, ADC - FX, MCA a Mini MCA, které jsou a budou stejně jako starší produkty i nadále podporovány. Tetracam rovněž poskytuje softwarová řešení pro zpracování kamerami pořízených dat. Jedná se o softwary PixelWrench2, GetShot, RemoteProcessor a SensorLink (Tetracam online, 2011).

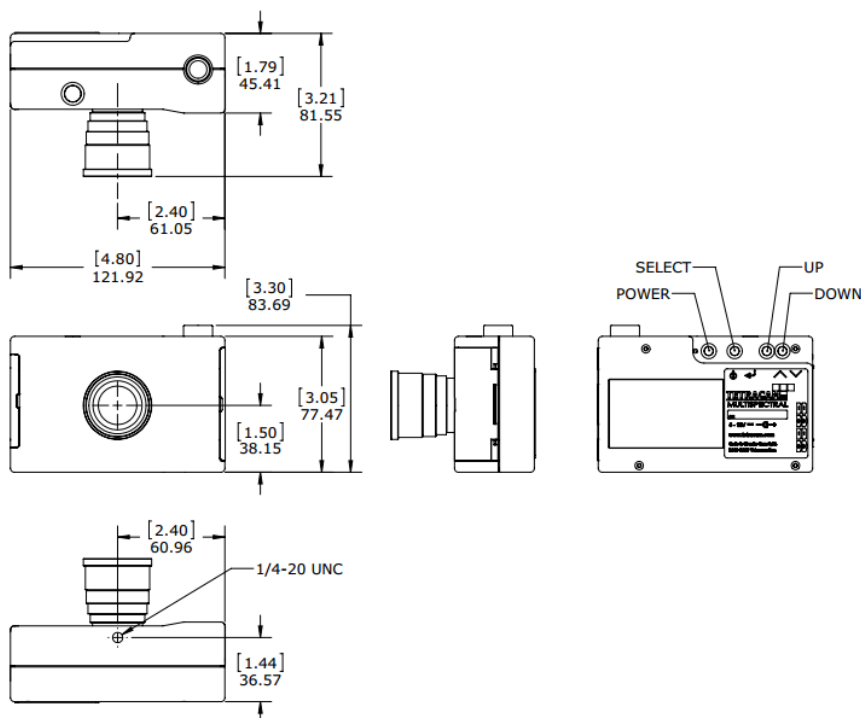
ADC Tetracam

Předmětem práce je testování multispektrální kamery. Pro tento záměr byla zvolena kamera ADC Tetracam, kterou disponuje Katedra geoinformatiky při Univerzitě Palackého v Olomouci. Jedná se o zemědělskou digitální kameru, která nabízí rozsáhlé možnosti multispektrálního snímkování.



Obr. 3 Kamera ADC Tetracam (zdroj: <http://www.tetracam.com/>).

ADC obsahuje jeden obrazový snímač s přesností 3,2 megapixel optimalizovaný pro zachycení viditelného světla o vlnové délce větší než 520 nanometrů a blízkého infračerveného světla s vlnovou délkou nad 920 nanometrů. Snímač obrazu je rozdělen do mozaiky velmi malých optických filtrů. Každý filtr umožňuje oddělit červené, zelené nebo NIR pásmo tak, že jedno propouští, zatímco ostatní blokuje. Oproti konkurenčním družicím nabízí ADC snímání za nižší náklady, nezávislost na oblačnosti a schopnost snadno a opakovaně získat data pro porovnání změn v čase. ADC je kompatibilní s GPS a ideální pro snímání pozemní i ze vzduchu. Kamera obsahuje displej z tekutých krystalů tzv. LCD (zkratka z ang. Liquid Crystal Display), který uživateli umožňuje sledovat živý obraz, menu s manuálním ovládáním a barevné paletizované obrazy vegetačních indexů. Zorné pole kamery tzv. FOV (zkratka z ang. Field Of View) je nastaveno ve formátu 4:3. Při snímání ze vzduchu se FOV zvyšuje s rostoucí hodnotou nadmořské výšky. Schopnost kamery rozlišit jednotlivé detaily na zemském povrchu naopak klesá. Se standardní 8mm čočkou vytvoří kamera ve výšce 122 m nad zemí obraz dost velký na to, aby v jednom záběru zachytil 1,85 akru při rozlišení menším než 5 cm na pixel (Agricultural Digital Camera User's Guide, 2011).



Obr. 4 Schéma kamery ADC Tetracam (zdroj: <http://www.tetracam.com/>).

Spolu s kamerou je dodáván software PixelWrench2, což je obrazový editační program, který obsahuje specifické nástroje pro multispektrální data. PixelWrench2 pracuje s červeným, zeleným a NIR pásmem a umožňuje tak výpočet různých vegetačních indexů pro charakteristiku snímané vegetace. Program umožňuje otevřít soubory ve vlastních formátech DCM10, RAW10, RAW8 nebo v několika standardních obrazových formátech BMP, JPEG, TIF, PNG aj. (Agricultural Digital Camera User's Guide, 2011).

3.1.2 Dycam

Dycam Inc., se sídlem v Chatsworthu, Kalifornie je od roku 1988 mezinárodním lídrem v produkci výrobků pro aplikace digitálního snímání. Veškeré zdroje firmy jsou zaměřeny na rozvoj digitálních kamer a systémů digitální fotografie.

Firma nabízí několik druhů multispektrálních kamer, včetně kamery ADC, která je ideální pro zemědělské účely, neboť je speciálně navržena pro snímání ve viditelném a blízkém infračerveném pásmu (Dycam online, 2013).

3.1.3 FluxData

FluxData, Inc. vyvíjí a vyrábí multispektrální a polarimetrické snímkovací systémy pro trhy v oblasti letectví, kosmonautiky, obrany, průmyslu, lékařství a vědy.

Společnost se sídlem v Rochesteru, New York nabízí několik druhů zařízení, z nichž mají výrazné zastoupení multispektrální kamery řady 3CCD s různými přednastavenými spektrálními možnostmi, jako jsou například R, G, B nebo NIR, R, G. Tyto kamery jsou rovněž vhodné pro aplikace v zemědělství (FluxData online, 2013).

3.1.4 PixelTeq

Společnost PixelTeq sídlící v Golden, Colorado poskytuje řešení snímacích zařízení, optických filtrů a elektro-optických přístrojů především pro aplikace

v biomedicině, letectví, průmyslu, bezpečnosti, ale i zemědělství. PixelTeq nabízí multispektrální kamery v řadách SpectroCam a PixelCam (PixelTeq online, 2013).

3.2 Vegetační indexy

Analýza vegetace a zjišťování jejích změn jsou klíčové pro hodnocení a monitoring přírodních zdrojů. Není proto překvapením, že detekce a kvantitativní i kvalitativní určování zelené vegetace je jednou z nejdůležitějších aplikací DPZ pro environmentální rozhodování a management přírodních zdrojů.

Zdravý vegetační kryt má velmi charakteristickou interakci s energií viditelného a blízkého infračerveného elektromagnetického spektra. Rostlinné pigmenty (především chlorofyl) ve viditelné části vyvolávají silnou absorpci energie, primárně pro účel fotosyntézy. Tato absorpce vrcholí v červené a modré oblasti viditelného spektra, což vede k typickému zelenému vzhledu většiny listů. V blízké infračervené části se však objevují velmi odlišné interakce. Energie v tomto regionu není využívána ve fotosyntéze a je vysoce rozptylována vnitřní strukturou listů, což ústí ve vysokou odrazivost (Lobo, Ersoy, Miles, 2000). Je to tento výrazný kontrast, zejména mezi množstvím odražené energie v červeném a blízkém infračerveném regionu elektromagnetického spektra, který byl ohniskem různorodých pokusů o rozvoj indexů vegetačních podmínek využívaných pro zpracování dat pořízených metodami DPZ.

Vegetace je jednou z nejdůležitějších složek ekosystémů. Znalosti v oblasti proměnlivosti vegetačních druhů, vzorů distribuce společenstev, fenologických fází a fyziologického i morfologického uzpůsobení rostlin poskytují hodnotný pohled na fyziografické charakteristiky každého území (Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita online, 2001). Mapování vegetačního krytu je tedy důležité pro pochopení různých ekologických procesů vyskytujících se v přírodě, jejich vztahů a změn v časovém období. Vhodné a často využívané metody pro průzkum představuje DPZ s pokročilými nástroji, které poskytují souhrnný přehled vlastností sledované oblasti. Data pořízená těmito metodami se vyznačují různým prostorovým, radiometrickým, spektrálním a časovým rozlišením. Mapování vegetace pomocí dálkově získaných dat zahrnuje množství aspektů, postupů a technologií. Rychlý rozvoj metod DPZ a zvyšující se dostupnost jejich dat rozšiřuje možnosti výběru a získání obrazových zdrojů.

Hlavními nástroji užívanými pro analýzu vegetačního povrchu jsou spektrální (nebo také vegetační) indexy (dále VI), které reprezentují skupinu poměrně jednoduchých aritmetických operací s dvěma či více pásmy multispektrálního obrazu. S jejich pomocí lze zvýraznit vegetační složku v obraze a použít k výpočtu kvantitativních ukazatelů, jako je například množství zelené biomasy v ploše pixelu (Dobrovolný, 1998). Spektrální indexy fungují na základě spektrálního chování vegetace v krajině, kdy zdravá, nepoškozená vegetace odráží 40 až 50 % dopadajícího záření v blízké infračervené části spektra. Ve viditelné části se pak odrazivost vegetační složky pohybuje mezi 10 až 20 % z důvodu pohlcování záření chlorofylem. Spektrální indexy vytváří vztahy mezi odrazivostmi v těchto dvou částech spektra a umožňují tak vystihnout jevy a procesy, jako jsou například fyziologické stresy rostlin, obsah vody, fenofáze nebo chemické či mechanické poškození (Dobrovolný, 1998). Některé vegetační indexy dokážou identifikovat nejen vegetaci, ale i další druhy krajinného pokryvu. Joshi (2011) uvádí, že vegetační indexy jsou používány k přesné inventarizaci globálního rozložení vegetačních typů, jakož i jejich biofyzikálních (např. LAI, biomasa) a strukturních (např. procento uzavřené korunové plochy) vlastností. Sledování těchto charakteristik v prostoru a čase poskytuje cenné informace k pochopení Země jako systému.

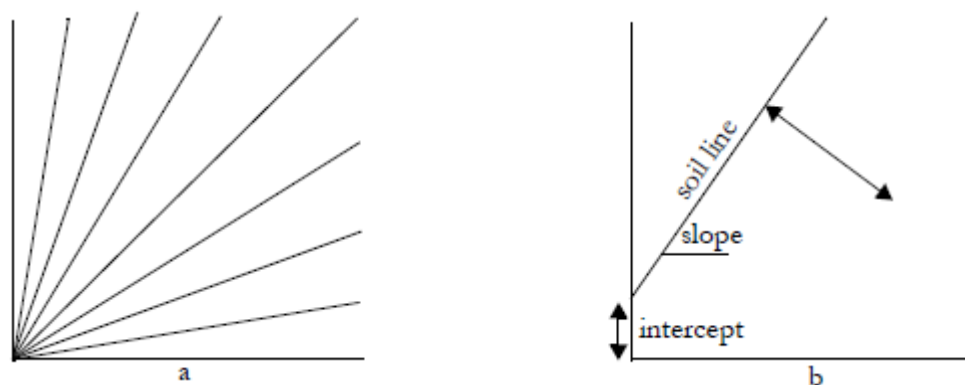
Podle Joshiho (2011) se většina formulovaných VI vztahuje k tzv. simple ratio (jednoduchému poměru). Odrazivost daná interakcí elektromagnetického záření je ovlivňována fyzikálními a chemickými vlastnostmi objektů a jevů na zemském povrchu, a proto jsou VI konstruovány s ohledem na různé odrazivosti odlišných povrchů. VI jsou založeny na zjištění, že různé pigmenty a chemická složení zelených listů mají v datech výraznou odezvu. Zelené listy absorbují světlo v červené oblasti elektromagnetického spektra, s maximální absorpcí kolem 690 nm, zatímco buněčné stěny silně rozptylují (odrážejí a přenášejí) světlo v blízké infračervené části (okolo 850 nm), což má za následek silný absorpční kontrast mezi těmito pásmy.

V odborné literatuře se lze dočíst o více než 150 vegetačních indexech, ale jen malá část z nich má biofyzikální základ a byla systematicky testována. Existuje několik způsobů dělení vegetačních indexů do kategorií. Jedním z dělení je například kategorizace podle Dr. Gregory S. Asnara z Carnegie Institution, odbor Globální Ekologie ve Washingtonu, který provedl výběr nejdůležitějších vegetačních kategorií a nejreprezentativnějších indexů v rámci každé kategorie. Volba vycházela z robustnosti, vědeckého základu a obecné aplikace. Množství těchto indexů není v současné době příliš

známo a pro komerční, státní a vědecké účely je jen velmi zřídka používáno (ENVI User's Guide, 2005).

Nejznámější dělení vegetačních indexů je však do dvou skupin, a to na indexy *založené na sklonu* a *založené na vzdálenosti*. Někdy se přidává zvláštní skupina *ortogonálních transformací*. Pro uvědomění si rozdílu je nezbytné uvažovat pozici vegetačních pixelů v dvourozměrném prostoru, kde proti sobě stojí odrazivost červeného a infračerveného pásma.

Indexy založené na sklonu jsou jednoduché aritmetické kombinace, které se zaměřují na kontrast mezi spektrální odpovědí vegetace v červené a blízké infračervené části elektromagnetického spektra. Jsou tak pojmenovány, protože každá konkrétní hodnota indexu může být produkována sadou hodnot červených/infračervených odrazivostí, které formují linii vedoucí od počátku dvourozměrného prostoru. Různé hodnoty indexu mohou produkovat spektrum linií lišících se v jejich sklonu. Obrázek 5a například ukazuje spektrum linií NDVI v rozsahu od -0,75 po směru hodinových ručiček do +0,75 (za předpokladu infračerveného pásma jako osy X a červeného pásma jako osy Y), s hodnotami NDVI tvořící od nuly diagonální linii. Skupina těchto indexů často nese v české odborné literatuře název *poměrové indexy* (IDRISI Selva Manual, 2012).



Obr. 5 a – Spektrum linií NDVI, b – Půdní křivka (IDRISI Selva Manual, 2012).

Indexy založené na vzdálenosti oproti první skupině zjišťují stupeň přítomnosti vegetace měřením rozdílu odrazivosti jakéhokoliv pixelu vegetace od odrazivosti holé půdy. Většina pixelů obrazových záznamů zachycujících například zemědělskou krajinu nese spektrálně smíšenou informaci o vegetačním krytu i půdním substrátu. Použití indexu PVI (zkratka z ang. Perpendicular Vegetation Index) umožňuje do značné míry

separovat odrazivost vegetace a půdního substrátu (Dobrovolný, 1998). Spektrální chování holé půdy vykazuje odrazivost v červené viditelné a blízké infračervené části spektra. Hodnoty různých vzorků holé půdy vynesené do dvourozměrného grafu mají tendenci vytvářet přímku, která se nazývá půdní křivkou nebo půdní linií (ang. soil line). Vegetace má vysokou odrazivost v blízkém infračerveném pásmu a naopak nízkou v pásmu viditelném. Pixely s vegetací se pak v grafu umísťují nad výše zmíněnou linii půd. Kolmá vzdálenost daného pixelu od linie půd je dána jako PVI. Všechny indexy této skupiny vyžadují, aby pro daný analyzovaný obraz byly definovány sklon a počátek linie půdy.

Třetí skupinu tvoří ortogonální vegetační indexy, které jsou počítány jako lineární kombinace původních pásem multispektrálního obrazu. Za předpokladu existence těchto pásem ve vícerozměrném prostoru, je možné vhodnou rotací souřadnic tohoto prostoru zdůraznit vegetační složku krajiny obsaženou v původním obraze. Příkladem ortogonálních indexů je například transformace TASSELED CAP (Dobrovolný, 1998). Definice ortogonálních indexů se často překrývá s definicí indexů založených na vzdálenosti, a proto jsou některé indexy mnohdy zařazovány do obou skupin.

Většina programů pro digitální zpracování obrazu dnes nabízí výpočet vegetačních indexů. V následujících podkapitolách jsou uvedeny a popsány nejdůležitější, nejrozšířenější a nejpoužívanější vegetační indexy.

3.2.1 Indexy založené na sklonu (poměrové indexy)

Indexy založené na sklonu, neboli poměrové indexy, pracují s jednoduchým nebo normalizovaným poměrem odrazivosti povrchů v červené viditelné a blízké infračervené části spektra. Zástupci skupiny jsou indexy *RATIO*, *NDVI*, *RVI*, *NRVI*, *TVI*, *CTVI* a *TTVI*. Následující poznatky byly čerpány z manuálu *IDRISI Selva*, 2012.

RATIO – VI Standardní jednoduchý poměr

Index *RATIO* byl navržen v roce 1974 autory Rouse a kolektiv pro separování zelené vegetace od půdního podkladu za využití obrazových dat pořízených družicovým systémem Landsat MSS. Index *RATIO* je produkován tak, že se hodnoty odrazivosti

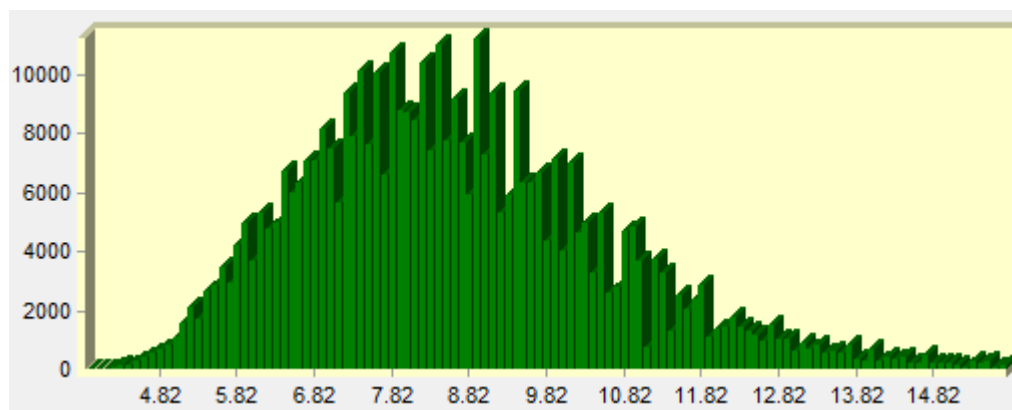
obsažené v blízkém infračerveném pásmu podělí těmi, které jsou obsaženy v červeném pásmu.

$$RATIO = \frac{NIR}{R}, \text{ kde}$$

NIR je odrazivost v blízkém infračerveném spektrálním pásmu,

R je odrazivost v červeném spektrálním pásmu (platí i pro všechny další vzorce).

Výsledek jasně zachycuje kontrast mezi červeným a infračerveným pásmem pro pixely vegetace, s vysokými hodnotami indexu produkovanými kombinací nízké červené (absorpce chlorofylem) a vysoké infračervené (struktura listů) odrazivosti. Vzhledem k tomu, že je index konstruován jako poměr, problémy různého osvětlení daného topografií jsou minimalizovány. Nicméně, index je citlivý na chyby vzniklé dělením nulou a výsledná měřicí stupnice není lineární. Výsledkem toho nemá index RATIO normální rozdělení (obrázek 6), což ztěžuje aplikaci některých statistických procedur.



Obr. 6 Histogram RATIO obrazu

NDVI - Normalizovaný diferenční VI

NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index) byl rovněž navržen autory Rouse a kolektiv v roce 1974 a je jedním z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších vegetačních indexů. Je použitelný za různých podmínek a vyjádřen jako rozdíl mezi blízkým infračerveným a červeným pásmem normalizované součtem těch samých pásem.

$$NIR = \frac{NIR-R}{NIR+R}$$

Hodnoty NDVI se pohybují v intervalu (-1, +1) a korelují zejména s obsahem zelené hmoty v ploše pixelu (rozsah zeleně se pak nejčastěji pohybuje od 0,2 do 0,8). V průběhu roku se hodnoty NDVI pro určité povrchy typicky mění, čehož je využíváno v zemědělských a lesnických aplikacích. Hodnoty indexu NDVI lze dobře použít k tvorbě přehledových map stavu vegetace (ENVI User's Guide, 2005).

TVI - Transformovaný VI

Index TVI (ang. Transformed Vegetation Index) vytvořili v roce 1975 Deering a kolektiv jako modifikaci NDVI přidáním konstanty 0,50 do výpočetního vzorce a odmocněním výsledku. Konstanta 0,50 je zavedena s cílem vyhnout se operacím s negativními hodnotami NDVI. Výpočet odmocniny je určen k zavedení normálního rozdělení a k opravě NDVI hodnot, které se blíží k Poissonovu rozdělení.

$$TVI = \sqrt{\left(\frac{NIR-R}{NIR+R}\right) + 0,5}$$

Po technické stránce se indexy NDVI a TVI neliší. Nicméně, bezproblémové použití TVI vyžaduje, aby minimální vstupní hodnoty byly větší než -0,5, což nemusí být vždy dodrženo. Tento problém řeší index CTVI.

CTVI – Opravený transformovaný VI

Index CTVI (ang. Corrected Transformed Vegetation Index) navrhli v roce 1984 autoři Perry a Lautenschlager s cílem opravit index TVI. Přidání konstanty 0,50 k hodnotám NDVI ne vždy eliminovalo negativní hodnoty výsledku z důvodů uvedených výše. CTVI je určen k řešení situace dělením $(NDVI + 0,50)$ vlastní absolutní hodnotou $|NDVI + 0,50|$ a násobením výsledku druhou odmocninou, jak lze vidět ve vzorci. Tato úprava potlačuje negativní hodnoty NDVI.

$$CTVI = \frac{NDVI+0,5}{|NDVI+0,5|} * \sqrt{|NDVI + 0,5|}$$

Vzhledem k tomu, že je korekce aplikována jednotným způsobem, výsledný obraz by neměl být odlišný od původního NDVI nebo TVI obrazu. Obraz však může kvůli nadhodnocení zeleně obsahovat šum, což upravuje index TTVI.

TTVI – Thiamův transformovaný VI

Index TTVI (ang. Thiam's Transformed Vegetation Index) byl odvozen v roce 1997 z indexu CTVI za účelem odstranění šumu ze zpracovaných snímků. Thiam, autor indexu, upravil vzorec vynecháním prvního výrazu pro získání lepšího výsledku.

$$TTVI = \sqrt{|NDVI + 0,5|}$$

RVI - Jednoduchý poměrový VI

Index RVI (ang. Ratio vegetation Index) byl navržen dvojicí autorů, Richardsonem a Wiegandem v roce 1977. RVI má po grafické stránce stejné silné i slabé stránky jako TVI, avšak výpočetně je jednodušší. RVI je v podstatě obrácený standardní jednoduchý poměr (RATIO), jak lze vidět ve vzorci.

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

Jednoduchý poměrový vegetační index je poměr nejvyšší odrazivosti, kdy absorpční pásma chlorofylu umožňují snadné porozumění a jsou efektivní v širokém rozpětí podmínek. Avšak u husté vegetace, kdy index LAI dosahuje vysokých hodnot, nemusí podávat přesné výsledky. Hodnoty indexu se pohybují od nuly do více než 30. (Dobrovolný, 1998; ENVI User's Guide, 2005).

NRVI – Normalizovaný jednoduchý poměrový VI

NRVI (ang. Normalized Ratio Vegetation Index) je modifikací indexu RVI od autorů Baretta a Guyota z roku 1991.

$$NRVI = \frac{RVI-1}{RVI+1}$$

Normalizace je podobná jako u NDVI, což znamená, že redukuje topografické, světelné a atmosférické vlivy a vytváří statisticky žádoucí normální rozdělení.

Výše uvedené poměrové indexy lze počítat z dat všech systémů, které poskytují obrazové záznamy ve viditelné červené a blízké infračervené části spektra. Tyto indexy mohou korelovat s dalšími parametry vegetační složky, jako je například tzv. index listové pokryvnosti (LAI – Leaf Area Index), který udává celkovou plochu horní strany listů na horizontální jednotku plochy. LAI je tedy kvantitativním ukazatelem celkové listové plochy, která v dané vegetaci může absorbovat záření potřebné pro proces fotosyntézy (Dobrovolný, 1998).

3.2.2 Indexy založené na vzdálenosti

Tato skupina vegetačních indexů je odvozena z PVI a jejím hlavním cílem je vyrušit efekt jasu půdy v případech, kdy je vegetace řídká a pixely obsahují směs zelené vegetace a půdního podkladu, což je důležité zejména v aridním a semiaridním prostředí. Informace o indexech byly i zde přebírány zejména z IDRISI Selva Manual, 2012.

PVI - Kolmý VI

PVI (ang. Perpendicular Vegetation Index) navrhli Richardson a Wiegand v roce 1977. Jak lze vidět na obrázku 7, PVI využívá kolmé vzdálenosti od souřadnic každého pixelu (Rp5, Rp7) k půdní linii.

$$PVI = \sqrt{(R_{gg5} - R_{p5})^2 + (R_{gg7} - R_{p7})^2}, \text{ kde}$$

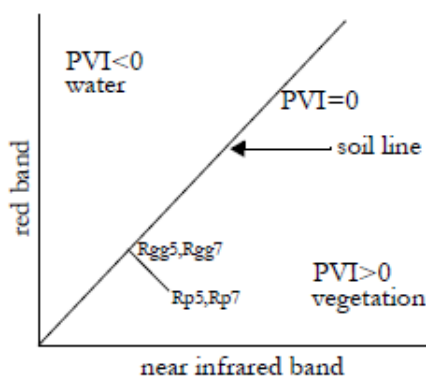
R_{p5} je souřadnice odrazivosti pixelu v červeném pásmu,

R_{p7} je souřadnice odrazivosti pixelu v blízkém infračerveném pásmu,

R_{gg5} je ypsilonová pozice průsečíku kolmice z daného pixelu k půdní křivce,

R_{gg7} je iksová pozice průsečíku kolmice z daného pixelu k půdní křivce.

Pokusy o vylepšení účinnosti PVI vyústily ve vznik tří dalších indexů. Aby nedošlo k případným zmatkům, odvozené PVI jsou indexovány od 1 do 3 (PVI_1 , PVI_2 , PVI_3) a jsou popsány níže.



Obr. 7 Podstata indexu PVI (*IDRISI Selva Manual, 2012*).

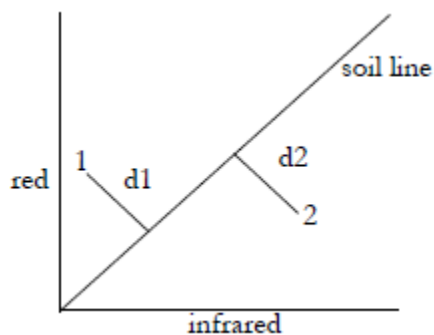
PVI_1 - Kolmý VI 1

PVI_1 byl odvozen dvojicí Perry a Lautenschlager v roce 1984, kteří tvrdili, že originální PVI rovnice je výpočetně náročná a nerozlišuje, zda se pixely nacházejí na pravé nebo na levé straně od půdní křivky (např. voda z vegetace). Vzhledem k spektrální odpovědi vegetačního krytu, řadí se pixely vegetace na pravou stranu (např. pixel 2 na obrázku 8). V některých případech může pixel reprezentující jiný povrch než vegetaci (např. vodu) být stejně vzdálený od linie půdy a ležet na levé straně. PVI mu pak přiřadí vysokou hodnotu, což vede k chybám. PVI_1 přidělí pixelům na levé straně od půdní křivky negativní hodnotu, čímž předejde zmíněným chybám.

$$PVI_1 = \frac{(bNIR - R + a)}{\sqrt{b^2 + 1}}, \text{ kde}$$

a je počátek linie půdy,

b je sklon linie půdy (platí i pro následující vzorce).



Obr. 8 Vzdálenosti od linie půdy (*IDRISI Selva Manual, 2012*).

PVI₂ - Kolmý VI 2

PVI_2 byl odvozen v roce 1991 dvojicí Walther a Shabaani a vyjadřuje se rovnicí:

$$PVI_2 = \frac{NIR - a \cdot R + b}{\sqrt{1 + a^2}}$$

PVI₃ - Kolmý VI 3

PVI_3 , jehož autorem je Qi a kol., byl představen v roce 1994 a vyjadřuje se rovnicí:

$$PVI_3 = aNIR - bR$$

DVI – Diferenční VI

DVI (ang. Difference Vegetation Index) je jeden z dalších indexů navržených dvojicí Richardson a Wiegand (1977). Jedná se o výpočetně jednodušší algoritmus, jehož specifikem je přiřazení váhy blízkému infračervenému pásmu podle sklonu půdní linie.

$$DVI = bNIR - R$$

SAVI – Půdě přizpůsobený VI

Huete v roce 1988 navrhl index SAVI (ang. Soil-Adjusted Vegetation Index) určený k minimalizaci vlivu půdního pozadí na vegetační signál začleněním konstanty v podobě půdě přizpůsobeného faktoru L do jmenovatele rovnice pro výpočet NDVI. L se liší podle charakteristik odrazivosti půdy (např. barva a jas). Huete vytvořil graf, ze kterého lze extrahovat hodnoty L . Vybraný L faktor závisí na hustotě vegetace, která je předmětem analýzy. Huete navrhl použití hodnoty faktoru $L = 1,0$ pro velmi nízkou vegetaci; $L = 0,5$ pro střední vegetaci a $L = 0,25$ pro vyšší a velmi hustou vegetaci.

$$SAVI = \frac{NIR-R}{NIR+R+L} * (1 + L), \text{ kde } L \text{ je faktor přizpůsobení půdě.}$$

TSAVI – Transformovaný půdě přizpůsobený VI

Koncept TSAVI (ang. Transformed Soil-Adjustment Vegetation Index) definovali v roce 1989 autoři Baret a kol., kteří tvrdili, že index SAVI je přesný jen tehdy, jsou-li konstanty půdní linie stanoveny jako $a = 1$ a $b = 0$, a proto jej transformovali. Vzali v úvahu koncept PVI a navrhli první modifikaci indexu TSAVI, značenou jako TSAVI₁.

$$TSAVI_1 = \frac{a(NIR-a*R-b)}{(R+a*NIR-a*b)}$$

S odolností vůči hodnotám vysoké půdní vlhkosti, může být TSAVI₁ dobrým kandidátem pro užití v semiaridních regionech, pro které byl navržen, ale není vhodný pro oblasti s hustou vegetací.

Druhou úpravou TSAVI vznikl index TSAVI₂, který přidáním korekčního faktoru 0,08 minimalizuje efekty jasu půdního pozadí.

$$TSAVI_2 = \frac{a(NIR - aR - b)}{R + aNIR - ab + 0,08 * (1 + a^2)}$$

3.2.3 Ortogonální indexy

Odvození vegetačních indexů bylo rozvinuto také pomocí technik ortogonální transformace, z nichž je nejznámější PCA. Tato technika vyjadřuje zelenou vegetaci prostřednictvím rozvoje druhé komponenty.

PCA – Analýza hlavních komponent

PCA (ang. Principal Components Analysis) je ortogonální transformace n-rozměrných obrazových dat, která z originální sady dat produkuje novou sadu obrazů (komponent), které spolu nekorelují a jsou seřazeny s ohledem na množství obsažených informací. V souvislosti s daty pořízenými metodami DPZ, první komponenta typicky představuje albedo, zatímco druhá komponenta nejčastěji představuje vegetační kryt.

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Vlastní řešení magisterské práce se skládá ze tří částí, z nichž každá představuje samostatnou studii. Následující podkapitoly jsou stěžejními oddíly práce, neboť se v nich nachází podrobný popis praktických postupů i konečných výstupů.

4.1 Kalibrace

Kalibrace snímku umožňuje zjistit, jaký byl poměr blízkého infračerveného a červeného pásma během snímkování za pomoci kalibračního teflonového terčíku dodaného spolu s kamerou ADC Tetracam. K tomuto účelu je vhodná například i deska ze síranu barnatého či jiné komerčně dostupné kalibrační standardy. Jeho použití se řídí následujícími pravidly, která byla během práce dodržována. Terčík musí být zachycen v době snímkování zájmového území za stejných (zejména světelných) podmínek. Kamera by měla zaznamenat celý osvětlený terčík tak, aby neodrážel sluneční paprsky přímo do kamery. Není nezbytné, aby byl obraz zaostřený. Před zpracováním snímků a kalkulací indexů musí proběhnout kalibrace, která by měla zpřesňovat všechny následující výpočty.

Úkolem této studie bylo vyzkoušet a otestovat kalibraci na zkušebních snímcích a shrnout její vliv a přínos pro další zpracování a následné výstupy. Celý postup byl proveden v programu Tetracam PixelWrench2 a obecně zahrnoval následující kroky.

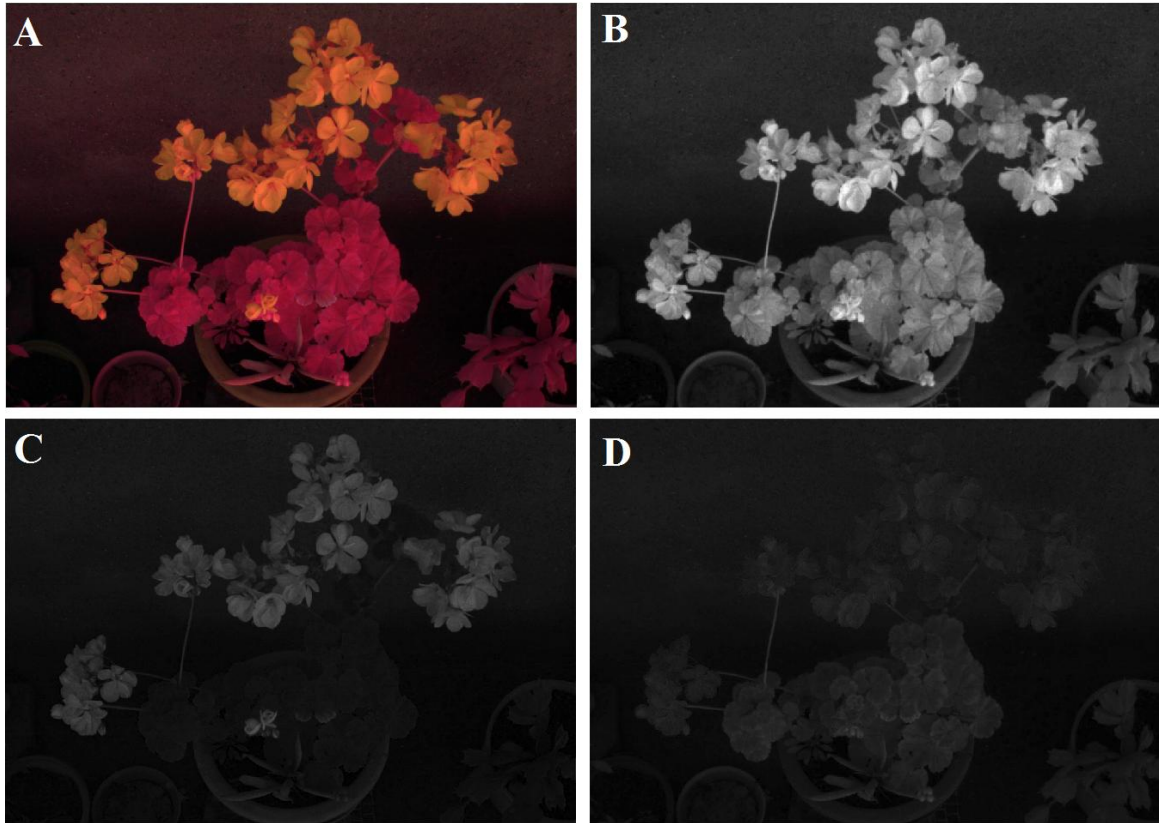
- a) Otevření snímků s teflonovým kalibračním terčíkem a zájmovým územím ve formátu RAW8 v programu Tetracam PixelWrench2.
- b) Obarvení obou monochromatických tzv. Bayer pattern (Bayerův vzor) obrazů nástrojem Process Raw Image za použití specifické barevné matice. Tato matice ve formátu .cpf byla dodána společně s kamerou, pro kterou byla přímo vytvořena.

- c) Výběr pixelů odpovídajících ploše kalibrační desky na převedeném snímku teflonového terčíku pro správné odvození kalibračních hodnot.
- d) Výpočet dvojice hodnot reprezentující mix NIR/R a NIR/GREEN obrazu váženého podle standardu ASTM G173-03 (Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface; ASTM International online, 2013) stisknutím tlačítka Calibrate.

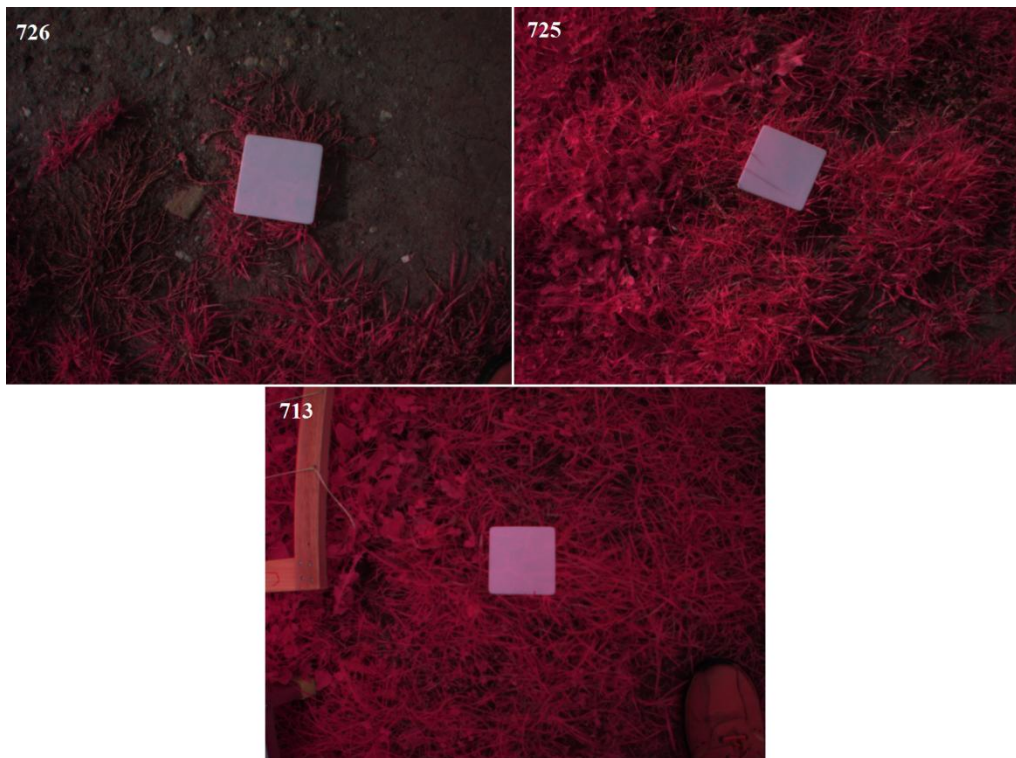
Výsledné číselné hodnoty slouží k aplikaci pro výpočet indexů využívajících červené, zelené a blízké infračervené pásmo. Kalibrační hodnoty se nepoužívají pro kolorování snímků, ale jen pro výpočty indexů NDVI, TTVI, RVI apod. Pokud chybí snímky teflonového terčíku, nastavují se kalibrační hodnoty na dvojici čísel 1:1.

Samotné tvorbě dat předcházelo vytvoření zkušebních snímků (obrázek 9) ve formátu RAW 8 Bit, který umožňuje zachycovat zhruba jeden snímek za vteřinu. Velikost snímků v tomto formátu se pohybuje okolo tří megabytů. Výsledný snímek je kombinací tří pásem. Při snímání viditelné části spektra se jedná o kombinaci R G B, tedy pásma červeného, zeleného a modrého. V případě multispektrálního snímkování jde o kombinaci NIR R G, která obsahuje navíc blízké infračervené pásmo a postrádá pásmo modré, ve kterém multispektrální kamera ADC Tetracam nesnímá.

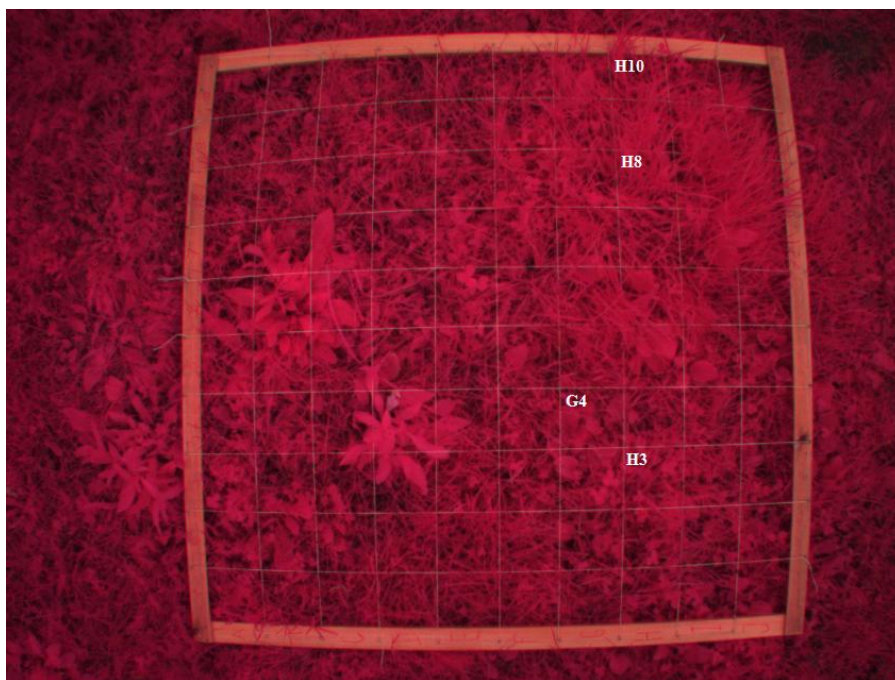
V konkrétním postupu práce byly použity snímky pořízené dopoledne dne 1. října 2012 za slunečného počasí. Snímkování zájmové plochy jednoho metru čtverečního s mřížkou 10 x 10 centimetrů probíhalo na zatravněném prostoru u Terežské brány na třídě Svobody v Olomouci. Na práci se podíleli členové Katedry geoinformatiky a biofyziky Univerzity Palackého. Pracovníci z katedry biofyziky navíc prováděli sběr dat s pomocí speciálních ručních přístrojů. Jedním z těchto přístrojů byl PlantPen NDVI 300 firmy Photon Systems Instruments, spol. s r. o., kterým byly naměřeny reprezentativní hodnoty NDVI pro vybrané čtverce. Údaje ze čtyř čtverců – H3, H8, H10, G4 – byly dále použity pro hodnocení kalibrace.



Obr. 9 A – kolorovaný snímek s kombinací pásem NIR-R-G; B – snímek v infračerveném pásmu (NIR); C – snímek v červeném pásmu (R); D – snímek v zeleném pásmu (G).



Obr. 10 Multispektrální snímky teflonových kalibračních terčů.



Obr. 11 Multispektrální snímek zájmové plochy na třídě Svobody v Olomouci.

Výše uvedený postup kalibrace byl použit na pořízené snímky. Pro testování kalibrace byly vybrány tři obrazy teflonových terčů (726, 725, 713) a jeden snímek se zájmovou plochou (obrázky 10 a 11). Kalibrační hodnoty byly zjišťovány vždy třikrát, aby se dalo určit, jaký vliv má vybraná plocha teflonového terčů na výstupní kalibrační hodnoty a následný výpočet vegetačních indexů. Výsledky zachycuje tabulka 1.

Tab. 1 Kalibrační hodnoty pro zvolené snímky

terč		1 (726)		2 (725)		3 (713)	
poměr		NIR/R	NIR/G	NIR/R	NIR/G	NIR/R	NIR/G
kalibrace	1	1,3883	1,3473	1,5032	1,4443	1,6864	1,5839
	2	1,3769	1,3357	1,5142	1,4512	1,6886	1,5914
	3	1,4130	1,3679	1,4420	1,3836	1,6837	1,5782

Poté již bylo možné přejít k výpočtu vegetačního indexu NDVI, jehož výsledky by měly poukázat na případné odchylky způsobené použitím odlišných kalibračních hodnot. Výpočty byly aplikovány nejprve na celý snímek zájmového území, posléze na předem vybrané čtverce. Vždy bylo použito devět párů kalibračních hodnot a jeden pár defaultní, tj. 1:1. Výstupy lze vidět v níže uvedených tabulkách.

Tab. 2 Hodnoty NDVI pro celý snímek (interval (-1;1) / %)

terčik		1 (726)	2 (725)	3 (713)		
kalibrace	1	0,678/83,90	0,663/83,15	0,631/81,55		
	2	0,686/84,30	0,663/83,15	0,631/81,55		
	3	0,678/83,90	0,671/83,55	0,631/81,55		
průměr		0,681/84,03	0,666/83,28	0,631/81,55	0,659/82,95	0,026/1,27
odchylka		0,005/0,23	0,005/0,33	0,000/0,00		
nekalibrováno		0,757/87,85				
PlantPen NDVI 300		-				

Výsledné hodnoty NDVI jsou obsaženy v intervalu (-1;1), jedná se tedy o desetinná čísla. Pro lepší představu při porovnávání výsledků byly hodnoty převedeny na procentní interval (0;100). Hodnoty celého snímku vypočtené s kalibrací na základě jednotlivých teflonových terčiků se liší jen minimálně, směrodatná odchylka pro různé plošky je v případě prvního terčiku 0,23 %, pro druhý terčik 0,33 % a pro třetí terčik je tato hodnota nulová. Vypovídá to o faktu, že výběr plochy terčiku má určitý vliv na výsledky, nikoliv však velký. Další srovnání zahrnovalo průměrné hodnoty NDVI podle kalibračních terčiků. Bylo zjištěno, že směrodatná odchylka tří terčiků je 1,27 %. Rozdíl není velký, ale může mít vliv na další výstupy. Rozdíly v porovnání průměrných hodnot NDVI všech měření s výsledkem kalibrace 1:1 (značeno jako nekalibrováno) byly nižší pro první snímek o 3,82 %, pro druhý snímek o 4,57 % a pro třetí snímek o 6,30 %. Rozdíl těchto hodnot značí výraznější vliv kalibrace na výstupy indexu NDVI. Předpokládá se, že kalibrované snímky poskytly přesnější výsledky, nelze to však tvrdit s úplnou jistotou, neboť chybí reference s dalšími daty a větší počet experimentů. Proto budou v následujících krocích vzaty v potaz hodnoty NDVI naměřené ručním přístrojem PlantPen NDVI 300.

Tab. 3 Hodnoty NDVI pro čtverec H8 (interval (-1;1) / %)

terčik		1 (726)	2 (725)	3 (713)		
kalibrace	1	0,773/88,65	0,749/87,45	0,725/86,25		
	2	0,773/88,65	0,749/87,45	0,725/86,25		
	3	0,765/88,25	0,765/88,25	0,725/86,25		
průměr		0,770/88,52	0,754/87,72	0,725/86,25	0,750/87,50	0,023/1,15
odchylka		0,005/0,23	0,009/0,46	0,000/0,00		
nekalibrováno		0,827/91,35				
PlantPen NDVI 300		0,673/83,65				

První zkoumanou plochou byl čtverec H8. Při porovnání průměrných hodnot za jednotlivé terčíky byla zjištěna odchylka 1,15 %. Porovnání průměrných hodnot NDVI všech výpočtů s výstupem kalibrace 1:1 ukázalo pro první terčík hodnoty nižší o 2,83 %, pro druhý terčík o 3,63 % a pro třetí terčík o 5,1 %. Průměry NDVI ze všech kalibrovaných výpočtů se pak od průměru přístrojem naměřených hodnot liší následovně: všechny kalibrované výpočty jsou vyšší než ručně naměřené hodnoty, a to pro terčík 1 o 4,87 %, pro terčík 2 o 4,07 % a pro terčík 3 o 2,6 %. Kalibrace podle posledního terčíku tedy nejvíce odpovídá přístrojovým hodnotám a zdá se být nejpřesnější. Tuto domněnku mohou potvrdit nebo vyvrátit následující pokusy. Je třeba také brát v úvahu, že nelze zcela přesně určit, která z hodnot se nejvíce blíží skutečnosti, neboť ani průměrná hodnota z přístroje není směrodatná, vzhledem k tomu, že měření bylo prováděno vždy na ploše velké asi jen 25 mm², zatímco snímkové hodnoty reprezentují celý čtverec. Rozdíl mezi nekalibrovaným výpočtem (1:1) a přístrojovým výpočtem je 7,7%.

Tab. 4 Hodnoty NDVI pro čtverec G4 (interval (-1;1) / %)

terčík		1 (726)	2 (725)	3 (713)		
kalibrace	1	0,733/86,65	0,718/85,90	0,694/84,70	průměr odchylka	
	2	0,741/87,05	0,718/85,90	0,694/84,70		
	3	0,733/86,65	0,725/86,25	0,694/84,70		
průměr		0,736/86,78	0,720/86,02	0,694/84,70	0,717/85,83	0,021/1,05
odchylka		0,005/0,23	0,004/0,20	0,000/0,00		
nekalibrováno				0,804/90,20		
PlantPen NDVI 300				0,762/88,10		

Tab. 5 Hodnoty NDVI pro čtverec H3 (interval (-1;1) / %)

terčík		1 (726)	2 (725)	3 (713)		
kalibrace	1	0,741/87,05	0,725/86,25	0,702/85,10	průměr odchylka	
	2	0,741/87,05	0,725/86,25	0,694/84,70		
	3	0,741/87,05	0,733/86,65	0,702/85,10		
průměr		0,741/87,05	0,728/86,38	0,699/84,97	0,723/86,13	0,022/1,06
odchylka		0,000/0,00	0,005/0,23	0,005/0,23		
nekalibrováno				0,804/90,20		
PlantPen NDVI 300				0,798/89,90		

Tab. 6 Hodnoty NDVI pro čtverec H10 (interval (-1;1) / %)

terčik	1 (726)	2 (725)	3 (713)			
kalibrace	1	0,757/87,85	0,741/87,05	0,718/85,90		
	2	0,757/87,85	0,741/87,05	0,718/85,90		
	3	0,757/87,85	0,749/87,45	0,718/85,90		
průměr	0,757/87,85	0,744/87,18	0,718/85,90	0,740/86,98	0,020/0,99	
odchylka	0,000/0,00	0,005/0,23	0,000/0,00			
nekalibrováno	0,812/90,60					
PlantPen NDVI 300	0,762/88,10					

Výsledky pro čtverce G4, H3 i H10 vykazovaly vzájemně podobný trend. Odlišnost oproti snímku H8 tvořily průměrné hodnoty zaznamenané přístrojem PlantPen NDVI 300, které byly mírně vyšší než celkové průměry ze snímků pořízených kamerou. Například u čtverce H10 byl průměr prvního terčiku nižší o 0,25 %, druhého o 0,92 % a třetího o 2,2 %. Čtverec H8 lze tedy částečně považovat za výjimku, která mohla být způsobena například zaměřením méně frekventovaných rostlin ve čtverci či nedostatečným počtem měření, což ve výsledku ovlivnilo výstupní hodnoty NDVI. Průměry NDVI za jednotlivé snímky jsou velmi podobné, odchylky pro čtverce G4, H3, H10 jsou 1,05 %, 1,06 % a 0,99 %. Je zajímavé, že průměry podle třetího terčiku jsou pro tyto čtverce nejvíce vzdálené hodnotám přístrojovým. Nelze tedy potvrdit domněnku u předchozího čtverce, kde se zdálo, že výsledky této kalibrace jsou nejpřesnější. Pokud by byla přístrojová hodnota brána jako referenční vzhledem k průměrům s kalibrací i bez, měl by k ní pro čtverec H3 bližší výstup bez kalibrace, u čtverce H10 by tomu bylo naopak a ve čtverci G4 by byl výsledek skoro vyrovnaný. Nekalibrované výpočty (1:1) jsou ve všech případech vyšší než výpočty přístrojové a lze se tedy domnívat, že jsou mírně nadhodnocené.

Testování kalibrace přineslo jisté výsledky. Ačkoliv se kalibrační hodnoty pro jednotlivé teflonové terčiky lišily, odchylka ve výsledných hodnotách NDVI se pohybuje nejvýše okolo 1 %. Ani výběr určité části plochy terčiku nebyl zjištěn jako podstatný, ve výsledku poskytly všechny varianty velmi podobné výstupy. Všechny terčiky lze označit za vhodné, i když se liší například podkladem.

Porovnání průměrných hodnot NDVI kalibrovaných snímků a snímku nekalibrovaného, či přesněji řečeno kalibrovaného výchozím poměrem 1:1, ukázalo

jednotný trend, kdy hodnoty výstupů s kalibrací byly vždy nižší než bez kalibrace. Bylo tedy zjištěno, že kalibrační dvojice čísel 1:1, doporučená v případě chybějících snímků kalibračních terčů, zřejmě nadhodnocuje výsledky výpočtu indexu NDVI.

Silně rozkolísaně působí vztah průměrných hodnot NDVI s/bez kalibrace a hodnot NDVI naměřených přístrojem PlantPen NDVI 300. V některých případech jsou si blíže přístrojová hodnota s hodnotou kalibrovanou, v jiném případě je to naopak nebo jsou rozdíly hodnot s/bez kalibrace od hodnoty přístrojové zhruba stejné. Nedá se zde tedy mluvit o žádném jednotném trendu, který by prokazoval, které z hodnot nejlépe zachycují skutečnost. Je velmi pravděpodobné, že hodnoty naměřené ručním přístrojem, který je k tomuto účelu zkonstruován a zkalibrován, jsou velmi přesné. Nevýhodou je to, že se jedná o kontaktní metodu zjišťování NDVI, kterou nelze uplatnit v dálkovém průzkumu Země, neboť vyžaduje přímý styk s vegetací a nelze ji aplikovat plošně, ale jen bodově s rozlišením přibližně 25 mm².

Na závěr je důležité podotknout, že každá datová sada vyžaduje specifický přístup a nelze na ni aplikovat širší pravidla. Výstupy v tomto případě prokázaly znatelný, i když nepříliš vysoký vliv kalibrace na výpočty vegetačního indexu. V jiném případě však mohou být závěry z kalibrace naprosto odlišné. Proto je důležité před každou studií otestovat kalibraci a zhodnotit její výsledky.

4.2 Výpočet vegetačních indexů (I. případová studie)

Ze strany uživatele je často slyšet otázka „jaký vegetační index použít?“. Nejfrekventovanější odpovědí je v dnešní době zřejmě NDVI, kterým se zabývá nepřeberné množství článků, studií a odborných publikací. Snad každý, kdo se někdy zabýval dálkovým průzkumem vegetace, se s tímto indexem setkal. V mnoha případech je nejlepší se držet toho, co lidé znají a čemu důvěřují. NDVI toto tvrzení splňuje. Index je jednoduchý, má nejlepší dynamický rozsah a prokazuje nejlepší citlivost na změny vegetačního krytu. Je přiměřeně senzitivní na půdní pozadí a atmosféru s výjimkou případu nízkého rostlinného pokryvu (Yale University online, 2013).

Použití NDVI pro kvantitativní hodnocení vyvolává řadu otázek, které musí být řádně zodpovězeny, aby nebyla užitečnost indexu nijak omezena. Index je často

používán, ne-li zneužíván, v aplikacích, pro které není určen. Následující text se v této souvislosti zaměřuje na některé problémy.

Po matematické stránce, součet a rozdíl mezi dvěma spektrálními pásmy obsahují stejné informace jako původní data, avšak normalizovaný rozdíl nese pouze část původní informace. Zda jsou chybějící informace důležité a potřebné, musí posoudit uživatel, je však nutné si uvědomit, že výstup NDVI nese jen zlomek informací dostupných v originálních datech.

Index NDVI by měl být používán s velkou opatrností. V každém kvantitativním výzkumu, který vyžaduje určitou úroveň přesnosti, by měly být všechny rušivé faktory, které mohou vést k chybám nebo nepřesnostem, explicitně zohledněny, což může vyžadovat rozsáhlé zpracování na základě pomocných dat a dalších zdrojů informací. Rušivé faktory představují atmosférické, půdní, anizotropní, oblačné či spektrální efekty. Užití vegetačních indexů závisí na cílech zkoumání a obecných geografických charakteristikách zájmového území. Teoreticky mohou být všechny aplikovány na jakémkoliv území, bez ohledu na jejich citlivost k různým složkám životního prostředí, které mohou limitovat jejich účinnost. V této souvislosti lze mluvit o aplikaci indexů založených na sklonu, které jsou jednoduché k použití a poskytují snadno interpretovatelné číselné výsledky. Nicméně, jejich velkou slabinou je fakt, že neumožňují minimalizovat efekty půdního pozadí. To znamená, že určité množství jejich hodnot, negativních či pozitivních, reprezentuje jas půdy v pozadí. Tento efekt je hlavním omezujícím faktorem některých statistických analýz zaměřených na kvantitativní hodnocení nadzemní zelené biomasy a týká se i NDVI.

Indexy založené na vzdálenosti naopak mají schopnost minimalizovat efekty půdního pozadí. Minimalizace je prováděna kombinací vstupních pásem za pomoci sklonu a počátku půdní křivky, kterou lze získat lineární regresí hodnot odrazivosti vzorku holé půdy odvozených z červeného a blízkého infračerveného pásma. To pak představuje významné kvantitativní i kvalitativní zlepšení významu indexů pro všechny typy aplikací, především pak pro ty, které se zabývají aridním a semiaridním prostředím. Nicméně využít této výhody lze, jen pokud je možné identifikovat na snímku pixely holé půdy.

Je třeba mít na paměti, že indexy, které opravují půdní pozadí, mohou fungovat velmi špatně, pokud nebyly provedeny atmosférické korekce. Také se často objevují

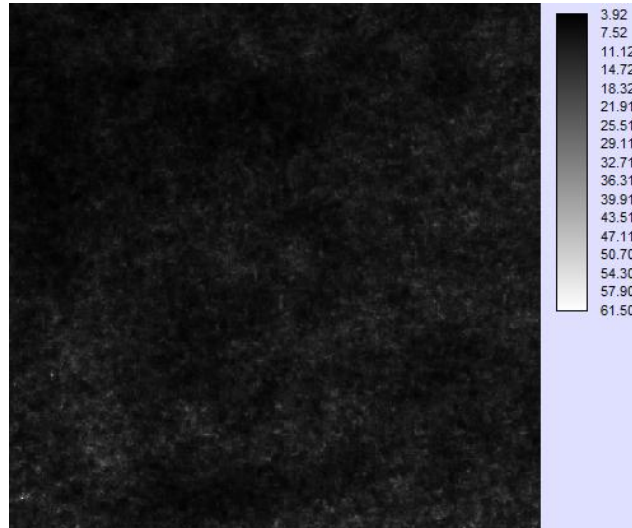
obavy, že vegetační indexy poskytují rozdílné výsledky, pokud se nesnímá v nadiru, to však záleží na konkrétní aplikaci a mnohdy není třeba se tímto vážněji zaobírat.

Praktická část se zabývá výpočtem VI na základě dat pořízených multispektrální kamerou ADC Tetracam. Pro tyto účely byly v následujících krocích použity čtyři sady multispektrálních dat vzniklých v měsících květen (18. 5.), červen (26. 6.), srpen (1. 8.) a září (17. 9.). Snímkování probíhalo ze vzduchu za pomoci přístroje Hexakopter XL na území obce Vysoké Pole (obrázek 12). Snímky byly zpracovány v programu PixelWrench2, kde byly obrazy obarveny, kalibrovány, rozděleny na jednotlivá pásma (R, NIR) a exportovány do formátu TIFF. Poté se přešlo na program IDRISI Selva.

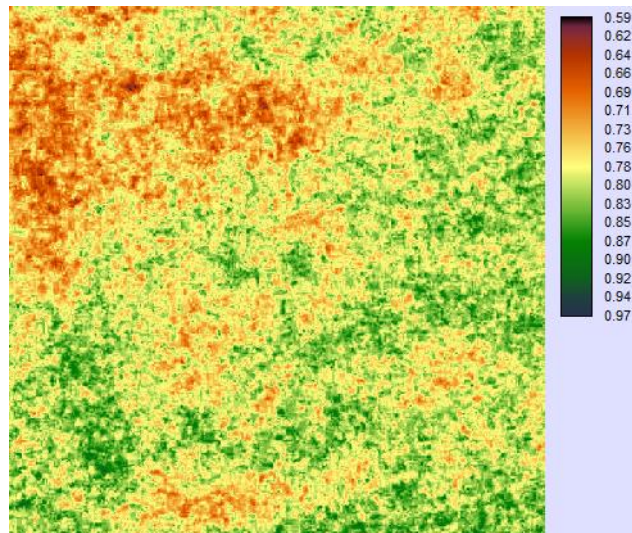


Obr. 12 Lokalita snímkování ve Vysokém Poli.

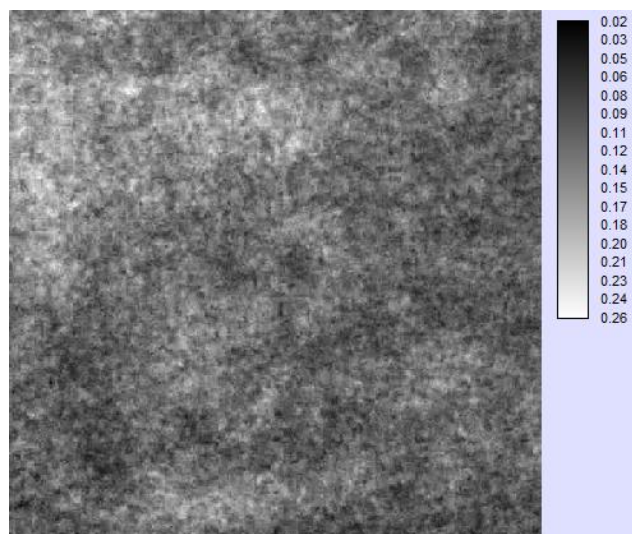
- a) Prvním krokem v IDRISI bylo nastavení pracovního adresáře. IDRISI pracuje s vlastními formáty, proto byly vstupní snímky jednotlivých pásem převedeny nástrojem GEOTIFF/TIFF do formátu .RST.
- b) Nástrojem VegIndex byly vypočteny indexy RATIO, NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI a TTVI založené na sklonu, které kromě snímků červeného a blízkého infračerveného pásma nevyžadovaly žádná další data. Pro výsledky příbuzných indexů NDVI, TVI, CTVI, TTVI byla použita paleta NDVI programu IDRISI Selva, ostatní snímky zůstaly ve výchozí šedé škále. Výstupy pro snímek z června lze vidět na obrázcích 13 - 19. Výsledky za další měsíce jsou k vidění v příloze na DVD.



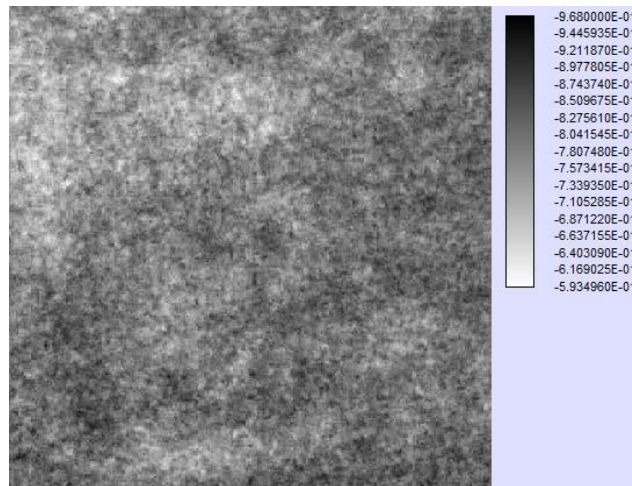
Obr. 13 Index RATIO pro červen.



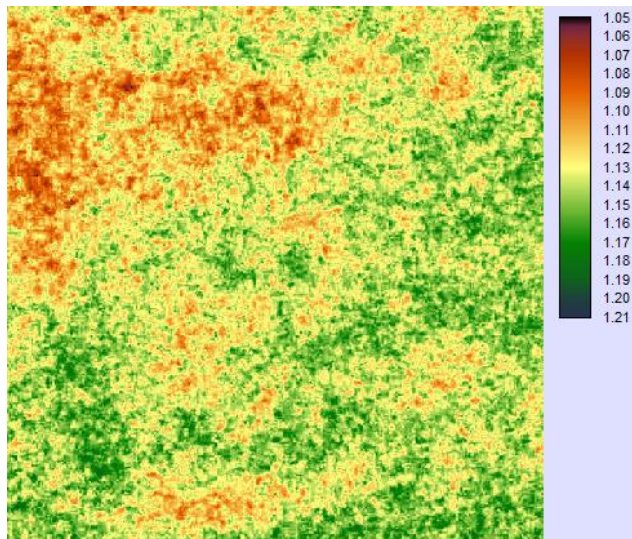
Obr. 14 Index NDVI pro červen.



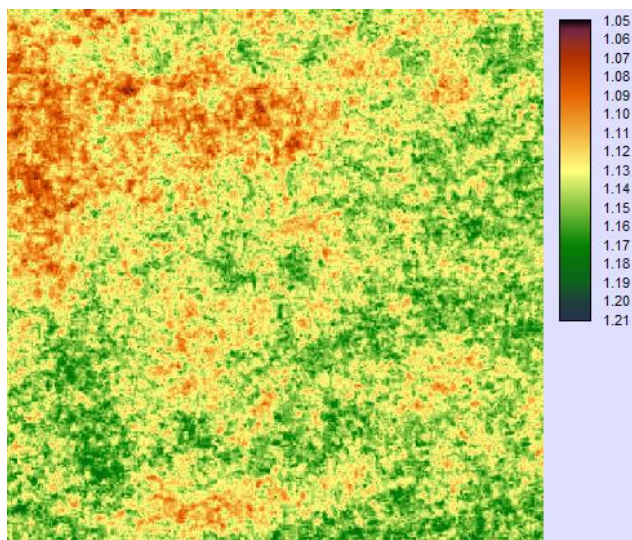
Obr. 15 Index RVI pro červen.



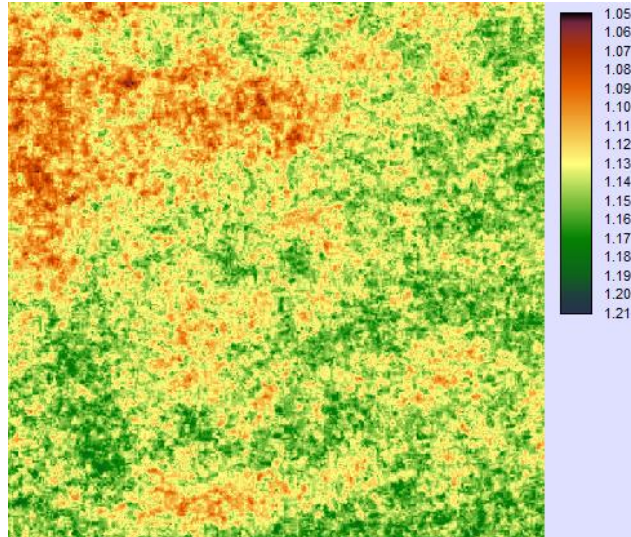
Obr. 16 Index NRVI pro červen.



Obr. 17 Index TVI pro červen.

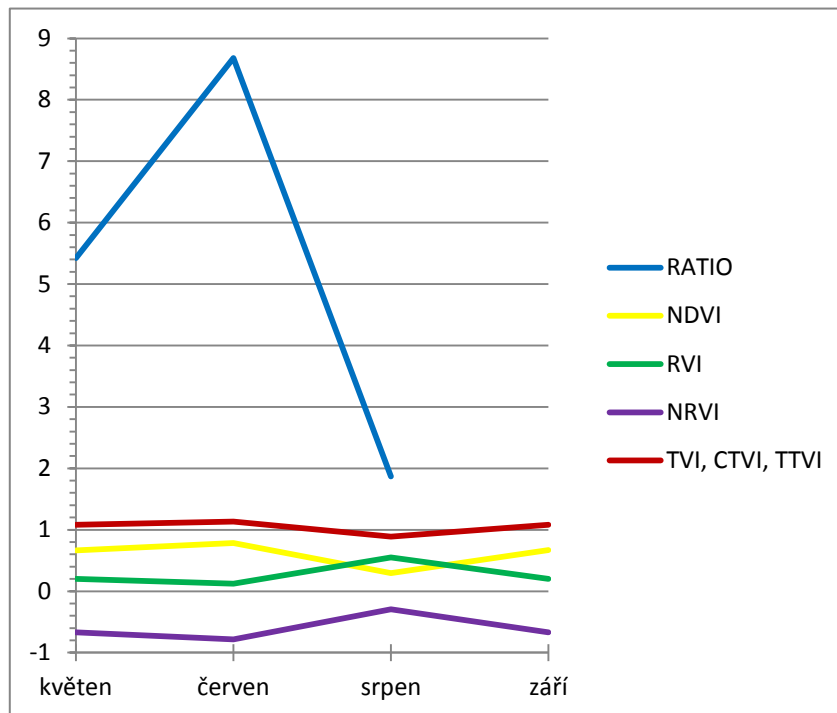


Obr. 18 Index CTVI pro červen.



Obr. 19 Index TTVI pro červen.

Samotné grafické výstupy nesou značnou informaci, kterou je však nutné doplnit komentářem. Pro ještě lepší pochopení situace byly vytvořeny grafy a tabulky, které dobře vystihují výsledky výpočtů.



Obr. 20 Vývoj průměrných hodnot indexů RATIO, NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI a TTVI v měsících květen, červen, srpen a září.

Tab. 7 Průměrné hodnoty indexů RATIO, NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI a TTVI v měsících květen, červen, srpen a září

	květen	červen	srpen	září
RATIO	5,424	8,680	1,867	x
NDVI	0,667	0,784	0,295	0,670
RVI	0,202	0,121	0,550	0,200
NRVI	-0,667	-0,784	-0,295	-0,670
TVI	1,080	1,133	0,891	1,081
CTVI	1,080	1,133	0,891	1,081
TTVI	1,080	1,133	0,891	1,081

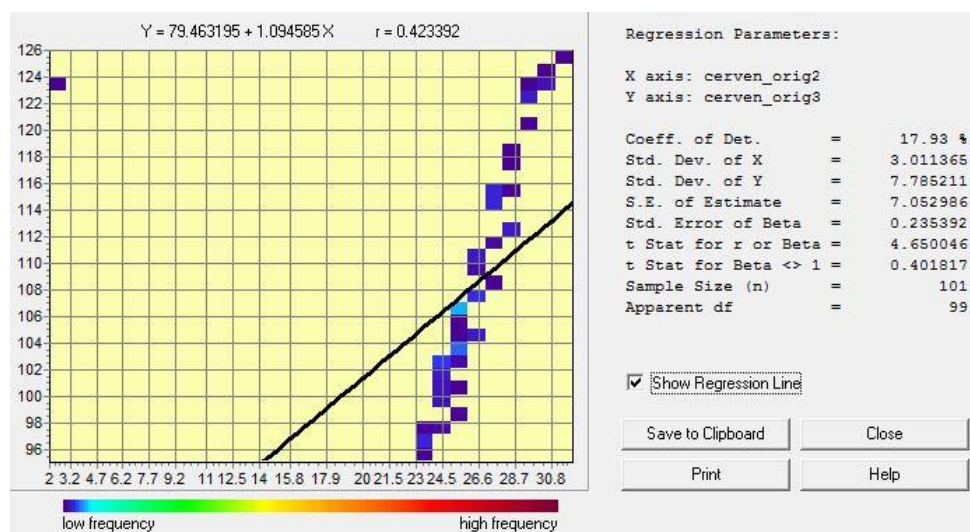
Množství odraženého červeného světla je pro hustou vegetaci velmi malé. Jak se odrazivost v červeném pásmu blíží k nule, poměr RATIO se zvyšuje. Čím vyšší poměr, tím hustší vegetace. Pakliže dosáhne nuly, není možné provést výpočet, neboť nulou nelze dělit. Tato situace nastala v datech za září, pro tento měsíc tudíž chybí výpočet. Z grafu i tabulky je tedy vidět, že dle tohoto indexu se nejhustší vegetace nacházela v zájmovém území v červnovém datu. Naopak ukazuje, že nejméně vegetace pokrývalo území v srpnovém termínu, a to z důvodů posečení vegetačního porostu a suchých podmínek na stanovišti. Index RATIO není příliš senzitivní na řídký porost, pro tento účel se lépe hodí vylepšený index NDVI. Z matematického hlediska jsou indexy funkčně ekvivalentní a obsahují stejnou informaci. Průběh výsledků obou indexů je tedy podobný, u NDVI rovněž dosáhly hodnoty maxima v červnu a minima v září.

Index RVI je v podstatě obrácený jednoduchý index RATIO, index NRVI je pak jeho normalizovanou formou. Z grafu tak lze vidět opačný průběh hodnot než u předchozích indexů. Význam však zůstává stejný. Velikost změny je totožná, rozdíl je pouze v rozsahu hodnot.

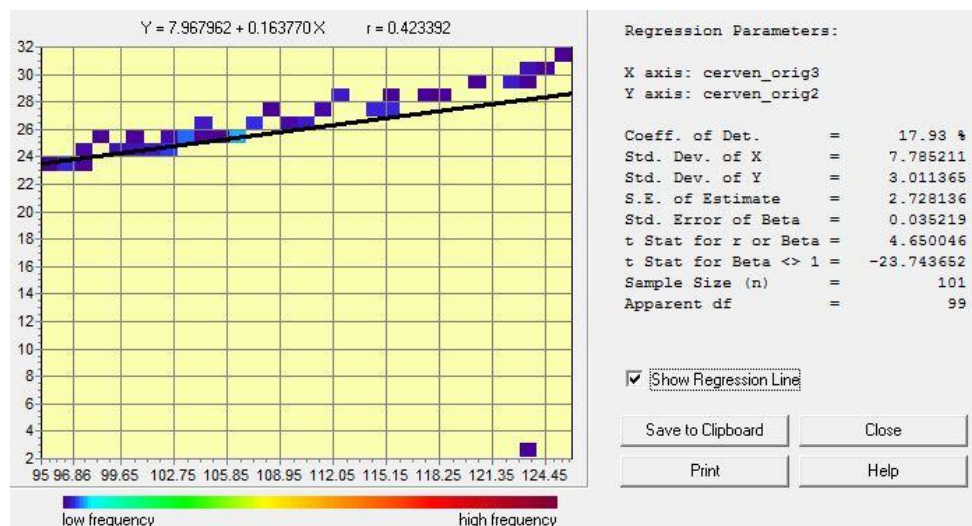
Indexy TVI, CTVI a TTVI jsou modifikací NDVI pro získání lepších výsledků. Jejich výstupní průměrné hodnoty jsou shodné. Od hodnot NDVI se liší, nicméně trend zůstává stejný, jen je mírně vyrovnanější. Tyto indexy tedy poukazují na menší změny ve vegetaci v různých datech než předchozí indexy, ale směr změn je zde zachován stejný.

Pro výpočet indexů založených na vzdálenosti (PVI, PVI₁, PVI₂, PVI₃, DVI, TSAVI₁, TSAVI₂, SAVI) bylo třeba znát počátek a sklon půdní křivky, kterou lze získat jednoduchou lineární regresí pixelů holé půdy (soubor hodnot) v červeném a blízkém infračerveném pásmu. Postup byl následující:

- c) Nástrojem Digitize byly v obrazech NDVI identifikovány pixely holé půdy, čímž vznikl vzorový soubor. Je důležité, aby reprezentativní pixely nebyly zaměněny za jiný povrch a pokud je to možné, mělo by jich být alespoň 50.
- d) Vzorový soubor byl v modulu RasterVector převeden z vektoru na rastr.
- e) Nástrojem Extract byly z obrazů jednotlivých pásem vytaženy informace vztahující se k pixelům holé půdy. Takto vzniklé obrazy pak byly použity v lineární regresi.
- f) Vegetační indexy založené na vzdálenosti se dají rozdělit do tří skupin. První skupina vyžaduje, aby parametry půdní křivky byly založeny na regresi, kde červené pásmo vystupuje jako nezávislá proměnná, zatímco druhá skupina vyžaduje za nezávislou proměnnou pásmo blízké infračervené. Do první skupiny se řadí indexy PVI₂, PVI₃, TSAVI₁, TSAVI₂. K druhé skupině náleží indexy PVI, PVI₁, DVI. Lineární regrese byla provedena nástrojem Regress. Výsledek zachycují obrázky 21 a 22. Třetí skupinu představuje jediný index SAVI, který k výpočtu nepoužívá údaje o půdní křivce, ale hodnotu půdě přizpůsobeného *L* faktoru, který musí být zadán zpracovatelem. V této práci byly vyzkoušeny nastavení na hodnoty doporučené autorem indexu pro nízkou a řídkou vegetaci (1), střední vegetaci (0,5) a vysokou a hustou vegetaci (0,25).

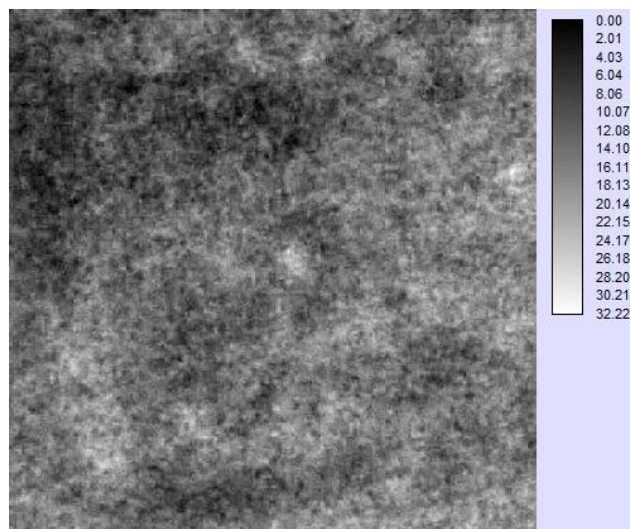


Obr. 21 Lineární regrese pixelů holé půdy pro červen - nezávislá proměnná R.

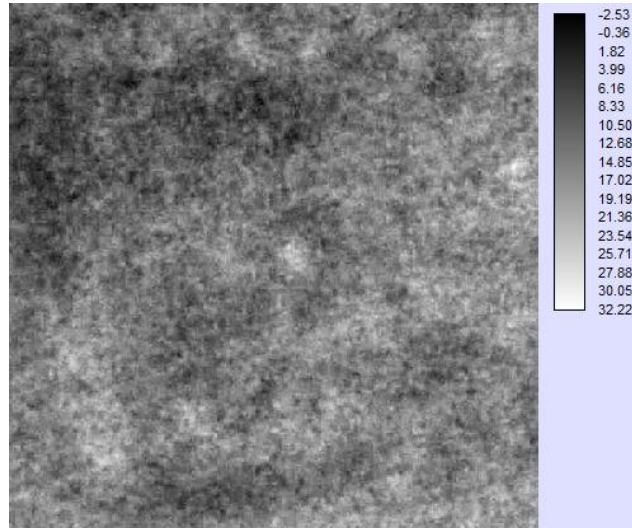


Obr. 22 Lineární regrese pixelů holé půdy pro červen - nezávislá proměnná NIR.

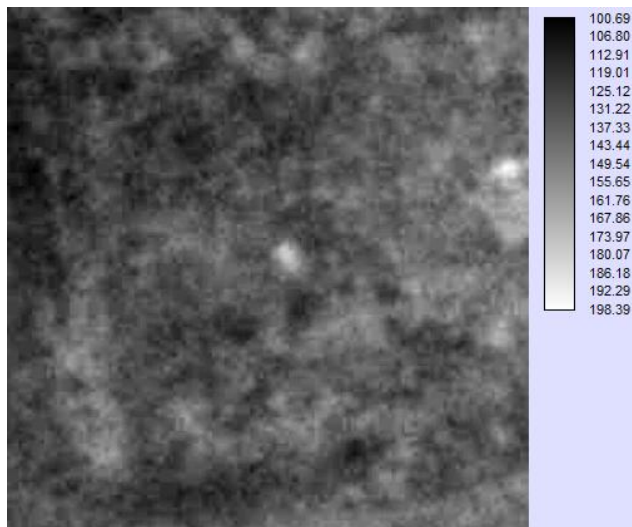
- g) V modulu VegIndex byly s pomocí informací o půdní křivce vypočteny indexy založené na vzdálenosti. Výstupy zobrazují obrázky 23 - 32.



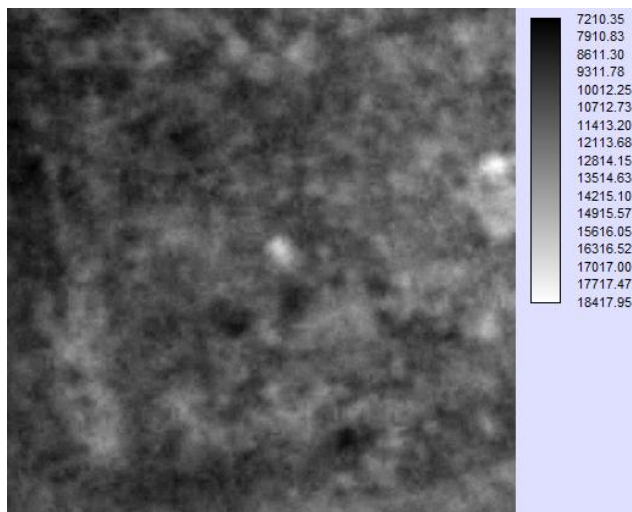
Obr. 23 Index PVI pro červen.



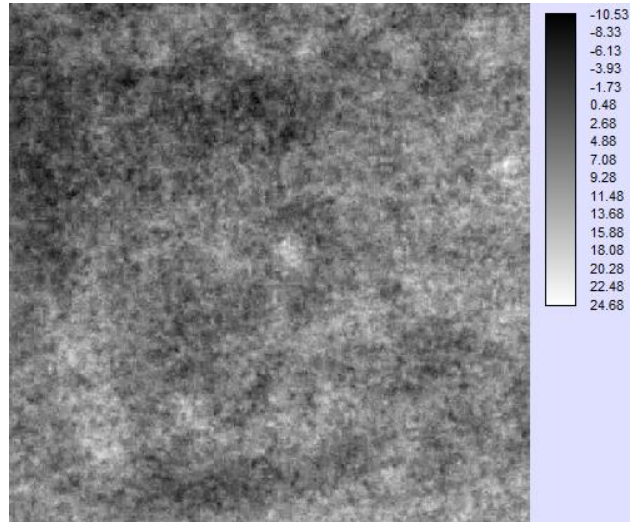
Obr. 24 Index PVI_1 pro červen.



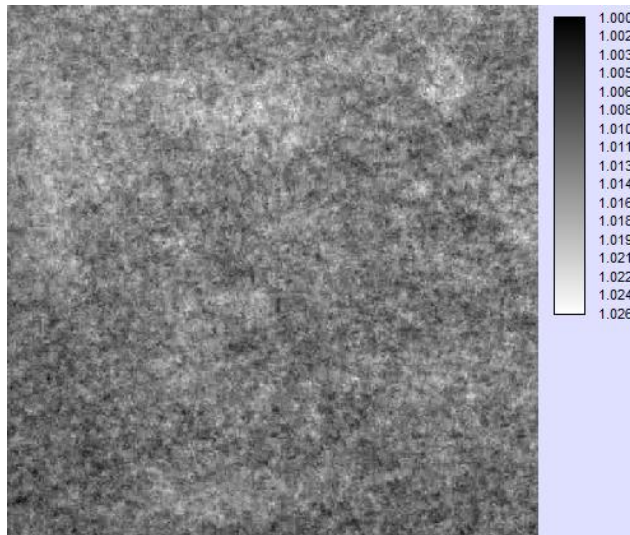
Obr. 25 Index PVI_2 pro červen.



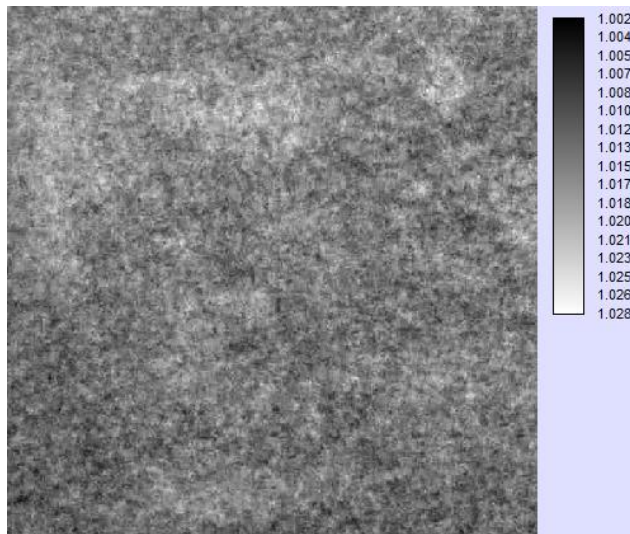
Obr. 26 Index PVI_3 pro červen.



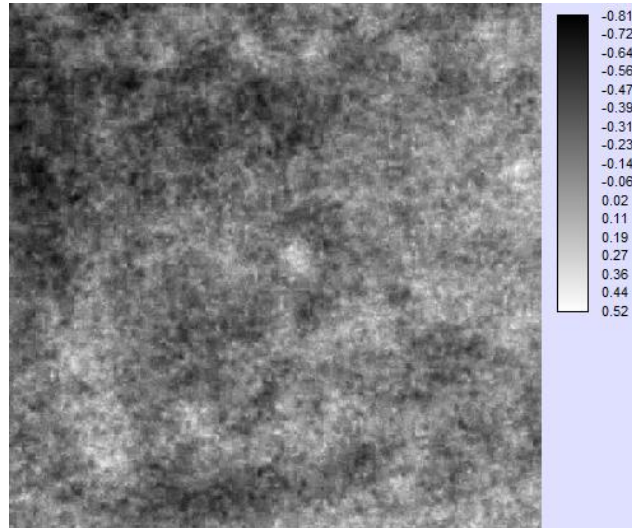
Obr. 27 Index DVI pro červen.



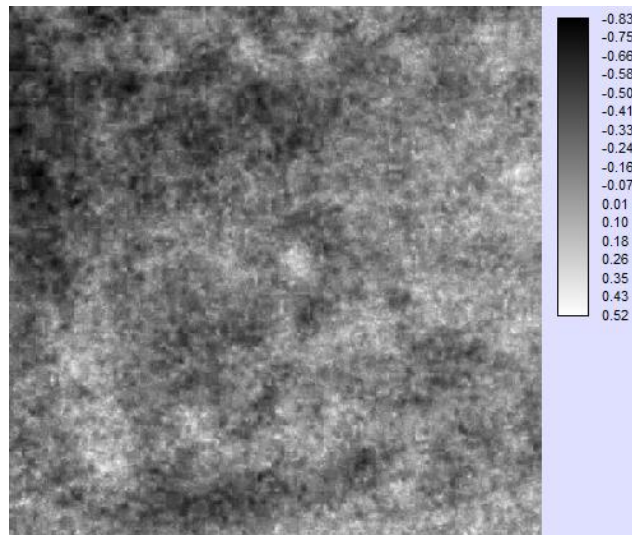
Obr. 28 Index TSAVI₁ pro červen.



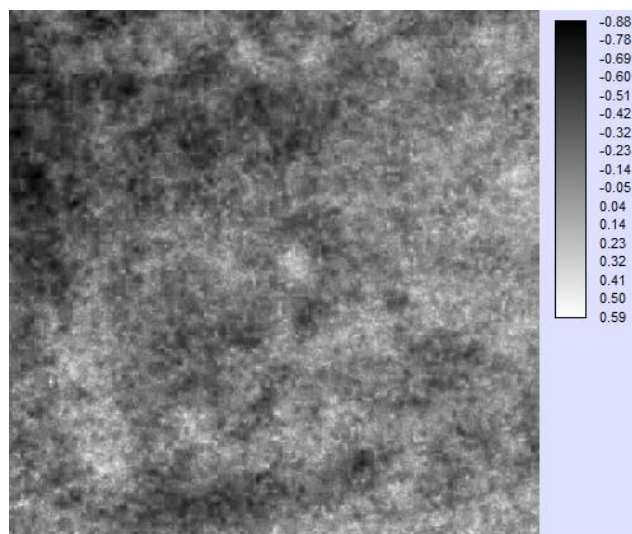
Obr. 29 Index TSAVI₂ pro červen.



Obr. 30 Index SAVI, $L = 1$ pro červen.

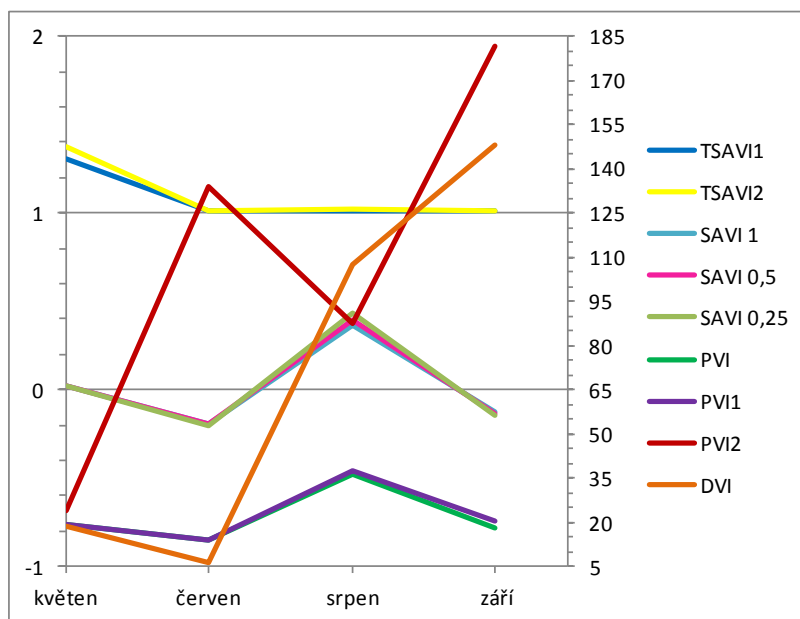


Obr. 31 Index SAVI, $L = 0,5$ pro červen.

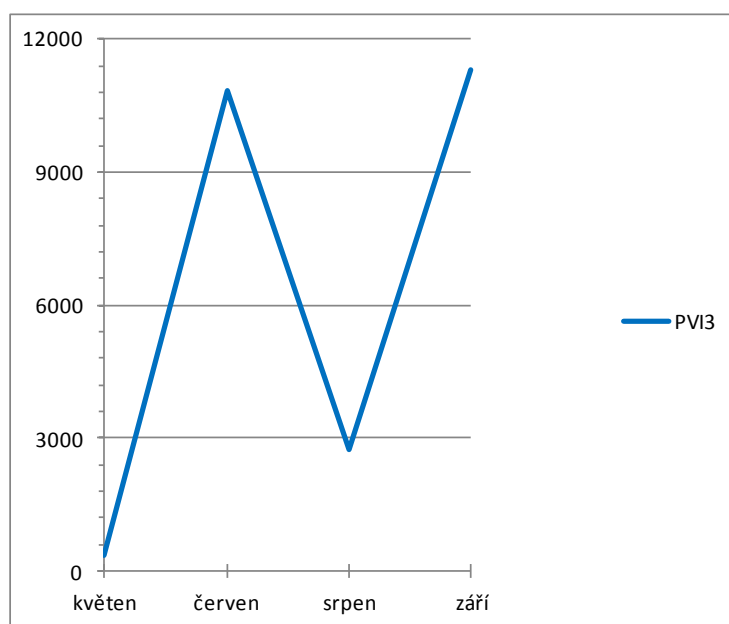


Obr. 32 Index SAVI, $L = 0,25$ pro červen.

Pro předchozí skupinu indexů byly opět vyhotoveny grafy i tabulka přehledně zachycující vývoj průměrných hodnot indexů pro jednotlivé měsíce. Vzhledem k výrazně se lišícím absolutním hodnotám byly vytvořeny grafy dva, z nichž jeden obsahuje dvě stupnice (levá osa - TSAVI₁, TSAVI₂, SAVI indexy; pravá osa - PVI, PVI₁, PVI₂, DVI) a druhý zachycuje pouze hodnoty indexu PVI₃, které byly výrazně vyšší než výsledky ostatních indexů.



Obr. 33 Vývoj průměrných hodnot indexů PVI, PVI₁, PVI₂, DVI, TSAVI₁, TSAVI₂ a SAVI pro L = 1; 0,5; 0,25 v měsících květen, červen, srpen a září.



Obr. 34 Vývoj průměrné hodnoty indexu PVI₃ v měsících květen, červen, srpen a září.

Tab. 8 Průměrné hodnoty indexů PVI, PVI₁, PVI₂, PVI₃, DVI, TSAVI₁ a TSAVI₂ v měsících květen, červen, srpen a září

	květen	červen	srpen	září
PVI	19,017	13,814	36,476	17,927
PVI₁	19,017	13,814	37,470	20,509
PVI₂	23,945	133,686	87,229	181,683
PVI₃	358,432	10839,420	2752,187	11315,890
DVI	18,322	6,030	107,661	147,929
TSAVI₁	1,307	1,013	1,011	1,011
TSAVI₂	1,378	1,015	1,019	1,013
SAVI 1	0,019	-0,190	0,361	-0,127
SAVI 0,5	0,021	-0,197	0,398	-0,136
SAVI 0,25	0,022	-0,204	0,434	-0,145

Index PVI nerozlišuje pixely po pravé a levé straně půdní linie. Vzhledem k tomu, že spektrální odezva vegetace je vyšší pro infračervené pásmo než pro pásmo červené, všechny pixely vegetace spadnou do pravé části půdní linie. Pixely představující jiný povrch můžou být stejně vzdálené od linie, ale ležet na levé straně. Těmto pixelům je přiřazena vysoká hodnota PVI, což negativně ovlivňuje výstupy, neboť není zcela možné jednoduše identifikovat co je vegetace a co není. Tento problém řeší odvozený index PVI₁, který přiřazuje pixelům na levé straně negativní hodnoty. V případě této práce jsou výstupy obou indexů velmi podobné, průměrné hodnoty se liší jen pro měsíce srpen a září. Trend hodnot však neodpovídá skutečnosti, což lze dokázat faktem, že v červnu se na území nacházela hustší vegetace než v srpnu, kdy bylo zájmové území posečeno. Pro výpočty indexů PVI a PVI₁ byly spolu s indexem DVI použity stejné charakteristiky půdní linie. Hodnoty DVI se však liší a zejména v srpnu a září nabývají výrazně vyšších hodnot. Podobně jako PVI se chová index SAVI, pro jehož výpočet se používá půdě přizpůsobený faktor *L*. Faktor *L* pro řídkou vegetaci (1) vykázal nižší hodnoty než *L* pro hustou vegetaci (0,25). Hodnoty jsou však velmi podobné, stejně jako trend, který odpovídá i průběhu hodnot indexu PVI.

Pro výpočty indexů PVI₂, PVI₃, TSAVI₁ a TSAVI₂ byla použita stejná půdní křivka, výstupní hodnoty se však opět různí. TSAVI indexy poskytly podobné výsledky, kdy nejvyšší hodnoty nabyly v květnu. V dalších měsících byly hodnoty nižší a vzájemně téměř stejné. Hodnoty indexů PVI₂ a PVI₃ jsou nejnižší v květnu a nejvyšší v září. Na výstupy všech těchto indexů měla zřejmě velký vliv půdní linie, která však

mohla být vytvořena z nedostatečného souboru půdních pixelů, což zapříčinilo chybu v následujících výpočtech. Pro přesnější interpretaci a potvrzení této hypotézy by však byla potřeba další podpůrná data, která by vyvrátila správnost vypočtených hodnot.

Oproti předchozím poměrovým indexům předvedly tyto indexy velmi rozdílné výsledky. Pokud bychom se zamysleli nad trendy hodnot, které indexy poskytly, a reálnou situací, musíme konstatovat, že většina těchto indexů nereflektuje realitu už jen směrem změn a vývojem hodnot. Nepřesnosti ve výpočtech mohly být způsobeny výběrem půdních pixelů, které bylo v daných snímcích těžké identifikovat. Důvodem také mohl být jejich malý počet. Vzhledem k prostorovému rozlišení snímků je navíc velmi pravděpodobné, že místo nich byly vybrány mixely, které nesly smíšenou informaci a podepsaly se tak na výstupních hodnotách výpočtů. Na závěr lze říct, že výsledky poměrových indexů se jeví jako věrohodnější.

4.3 Detekce změn vegetace v čase (II. případová studie)

Studie zabývající se detekcí změn vegetace v čase je postavena na datech v podobě multispektrálních snímků pořízených kamerou ADC Tetracam v letním období roku 2012. Snímkování probíhalo na soukromém pozemku v městské části Olomouc-Povel.

Tvorba dat byla zahájena 12. července 2012 a ukončena 14. září téhož roku. Celkem bylo vytvořeno sedm sad multispektrálních snímků. Doba snímkování se obvykle pohybovala okolo 30 až 60 minut. Předmětem snímkování byl zemský povrch pokrytý běžným travním porostem a vymezený čtvercem o rozměrech 1,2 x 1,2 m. Nejprve byl vyfotografován teflonový terčik pro pozdější možnost kalibrace. Tvorba snímků probíhala z výšky okolo dvou metrů a přibližně kolmo k zemskému povrchu.

Po tvorbě dat přišla na řadu další fáze, kdy bylo nutné získané multispektrální snímky předzpracovat do takové podoby, aby s nimi bylo možné dále pracovat. Nejprve byl z každé sady snímků vybrán jeden reprezentativní zástupce, který byl v programu PixelWrech2 z původního formátu RAW převeden do formátu TIFF. Pro další práci bylo nezbytné upravit snímky tak, aby byly porovnatelné. V ESRI produktu ArcGIS 10 proto byly provedeny tři kroky. Prvním krokem bylo referencování snímků za pomoci transformace polynomickou rovnicí prvního řádu. Druhý krok spočíval v ořezání snímků

podle plochy vymezené zmiňovaným čtvercem nástrojem Clip v nabídce Raster Processing. Posledním krokem bylo převzorkování, pro které byla zvolena metoda nejbližšího souseda. Při převzorkování bylo nutné nastavit pro všechny snímky stejnou velikost pixelu.



Obr. 35 Prostor vymezený pro snímkování kamerou ADC Tetracam.

Jakmile bylo dokončeno předzpracování snímků, přešlo se k samotnému zpracování. Prvním krokem byl výpočet indexu NDVI v programu IDRISI Selva získaném z webových stránek Clark Labs, 2012 ve formě 30ti-denní zkušební verze. Snímek vegetace byl vždy nejdříve kalibrován nástrojem Calibrate pomocí snímku teflonového terčíku pořízeného v době snímkování. V programu byla vytvořena maska určující plochu terčíku, která posloužila jako referenční obraz. Poté již bylo možné nástrojem VegIndex spustit výpočet indexu NDVI.

Cílem následujícího pracovního postupu je zkoumání environmentálních změn, které lze analyzovat za pomoci srovnávání obrazových dat. Pro práci byl zvolen software IDRISI Selva. Program obsahuje vhodné nástroje pro zpracování dat v podobě párů či skupin multispektrálních snímků, které zahrnují techniky obrazových rozdílů, prahování a obrazové regrese.

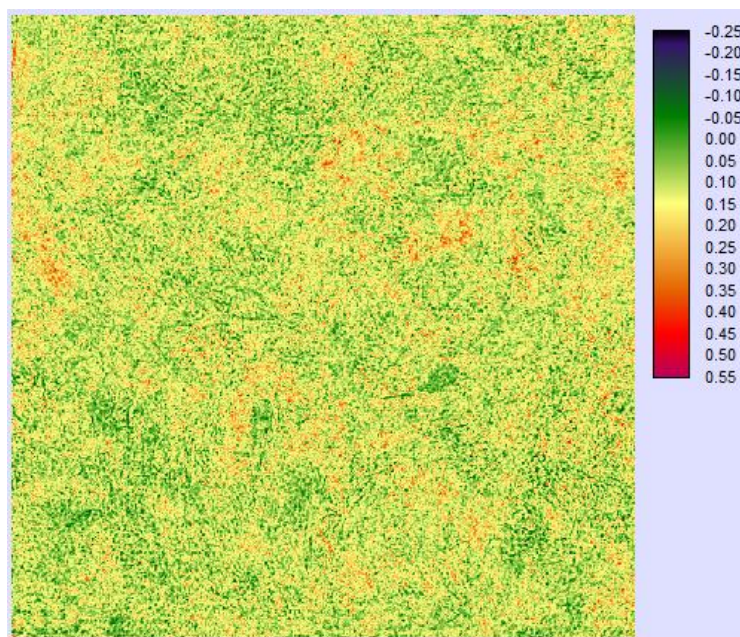
Obrazové rozdíly

První technika zkoumá kvantitativní rozdíly v rozložení vegetace na snímcích travního porostu vždy ve dvou po sobě jdoucích datech snímkování. Pro ilustraci následujících kroků byly zvoleny NDVI snímky zachycující první (označeno 0712) a poslední (označeno 0914) snímkování. Nicméně postupy byly aplikovány na všechny dvojice po sobě jdoucích snímků. Kompletní výstupy lze nalézt v příloze na DVD. Cílem procedury je zjistit, zda nastala mezi dvěma danými daty významná změna ve vegetaci a pokud ano, určit kde se tomu tak stalo.

- a) Po otevření IDRISI bylo nejprve nutné nastavit pracovní adresář.
- b) IDRISI pracuje s vlastními formáty, proto byly NDVI snímky převedeny nástrojem GEOTIFF/Tiff to Idrisi do formátu .RST.
- c) Poté už bylo možné odečtením snímku 0712 od snímku 0914 vytvořit jednoduchý rozdílový obraz k jejich srovnání. Toho bylo dosaženo nástrojem Image Calculator, který umožňuje použít celé snímky jako argumenty v matematických rovnicích. Operace se provádí mezi korespondujícími pixely vstupních snímků.

$$\text{diff0914_0712} = 0914 - 0712$$

Negativní hodnoty výstupu představují záporné změny, tedy nižší NDVI a z toho vyplývající úbytek (může být i seschnutí apod.). Průměr má v tomto případě hodnotu 0,117, což potvrzuje celkovou kladnou změnu mezi dvěma daty. Při práci s rozdílovým obrazem lze narazit na problém, kdy nelze rozeznat skutečné změny od náhodných. To se obvykle řeší procesem prahování, které je provedeno v dalším kroku.



Obr. 36 Rozdíl obrazů snímků 0712 a 0914.

Prahování

Prahování se snaží o zavedení horní a dolní hranice normálního rozdělení, mimo které jsou projevené změny považovány za správné. Ke stanovení prahových mezí je obvykle zapotřebí histogram.

- d) K zobrazení histogramu slouží modul Histo, který byl pro účely práce nastaven následovně:

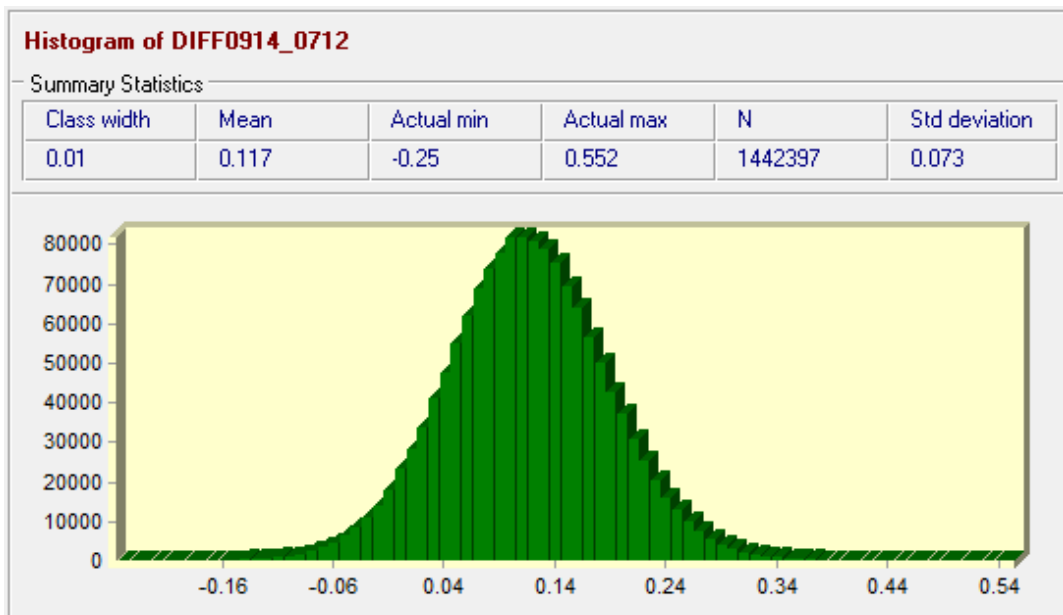
Input file name: diff0914_0712

Class width: 0,01

Minimum value for display: -1

Maximum value for display: 1

Minimální a maximální hodnoty pro zobrazení byly zvoleny na základě intervalu hodnot, kterých nabývá NDVI (-1 až 1). Výstup lze vidět na obrázku 37.



Obr. 37 Histogram rozdílu obrazů diff0914_0712.

Dále je třeba znát směrodatnou odchylku (značí se řeckým písmenem sigma - σ), která určuje stupeň variability v datech a může být použita v případě, že má histogram normální rozdělení. Pokud je tomu tak, směrodatná odchylka měří charakteristický rozptyl hodnot od průměru a může být využita k hodnocení pravděpodobnosti, s jakou jsou očekávány určité rozdíly od průměru. Průměr a směrodatná odchylka tak mohou být užity k izolaci neobvyklých změn.

e) Prahové hodnoty se spočítají podle těchto vzorců:

$$\text{Dolní mez} = \text{Průměr} - 3 * \sigma$$

$$\text{Horní mez} = \text{Průměr} + 3 * \sigma$$

V tomto případě bude tedy výpočet vypadat takto:

$$\text{Dolní mez} = 0,117 - 3 * 0,073$$

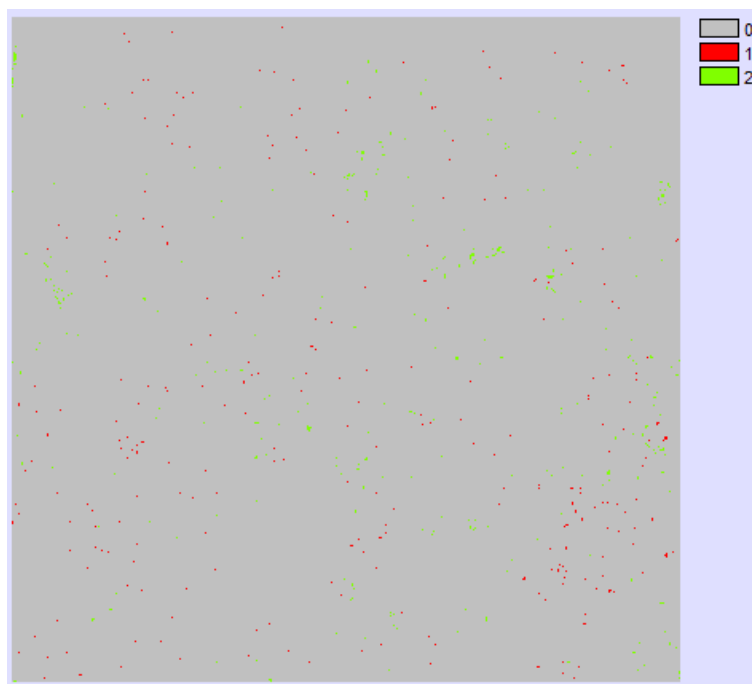
$$\text{Horní mez} = 0,117 + 3 * 0,073$$

f) Pro tvorbu prahových obrazů slouží nástroj Reclass, který třídí obrazové prvky podle předdefinovaného nastavení. V tomto případě byly stanoveny tři třídy s následujícím nastavením vycházejícím z předchozích výpočtů:

Přiřadit novou hodnotu	Všem hodnotám od	Do méně než
1	-0.250	-0.102
0	-0.102	0.336
2	0.336	0.552

Výstupní snímek se automaticky zobrazil v kvalitativní paletě, kde hodnota 0 znamená žádnou významnou změnu v obrazu, hodnota 1 změnu negativní a hodnota 2 změnu pozitivní. Jak lze vidět z obrázku 38, hodnota NDVI zůstala na většině zájmové plochy stejná. Nebyly zde zjištěny žádné významné negativní a pozitivní změny.

Je třeba poznamenat, že zaznamenané změny NDVI nemusely nutně odpovídat skutečné situaci, neboť vzniklé rozdíly mohou být i důsledkem různých vlivů, jako jsou například atmosférické podmínky, rozdíly v osvětlení či odchylky senzoru. Tyto efekty mohou následně vést k nesrovnatelnostem v datových hodnotách. V dalším kroku bude vyzkoušen postup, který by měl zmíněné vlivy kompenzovat.



Obr. 38 Výsledek reklasifikace rozdílu obrazů diff0914_0712.

Obrazová regrese

Obrazová regrese je procedura, s jejíž pomocí lze opravit změny v průměru a variabilitě. Regrese se používá k určení závislosti veličin. Jednoduchou lineární regresi umožňuje nástroj Regress, který zjišťuje vztah mezi daty dvou obrazů. V obrazové regresi se předpokládá, že mladší snímek je funkcí staršího snímku, první snímek je proto nezávislou proměnnou a druhý snímek proměnnou závislou. Nástroj Regress počítá lineární vztah mezi dvěma snímky a vykresluje graf s hodnotami jednotlivých pixelů za využití dvou dat snímkování jako os X a Y.

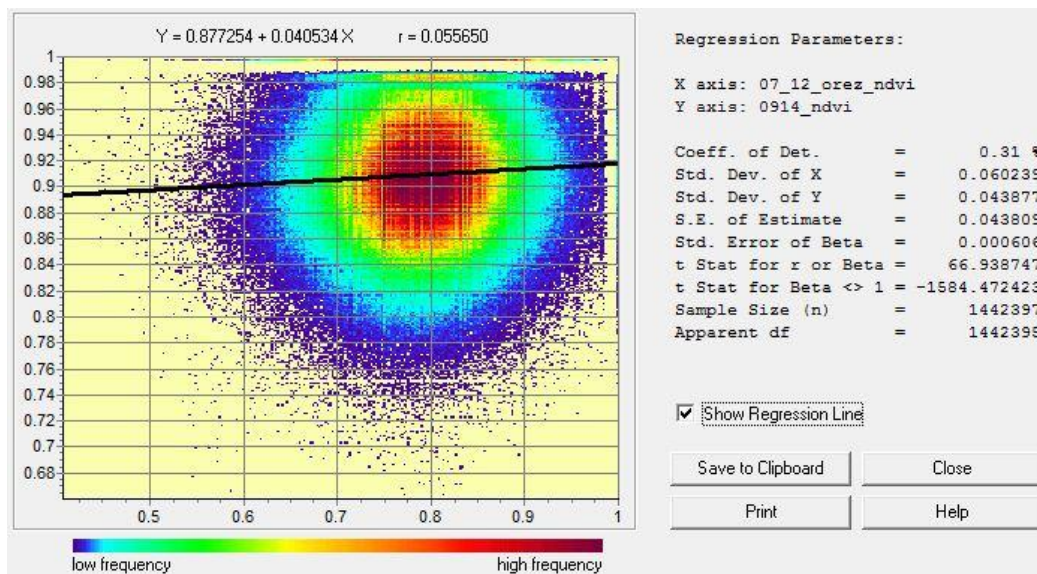
- g) Pro výpočet obrazové regrese byly použity snímky 0712 a 0914, kde obraz 0712 představoval nezávislou proměnnou a obraz 0914 závislou proměnnou. Výsledek regrese ukázal četnost pixelů v bodovém grafu a regresní přímku, která nejlépe vystihuje závislost snímků (obrázek 39). Rovnice této přímky vypadá následovně:

$$Y = 0,877254 + 0,040534 X,$$

přičemž korelační koeficient

$$r = 0,055650.$$

Korelační koeficient určuje determinační koeficient, který uvádí, že pouze necelých 0,31 % variability mladšího snímku může být vysvětleno variabilitou snímku staršího. Sklon rovnice je 0,040534, což je velmi málo a poukazuje to na fakt, že ve variabilitě od jednoho data k druhému došlo jen k velmi malé kladné změně.



Obr. 39 Obrazová regrese obrazů 0712 a 0914.

Obrazová regrese je velmi efektivní nástroj, kterým lze obejít efekty „posunu a přírůstku“ mezi obrazy. Tyto efekty jsou způsobeny odlišnostmi ve snímacích pořízeních během jednotlivých snímkování. Posun znamená posunutí průměru, zatímco přírůstek odkazuje na sklon, který se výrazně liší od 1, což způsobuje stav, kdy jsou hodnoty, které by měly být shodné, rozdílné.

Celkově vzato byly detekcí zjištěny jen malé změny hodnot NDVI, výrazně však převládal stav beze změny. Vzhledem k povaze dat se dal tento výsledek očekávat, neboť celé zájmové území bylo od počátku do konce pokryto vegetací a bez jakýchkoliv vnějších zásahů. Použité metody se však dají aplikovat i na data zachycující mnohem větší území s různým typem povrchu, kde je možné v dlouhodobém měřítku odhalit razantnější změny. Nakonec je třeba obecně podotknout, že na zaznamenané přechody můžou mít podstatný vliv podmínky během snímání nebo chyby na straně kamery, která nepracovala v dobách dvou po sobě jdoucích měření naprosto stejně.

5 VÝSLEDKY

Výsledky praktického řešení práce se dají rozdělit na tři části, které jsou popsány v následujícím textu. Jedná se o testování kalibrace, výpočet vegetačních indexů a detekce změn vegetace v čase.

Testování kalibrace přineslo velké množství výstupů z jednotlivých kalibrovaných i nekalibrovaných výpočtů. Všechny hodnoty pro větší přehlednost zachycují výše uvedené tabulky. Při studiu těchto hodnot se zjišťoval zejména vliv použití různých snímků zachycujících teflonové terčíky a vliv výběru kalibrační plochy z těchto snímků, a to na základě porovnání s údaji naměřenými přístrojem PlantPen NDVI 300.

Bylo zjištěno, že testované snímky teflonových terčků poskytly velmi podobné výsledky ve výpočtech indexu NDVI. Rovněž výsledky pro různě vybrané plošky se příliš nelišily. Směrodatná odchylka pro průměrné hodnoty jednotlivých snímků se pohybovala nejvýše okolo 1 %. Všechny terčíky tudíž byly shledány jako vhodné pro kalibraci snímků a přesto, že byly zachyceny na různých površích nebo se na nich projevil stín, neměly tyto faktory větší význam pro další zpracování.

Porovnávání kalibrovaných i nekalibrovaných (1:1) výstupních hodnot s hodnotami naměřenými přístrojem je diskutabilní. V některých případech jsou si hodnoty podobné více, v jiných méně. Hodnoty naměřené přístrojem, který je k tomuto účelu zkonstruován a zkalibrován, by měly být velmi přesné. Nevýhodou je to, že měření je pouze bodové (rozlišení cca 25 mm²) a výsledky pro jednotlivé čtverce jsou představovány průměrem jen několika mála měření listů různých druhů rostlin, zatímco výpočty s pomocí multispektrálních snímků přináší hodnotu za celou plochu čtverce. Tyto hodnoty se pak logicky můžou do jisté míry lišit a je třeba brát na tento fakt ohled. Zatímco v některém případě k sobě měly blíže přístrojová hodnota s hodnotou bez kalibrace, jindy tomu bylo naopak nebo byly rozdíly hodnot s/bez kalibrace od hodnot přístrojových zhruba stejně vzdálené. Nebyl zde tedy vysledován žádný jednotný trend, který by poukazoval na to, které z hodnot nejdříve zachytily skutečnost.

Výpočty kalibrované poměrem 1:1, pro účely práce značeny jako nekalibrované, jsou ve všech případech vyšší než výpočty přístrojové a dá se tedy usuzovat, že jsou mírně nadhodnocené. I tady však platí upozornění z předchozího odstavce.

I. případová studie se zabývala výpočty vegetačních indexů. Celý proces byl podrobně popsán. Výstupy práce představují vypočtené hodnoty ve formě obrázků, grafů a tabulek. V následujícím textu se nachází celkové zhodnocení dvou skupin ukazatelů, a to indexů založených na sklonu (poměrové VI) a na vzdálenosti.

Dle poměrového indexu RATIO bylo v zájmovém území nejvíce vegetace v červnovém datu, nejméně pak v srpnu, kdy byl tamní porost posečen. RATIO může v případě řídkého porostu chybovat. Tento nedostatek řeší index NDVI, jehož výsledné hodnoty rovněž dosáhly maxima v červnu a minima v září. Poměrové indexy TVI, CTVI a TTVI představují modifikaci NDVI pro získání lepších výsledků. Jejich výpočty poskytly naprosto shodné výsledky, které se od hodnot NDVI lišily. Trend změn zůstal stejný, jen s menšími výkyvy. Tyto indexy oproti indexům předchozím ukazují na menší změny ve vegetaci v jednotlivých datech, nicméně směr změn byl shodný. Index RVI je obrácenou rovnicí indexu RATIO, index NRVI jeho normalizovanou formou. Hodnoty těchto dvou indexů ukázaly opačný průběh, než tomu bylo u NDVI, což bylo dáno podobou rovnic, kde jsou odrazivosti NIR a RED obráceny. Význam zde však zůstal stejný.

Indexy založené na vzdálenosti pro výpočet vyžadovaly údaje o půdní linii. Jejich výstupy pak představily podstatně rozdílnější výsledky. PVI a PVI₁ poskytly podobné hodnoty, jejich trend však neodpovídal předchozím indexům, ani skutečnosti. Průměrné hodnoty v červnu byly nižší než v srpnu, kdy byla vegetace na zájmovém území posečena. Stejně charakteristiky půdní linie jako u těchto dvou indexů byly použity ještě pro index DVI, výstupy se však lišily a ani zde příliš nereflektovaly skutečnou situaci. Z indexu PVI vychází index SAVI, který k výpočtu používá hodnotu půdě přizpůsobeného L faktoru. Vyzkoušeny byly tři nastavení - pro nízkou a řídkou vegetaci (1), střední vegetaci (0,5) a vysokou a hustou vegetaci (0,25). Trend výstupních hodnot odpovídal trendu PVI. Hodnoty si byly vzájemně podobné, pro hustší vegetaci byly mírně vyšší než pro vegetaci střední a nižší. Jiná půdní křivka byla použita pro výpočty indexů PVI₂, PVI₃, TSAVI₁ a TSAVI₂. Výstupní hodnoty se i zde různily. TSAVI indexy dosáhly vzájemně podobných výsledků, kdy maximálních hodnot nabyly v květnu. V ostatních měsících byly hodnoty nižší a téměř shodné. Hodnoty indexů PVI₂ a PVI₃ se od ostatních také velmi lišily, a to tak, že nejnižší byly v květnu a nejvyšší v září.

Značné rozdíly ve výsledcích druhé skupiny indexů zřejmě ovlivnila půdní linie, která mohla být vytvořena z nevhodného souboru půdních pixelů. Tyto nedostatky by se pak odrazily na výstupech. Trendy hodnot ukazatelů založených na vzdálenosti se spíše

neshodovaly s reálnou situací. Na závěr lze proto říct, že výstupy poměrových indexů byly považovány za věrohodnější.

Výsledky výpočtů vegetačních indexů poskytly důležité informace o stavu vegetace v různých letních měsících. Zjištěny byly velikosti a směry změn, které umožnily sledovat relativní vývoj rostlinného krytu. Pro lokalitu ve Vysokém Poli se bohužel nepodařilo získat ručně naměřené hodnoty, které by umožnily říct, které vegetační indexy nejpřesněji reflektovaly reálný stav vegetace v absolutním měřítku.

II. případovou studii představoval proces detekce změn vegetace v čase, během něhož byla vyzkoušena metoda obrazových rozdílů, která poskytla obrazové výstupy, na nichž lze vidět změny dvou po sobě jdoucích snímků. Postup byl proveden na základě dvojice sestavených ze sedmi multispektrálních fotografií. Jako ilustrativní příklad sloužila dvojice prvního a posledního snímku. Pozitivní hodnoty výstupů zde znamenaly kladnou změnu, tedy vyšší NDVI a příbytek vegetace. U negativních hodnot tomu bylo naopak. Průměrná hodnota výstupu se rovnala 0,117, což značilo mírný nárůst NDVI a větší množství vegetace v pozdějším zářijovém termínu.

Je možné, že zjištěné změny zahrnovaly nejen ty skutečné, ale i náhodné. Pro jejich eliminaci byla použita metoda prahování, která vymezuje oblast správně určených změn. Výsledný prahovaný obraz odhalil ve dvojici snímků jen velmi malé kladné a záporné změny, většina plochy představovala stav beze změny.

Poslední vyzkoušenou metodou byla procedura obrazové regrese, která se používá k určování závislosti veličin. Výstupem byla rovnice s korelačním koeficientem a sklonem, které určily, že variabilita dat obou snímků se příliš nelišila a nedošlo tudíž k významné změně. Všechny vyzkoušené metody tedy vyprodukovaly stejné poznatky, a to mírnou kladnou změnu mezi dvojicí snímků. Tyto postupy lze uplatnit na různé sady dat, je však nutné brát v úvahu vlivy vnějších podmínek během snímkování nebo nedostatků použité kamery, která by v dobách dvou po sobě jdoucích měření nepracovala naprosto stejně.

6 DISKUZE

Během práce nastalo několik okamžiků, kdy mohlo dojít k mylným či nepřesným závěrům. Při testování kalibrace byly porovnávány kalibrované i nekalibrované hodnoty indexu NDVI s hodnotami naměřenými ručním zkalibrovaným přístrojem PlantPen NDVI 300. Ačkoliv všechny hodnoty byly zjištěny na základě správně provedených postupů, nebylo zcela možné přesně rozhodnout, které z hodnot se nejvíce blíží realitě. Zatímco přístrojové výsledky pro jednotlivé čtverce byly dány průměrem jen několika mála měření listů různých druhů rostlin na ploše velké asi 25 mm², snímkové hodnoty reprezentovaly celý čtverec, takže se pochopitelně lišily. Otázkou zůstalo, zda by se průměrná hodnota většího počtu přístrojového měření pokrývající celý čtverec shodovala s průměrnou snímkovou hodnotou.

V I. případové studii byly počítány vegetační indexy. Indexy založené na vzdálenosti detekují přítomnost vegetace měřením rozdílu odrazivosti pixelu vegetace od odrazivosti holé půdy. Pro jejich výpočet je potřeba znát charakteristiky půdní křivky, které mají zásadní vliv na výsledky. Jejich hodnoty lze získat metodou lineární regrese, do které vstupuje vzorový soubor pixelů holé půdy identifikovaných na snímku. Může se však stát, že reprezentativní pixely jsou zaměněny za jiný povrch nebo je jich příliš málo, než aby podaly přesné výsledky. Takovýto nedostatečný soubor může zapříčinit chybu v dalších výpočtech. Je možné, že chyba nastala i v této práci, neboť vzhledem k povaze snímků byly pravděpodobně do souboru vybrány mixely, které nesly smíšenou informaci a ovlivnily tak výstupní hodnoty výpočtů. Indexy založené na vzdálenosti opravdu poskytly různé výsledky, které bylo těžší interpretovat než výsledky indexů poměrových. Snadněji interpretovatelné poměrové indexy lépe odrazily skutečnost a pro daná data se jeví jako vhodnější volba.

II. případová studie zahrnovala proces detekce změn vegetace v čase s využitím technik obrazových rozdílů, prahování a obrazové regrese. Celý postup byl proveden bez komplikací. Ačkoliv se jednalo zejména o ilustraci procesu detekce změn, bylo by vhodnější použít obrazy zachycující větší území s různými druhy povrchu v delším časovém období, které by umožnily zaznamenat výraznější změny a lépe rozeznat skutečné změny od náhodných.

7 ZÁVĚR

Cílem magisterské práce byl podrobný popis možností využití multispektrální kamery ADC Tetracam při monitorování vegetačních příznaků. Část tohoto cíle byla naplněna v teoretickém oddílu, tzn. v kapitole s názvem *Současný stav řešené problematiky*, která se zabývá obecnými principy a souvislostmi fungování multispektrální kamery, zejména pro studium vegetace. Kapitola dále obsahuje popis skupin vegetačních indexů i jejich konkrétních zástupců. Nachází se zde několik praktických příkladů využití multispektrálního snímkování a výpočtu vegetačních indexů.

Mezi cíle praktické části patřilo seznámení se s fungováním multispektrální kamery ADC Tetracam, včetně její kalibrace a nejméně dvě případové studie. Vypracování praktické části vyžadovalo tvorbu dat v podobě multispektrálních snímků s pomocí multispektrální kamery ADC, jejich následné předzpracování i využití pro studie, jimiž byly výpočet vegetačních indexů a detekce změn vegetace v čase. Celý pracovní proces byl podrobně popsán v kapitole *Vlastní řešení*. Všechny výsledky dosažené v této části jsou pak obsaženy v kapitole *Výsledky*.

Celý pracovní proces zahrnoval nespočet kroků a překážek, které musely být překonány. Práce na více než šedesáti stranách představuje a popisuje celé tvůrčí úsilí, které zahrnovalo několik měsíců práce. Největší snahou bylo naplnit zadané cíle, což se nakonec podařilo.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

A FAQ on Vegetation in Remote Sensing. *Yale University* [online]. 2013 [cit. 2013-08-11]. Dostupné z: www.yale.edu/ceo/Documentation/rsvegfaq.html.

AMRI, ZRIBI, LILI-CHABAANE, DUCHEMIN, GRUHIER a CHEHBOUNI. Analysis of Vegetation Behavior in a North African Semi-Arid Region, Using SPOT-VEGETATION NDVI Data. *Remote sensing*. 2011, č. 3. ISSN 2072-4292.

ASTM G173. *ASTM International - Standards Worldwide* [online]. 2013 [cit. 2013-08-07]. Dostupné z: <http://www.astm.org/Standards/G173.htm>.

DOBROVOLNÝ, Petr. *Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu*. Vyd. 1. Brno: Masarykova univerzita, 1998. 210 s. ISBN 80-210-1812-7.

Dycam [online]. 2013 [cit. 2013-08-06]. Dostupné z: <http://www.dycam.com/>.

EASTMAN, J. Ronald. *IDRISI Selva Manual*. Clark University, 2012, 322 s.

EASTMAN, J. Ronald. *IDRISI Selva Tutorial*. Clark University, 2012, 354 s.

ENVI User's Guide - Vegetation Indices. *Vizuális Információ* [online]. 12. 8. 2005 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: http://geol.hu/data/online_help/Vegetation_Indices.html.

FluxData [online]. 2013 [cit. 2013-08-06]. Dostupné z: <http://www.fluxdata.com/>.

HRDINA, Pavel. *Analýza sezónních změn vegetace kvantifikováním vegetačního charakteru krajiny*. Ostrava: VŠB Technická univerzita Ostrava, 2006.

JOSHI, Prem Chandra. Performance evaluation of vegetation indices using remotely sensed data. *International Journal of Geomatics and Geosciences*. 2011, vol. 2, no. 1. ISSN 0976-4380.

LOBO, ERSOY a MILES. Multispectral Imaging, Image-Processing and classification for Agriculture. *ECE Technical Reports*. Paper 20. 2000.

Mapování vegetace s využitím družicových snímků. *Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita* [online]. 2001 [cit. 2013-08-07]. Dostupné z: http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html.

PixelTeq [online]. 2013 [cit. 2013-08-06]. Dostupné z: <http://www.pixelteq.com/>.

TETRACAM INC. *Agricultural Digital Camera User's Guide*. 2011, 42 s.

Tetracam Products. *Tetracam* [online]. 2011 [cit. 2013-08-06]. Dostupné z: <http://www.tetracam.com/Products1.htm>.

Tetracam - The Company. *Tetracam* [online]. 2011 [cit. 2013-08-06]. Dostupné z: <http://www.tetracam.com/Company.htm>.

VERAVERBEKE, GITAS, POLYCHRONAKI a SOMERS. Assessing post-fire vegetation recovery using red–near infrared vegetation indices: Accounting for background and vegetation variability. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2012, roč. 68.

ZHAO, LI a QI. Identification of red and NIR spectral regions and vegetative indices for discrimination of cotton nitrogen stress and growth stage. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2005, roč. 48, č. 2.

SUMMARY

The main goal of the master thesis was to describe in detail the possibility of using the multispectral camera ADC Tetracam for a vegetation indices monitoring. Part of this goal was fulfilled in the theoretical section, which deals with the general principles and functioning context of multispectral camera, especially for the study of vegetation. Chapter also contains a description of the categories of vegetation indices and their particular representatives. There are also some practical examples of the use of multispectral imaging and vegetation indices calculations.

The objectives of the practical part were the familiarization with the operation of ADC multispectral camera, including its calibration and at least two case studies. Elaborating of practical part required data creation by using ADC camera. There were created multispectral images which were then preprocessed and used for the case studies (calibration, calculation of vegetation indices and change detection in vegetation over time).

As a result of calibration, all calibration targets were found to be suitable despite the fact that they were captured on different surfaces or reflected shadow. Comparison of calibrated and uncalibrated (1:1) output values with the values measured by PlantPen NDVI 300 device is debatable. In some cases, the values are more similar, in others less. While in some situations the device values are closer to the values without calibration, another time it is the other way or the differences between the values with/without calibration and device values are roughly equidistant. Therefore there was retraced no single trend, which pointed out what values best captured reality.

The calculation results of vegetation indices provided the important information about the condition of vegetation in during the summer. There were detected magnitude and direction of changes that permit monitoring of relative development in plant cover. Significant differences in the values of distance based indices were influenced by the characteristics of the soil line. Trends of their results are not match the real situation. Finally, it can be said that the outputs of ratio indices were considered more credible.

The process of change detection in vegetation over time provided the image outputs, in which can be seen the changes of two consecutive images. There were tried out the methods of image differences, thresholding and image regression. All tested

methods for illustrative example produced the same findings - a slight positive change between two images.

The whole working process involved great number of steps and obstacles that had to be overcome. Thesis in more than sixty pages presents and describes the creative effort that included several months of work. The biggest goal was to fulfill the desired objective, which eventually succeeded.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Volné přílohy

Příloha 1 DVD – adresáře:

Metadata

Text_Prace

Vstupni_Data

Vystupni_Data

WEB