

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**  
**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**  
KATEDRA GEOINFORMATIKY



Martina HOVORKOVÁ

**ANALÝZY VLHKOSTNÍCH PARAMETRŮ A  
BIOMASY VEGETAČNÍHO KRYTU POMOCÍ METOD  
DPZ**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Miloslav JANČÍK

Olomouc 2009

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci řešila sama, a že jsem uvedla veškeré použité podklady.

V Olomouci, 5. května 2009

.....

Podpis

Ráda bych na tomto místě poděkovala Mgr. Miloslavu Jančíkovi za odborné vedení diplomové práce a RNDr. Vilému Pechancovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky.

Zadání

# Obsah

Obsah .....	5
Úvod.....	6
1. Cíle.....	7
2. Vegetační kryt.....	8
2.1 Vlhkost vegetace.....	8
2.2 Biomasa .....	9
2.3 Detekce pomocí DPZ.....	10
3. Metody .....	13
3.1 Spektrální indexy .....	13
3.1.1 Poměrové indexy .....	13
3.1.2 Vzdálenostní indexy .....	17
3.1.3 Ortogonální transformace .....	18
3.2 Fuzzy klasifikace .....	19
4. Vlastní zpracování .....	21
4.1 Zájmové území .....	21
4.2 Vstupní data .....	22
4.2.1 Landsat.....	23
4.2.2 Použitý software .....	24
4.2.3 ERDAS IMAGINE.....	25
4.2.3.1 Model Maker.....	25
4.2.4 Předpracování .....	26
4.3 Modelování .....	27
4.3.1 Spektrální indexy .....	27
4.3.2 Relativní vlhkost a biomasa.....	32
4.4 Odhad množství biomasy.....	35
4.4.1 Stanovení biomasy .....	35
4.4.2 Klasifikace snímku .....	38
4.5 Vývoj vlhkosti a biomasy .....	40
4.6 Závislost mezi vlhkostí a biomasou.....	41
4.7 Vizualizace.....	42
5. Výsledky .....	43
6. Diskuze .....	44
7. Závěr .....	45
8. Summary.....	46
Použitá literatura .....	47
Seznam příloh .....	50

# Úvod

Vegetační kryt je nedílnou součástí naší krajiny. Monitorování a následné analýzy vegetace tvoří významnou roli pro hodnocení stavu, vývoje a vůbec pro pochopení úlohy vegetačního krytu v rámci celého ekosystému Země.

Jednou z možností studia této problematiky je použití metod DPZ (dálkového průzkumu Země). Vegetační kryt je často prvním povrchem, který odráží energii využívanou touto metodou. Pomocí ní lze získat ucelené informace jak v lokálním, tak v globálním měřítku.

Tato práce se zabývá studiem dvou klíčových charakteristik vegetačního krytu, vlhkostí a množstvím nadzemní biomasy.

# 1. Cíle

Cílem diplomové práce je poskytnout přehled o analýzách vlhkostních parametrů a biomasy vegetačního krytu pomocí metod dálkového průzkumu Země. V případě analýzy vlhkosti jde o klasifikaci vlhkosti vegetace a v případě analýzy biomasy o klasifikaci a odhad množství nadzemní biomasy. Součástí práce je realizace těchto analýz na zájmovém území.

## 2. Vegetační kryt

Vegetační kryt je důležitou součástí zemského povrchu a podílí se na utváření a fungování celého ekosystému Země. Můžeme ho popsat nejrůznějšími charakteristikami – typem, složením, stavem, výškou, plochou, věkem apod.

Z hlediska studia vegetace lze podle Dobrovolného (1998) metody DPZ využít v celé řadě aplikací. Obecně jde o mapování druhů vegetace, odhad množství zelené biomasy, zjišťování vodního obsahu v listech, mapování zdravotního stavu rostlin nebo monitorování průběhu fenofází (fenologie). V zemědělství to mohou být například kvantitativní odhady výměry ploch zemědělských plodin, monitorování aktuálního stavu vegetace a zemědělských plodin, modely předpovědi výnosu vybraných plodin nebo odhady jejich celkové produkce. V lesnictví se často používají při zjišťování lesnické statistiky (plocha, typ, třída, druh, věkové složení, objem dřevní hmoty, zdravotní stav), monitorování procesů zalesňování, mapování lesních ekosystémů nebo při modelování procesů v lesních ekosystémech (změny ve struktuře a dynamika změn, stupeň ohrožení).

Tato práce se zabývá studiem vegetace z pohledu vlhkosti a biomasy. Je zaměřena na jejich projev na satelitních snímcích, možnost klasifikace, zjištění vývoje a závislosti mezi nimi.

### 2.1 Vlhkost vegetace

Vlhkost vegetace je dána obsahem vody v jednotlivých vegetačních druzích. Průměrný obsah se pohybuje průměrně okolo 60%. Konkrétně u obilovin je to 12-14%, u dřevin 40% a u vodních rostlin až 90%. Obsah vody se ale během roku mění (nejvíce vody rostliny obsahují ve vegetačním období), mění se i během života rostliny (stářím se obsah vody zmenšuje), a důležitá je samotná dostupnost vody. Celkový obsah vody je výsledkem schopnosti rostlin vodu přijímat a současně vydávat.

Pokud je příjem a výdej vody vyrovnaný, vodní bilance rostlin je v tzv. rovnovážném stavu. Často ale dochází k jeho porušení, a to na straně výdeje složky. Nadměrný výpar vede k vytvoření vodního deficitu, což je množství vody chybějící rostlině k jejímu plnému nasycení. V důsledku toho dochází k vadnutí rostliny.



Přechodný vodní deficit se vyskytuje v poledne za slunných dní a v noci se pak vyrovnává.

U rostlin s nízkou schopností regulace vodního provozu velmi silně kolísá obsah vody podle vlhkosti okolí, střídání sucha a vlhka. To je případ např. nižších rostlin, lišejníků nebo mechů. Množství vydané vody jednotkou listové plochy za jednotku času se nazývá intenzita transpirace. Mění se během dne (nejvyšších hodnot dosahuje před polednem, v poledne se snižuje a odpoledne opět stoupá a večer klesá). Udává se v g na jednotku plochy nebo hmotnosti transpirujících listů za jednotku času. Hodnoty se používají pro odhad spotřeby vody rostlinou (např. 1 ha vzrostlého bukového lesa vypaří denně 25 000–30 000 kg vody). (upraveno podle [48])

## **2.2 Biomasa**

Biomasa v nejširším smyslu je hmota všech organismů na Zemi. Zahrnuje tedy jak jejich tělesné schránky, tak i živé či neživé produkty jejich činnosti (obaly, exkrementy, semena, dřevo) [30]. Ekologie definuje biomasu jako množství organické hmoty přítomné na určité ploše v určitém časovém okamžiku [40]. Existuje celá řada termínů pro podmnožiny biomasy podle jejího původu nebo způsobu vzniku jako například fytomasa, zoobiomasa, dendromasa apod. [30]

Základním producentem biomasy jsou rostliny, které jsou díky chlorofylu schopné fotosyntézou produkovat bílkoviny, které jsou základním stavebním kamenem všech živých organismů. [30]

Biomasa rostlin je označována jako fytomasa, biomasa dřevin jako dendromasa. Je vylišována biomasa jednotlivých funkčních složek ekosystémů (rostlin, konzumentů apod.), pater (dřevin, keřového patra, bylinného patra atd.) či částí rostlinných těl (kmenů, větví, listů, kořenů apod.). [40]

U rostlin se nejčastěji vyjadřuje hmotností sušiny, která je vztažena k jednotce plochy (v lesních ekosystémech nejčastěji v kg/ha nebo v t/ha) [40]. U rostlin je rozlišována biomasa podzemní nebo nadzemní, biomasa živá nebo mrtvá (stařina). [29]

Celková hmotnost biomasy je obvykle stanovena vážením, popřípadě též odhadem z objemu. [29]

## 2.3 Detekce pomocí DPZ

Sledování a následné analýzy vegetačního krytu je jednou z nejčastějších úloh dálkového průzkumu Země. Po vypuštění družice Earth Resources Technology Satellites (známé jako Landsat) v roce 1972 byl vegetační kryt vůbec prvním předmětem výzkumu v rámci managementu přírodních zdrojů, využívajícího družicové obrazové záznamy. [47]

Z hlediska využití v dálkovém průzkumu Země lze rozlišit 6 základních oblastí elektromagnetického záření (Dobrovolný, 1998):

- ultrafialové záření (0,1–0,4  $\mu\text{m}$ )
- viditelné záření (0,4–0,7  $\mu\text{m}$ )
- infračervené záření blízké (0,7–1,4  $\mu\text{m}$ )
- infračervené záření střední (1,4–3  $\mu\text{m}$ )
- tepelné záření (3  $\mu\text{m}$  až 1 mm)
- mikrovlnné záření (1 mm až 1 m)

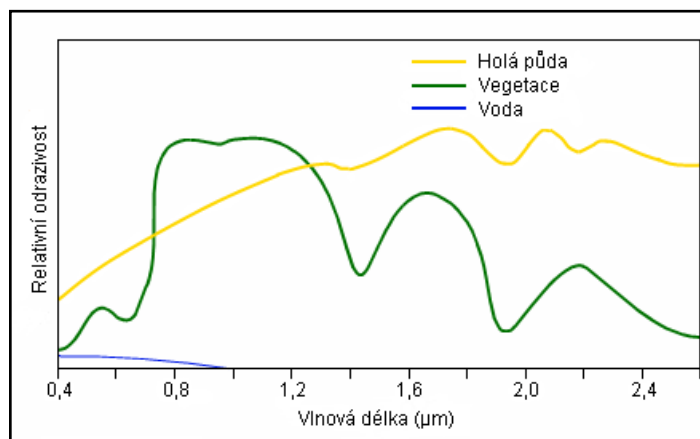
Na základě odlišného chování vegetace v různých částech elektromagnetického spektra, lze vypořádat rozličné charakteristiky [47] jakými mohou být i vlhkost a biomasa.

Spektrální chování vegetačního porostu je založeno na množství chlorofylu a vodní absorpci listů (Quinn, 2001). Typ, struktura listů, vodní obsah, zdravotní stav rostlin a vlastnosti půdního substrátu tak určují projev vegetace na satelitních snímcích, který je vyjádřen odlišným barevným odstínem.

Podle Dobrovolného (1998) se spektrální chování vegetace vyznačuje především výrazným nárůstem odrazivosti v blízké infračervené části spektra. Jestliže na snímcích ve viditelné části spektra odráží povrchy pokryté vegetací v průměru kolem 20 % dopadajícího záření, v blízké infračervené části spektra je to v průměru kolem 60 %.

Záření ve viditelné části spektra je výrazně pohlcováno především zeleným barvivem (chlorofylem). V důsledku toho jsou povrchy pokryté vegetací na černobílých snímcích poměrně tmavé. Protože pohlcování záření chlorofylem je nejintenzivnější v modré a červené části viditelného záření a méně intenzivní v zelené části kolem 550 nm, jeví se nám vegetace jako zelená.

V oblasti kolem 700–800 nm dochází k výraznému nárůstu odrazivosti a v blízké infračervené části spektra (700–1300 nm) je tato odrazivost formována především uspořádáním buněk těch částí rostlin, které jsou nejvíce vystaveny dopadajícímu slunečnímu záření – tedy odrazivostí listů. Protože buněčná struktura různých druhů rostlin je odlišná, také jejich odrazivost se liší a toho lze využít pro rozpoznávání druhů rostlin. Na infračervených snímcích lze například poměrně snadno odlišit porosty listnatého a jehličnatého lesa. Porosty listnatého lesa jsou na snímcích podstatně světlejší. V intervalu spektra 1300–3000 nm je odrazivost vegetace formována především přítomností vody v orgánech rostlin, takže vyšší obsah vody snižuje jejich odrazivost.



**Obr. 1:** Spektrální křivka vybraných povrchů (upraveno podle Lillesand a Kieffer (1994))

Na obr. 1 je spektrální křivka odrazivosti vegetace, která se v oblasti viditelného a blízkého infračerveného záření dělí do tří hlavních částí, které odpovídají faktorům určujícím velikost spektrální odrazivosti.

- oblast pigmentační absorpce (400–700 nm)
- oblast buněčné struktury (700–1300 nm)
- oblast vodní absorpce (1300–3000 nm)

Naznačené obecné rysy spektrálního chování vegetační složky krajiny bývají modifikovány v průběhu vegetačního období a mění se také v důsledku stresů, kterým může být porost vystaven. Obecně u rostlin poškozených např. mrazem, usychajících na konci vegetačního období či u rostlin poškozených chemickými látkami dochází k poklesu odrazivosti v blízké infračervené části spektra a k vzrůstu v části červené.

Protože se změna projeví nejdříve v infračervené části spektra, je možné na snímcích zaznamenat změnu v kondici vegetačního krytu dříve než se projeví v přírodě např. změnou barvy listů.

V tab. 1 jsou uvedeny možné aplikace podle spektrálních pásem družic Landsat. Lze vyčíst, že pro detekci charakteristik zabývajících se tato práce se nejčastěji používá pásmo 3, 4 a 5.

**Tab. 1:** Aplikace podle spektrálních pásem skeneru TM a ETM+ (upraveno podle [15] a [35])

Pásmo	Hlavní aplikace
1	mapování pobřeží, rozlišování půdy a vegetace, klasifikace lesů, identifikace antropogenních tvarů
2	sledování zdravotního stavu a rozlišování vegetace, identifikace antropogenních tvarů
3	identifikace druhů rostlin a antropogenních tvarů
4	sledování půdní vlhkosti, rozlišování vodních těles, určování vegetačních typů, jejich vitality a množství biomasy
5	sledování obsahu vlhkosti vegetace
6	teplota povrchu, diferenciací oblaků, sledování vegetačního stresu, půdní vlhkosti a vulkanismu
7	rozlišování minerálů a hornin, obsah vlhkosti vegetace

## 3. Metody

Analýzy vlhkostních parametrů a biomasy byly řešeny na základě hodnocení spektrálních (vegetačních) indexů, pomocí kterých lze zvýraznit vegetační kryt a jeho vlastnosti.

Metodou pro hodnocení indexů byla tzv. fuzzy klasifikace. Byla zvolena proto, že umožňuje relativní hodnocení, ke kterým nejsou potřeba referenční data z terénního měření.

Pro odhad množství biomasy a ke zjištění vývoje a závislosti mezi vlhkostí a biomasou vegetačního krytu byla dále využita regresní analýza a statistické ukazatele – průměrné hodnoty a modusy.

### 3.1 Spektrální indexy

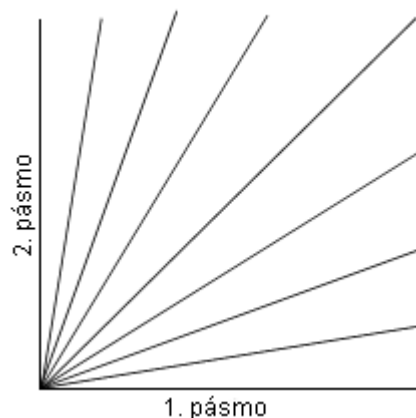
Spektrální index je výsledek aritmetické operace s dvěma či více pásmy, jehož cílem je na základě znalosti spektrálního chování, zvýraznit zkoumanou složku a její vlastnosti. [37]

Index, který je nejvhodnější pro použití v určitém prostředí, může být stanoven pomocí kalibrace s využitím vzorového měření. Jestliže data z tohoto měření nejsou k dispozici, mohou být zvolené indexy užitečné jako indikátory relativního zastoupení zkoumané složky (upraveno podle [6] a [47]).

Eastman (2001) dělí spektrální indexy na poměrové (slope-based), vzdálenostní (distance-based) a tzv. ortogonální transformace. K hodnocení tohoto rozdělení je třeba vzít v úvahu pozici vegetačních pixelů v dvourozměrovém grafu (neboli bi-spektrálním plotu) odrazivosti červeného ku infračervenému pásmu.

#### 3.1.1 Poměrové indexy

Poměrové indexy využívají poměr odrazivosti jednoho pásma k odrazivosti jiného pásma, u vegetace je to obvykle červené a blízké infračervené pásmo. V angličtině je pro to pojmenování *slope*, což znamená *sklon*. Při porovnání výsledných hodnot indexu je vlastně srovnáván sklon linií procházejících počátkem s hodnotami odrazivosti pixelů vykreslených v rozptylogramu, jedno pásmo jako osa X, druhé pásmo jako osa Y.



**Obr. 2:** Rozptylogram poměrových indexů (upraveno podle [6])

Poměrové indexy jsou jednoduché lineární kombinace, které používají pouze informace o hodnotách odrazivosti vybraných pásem. [47]. Těchto indexů existuje celá řada. Jako příklad lze jmenovat: RATIO (Simple Ratio), RVI (Ratio Vegetation Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), TVI (Transformed Vegetation Index), CTVI (Corrected Transformed Vegetation Index), TTVI (Thiam's Transformed Vegetation Index), RVI (Ratio Vegetation Index), nebo NRVI (Normalized Ratio Vegetation Index), MSI (Moisture Stress Index), NDWI (Normalized Difference Water Index). Dále existuje mnoho dalších, které jsou modifikacemi výše uvedených.

V této práci byly vybrány ty, které se od sebe nějakým způsobem liší v přístupu výpočtu. Na základě studia literatury byly vybrány vhodné indexy pro detekci vlhkosti a zvláště pro detekci biomasy.

Pro zjišťování charakteristik vlhkosti vegetačního krytu se nejčastěji využívá infračervených pásem – pásem 4 a 5. Pro analýzu vlhkosti byly tedy z poměrových indexů vybrány ty, co splňují tento předpoklad – index MSI a NDWI.

Protože pro praktickou část byly použity snímky z družic Landsat, tak jsou následující rovnice indexů předvedeny na pásmech jednoho z jeho senzorů - senzoru TM (Thematic Mapper).

**MSI** (Moisture Stress Index) je vyjádřen podílem pásma 5 a 4, čili blízkého infračerveného a infračerveného pásma. Výzkumy prokázaly, že poměrem těchto pásem lze velmi dobře zjistit vodní obsah v listech rostlin. Díky tomu bývá často využit k detekci sucha a dalších stresových podmínek vegetace. [42]

$$MSI = \frac{TM5}{TM4}$$

**NDWI** (Normalized Difference Water Index), někde uváděn jako **NDMI** (Normalized Difference Moisture Index) [12], je index odrážející rozdíl v rozložení množství vody. Stejně jako MSI využívá infračervené a blízké infračervené pásmo, u kterého je známo, že záření v jeho vlnových délkách je pohlcováno vodou. Je proto vhodný i při zjišťování vodního obsahu rostlin. Hodnota indexu se zvyšuje se vzrůstajícím obsahem vody, celkově se však hodnoty pohybují v intervalu (-1; 1), (upraveno podle [38] a [39]).

NDWI je vyjádřen rovnicí:

$$NDWI = \frac{TM4 - TM5}{TM4 + TM5}$$

Pro studium biomasy jsou v případě poměrových indexů nejčastěji jako vhodná pásma uváděna pásma 3 a 4 (červené a infračervené). Pro ně také existuje nejvíce indexů a jejich modifikací. Na základě experimentů, které se zabývaly touto problematikou, byly vybrány čtyři indexy, u nichž se ukázalo, že dosahují vzájemně rozdílných výsledků – index **RATIO**, **RVI**, **NRVI** a zřejmě nejznámější **NDVI**.

**NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) je vegetační index vytvořený za účelem oddělení zelené vegetace od půdního podloží. Byl navrhnut Rousem et al. (1974) v [6], který ho aplikoval už na snímky ze senzoru MSS (Landsat 4). Je vyjádřený jako podíl rozdílu a součtu blízkého infračerveného a červeného pásma:

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$$

Je to nejčastěji využívaný index, protože má schopnost minimalizovat vlivy topografie a vytváří lineární stupnice měření s normálním rozdělením.

Hodnota **NDVI** pro daný pixel se pohybuje vždy v intervalu (-1; 1), a to podle obsahu vegetační složky. Obecně platí, že čím nižší hodnota, tím méně vegetace. Plochy se záporným **NDVI** znázorňují vodu, led nebo sníh a v odstínech šedi je vyznačují nejtmavší pixely. S rostoucí hodnotou **NDVI** lze rozlišit oblačnost, holou půdu, řídkou

vegetaci, středně hustou až po velmi hustou vegetaci, která nabývá nejvyšších hodnot a na snímku je znázorněna nejsvětlejšími pixely, (Dobrovolný, 1998).

**RATIO** (Simple Ratio) je vegetační index sloužící ke stejnému účelu jako NDVI – k oddělení zelené vegetace a půdy, který byl také navrhnut Rousem et al. (1974) v [6]. Index RATIO je vytvořen jednoduchým dělením hodnot odrazivosti v blízkém infračerveném a červeném pásmu:

$$RATIO = \frac{TM4}{TM3}$$

Výsledek jasně zachycuje kontrast vegetace mezi červeným a infračerveným pásmem. Vysoká hodnota indexu je kombinací nízké odrazivosti červené (kvůli absorpci chlorofylu) a vysoké odrazivosti infračervené (výsledek struktury listů) části elektromagnetického spektra. Navíc je minimalizován problém různého osvětlení reliéfu, protože index je vytvořen jako poměr. Protože tento index umožňuje dělit nulou, výsledné měření není lineární. Snímky podílového vegetačního indexu pak nemají normální rozdělení, což komplikuje aplikování nějakých statistických procesů.

**RVI** (Ratio Vegetation Index) je zjevně převrácený index RATIO, který byl navržen Richardsonem a Wiegandem (1977) v [6]. Jeho rovnice je:

$$RVI = \frac{TM3}{TM4}$$

**NRVI** (Normalized Ratio Vegetation Index) je modifikací RVI (Baret a Guyot, 1991) v [6], jehož rovnice navíc využívá konstantu 1:

$$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1} = \frac{(TM3/TM4) - 1}{(TM3/TM4) + 1}$$

Tato normalizace má podobný smysl jako u NDVI, např. zmírnění vlivů topografie, osvětlení atmosféry, a tvoří statisticky vhodné normální rozdělení.



### 3.1.2 Vzdálenostní indexy

Další skupinou spektrálních indexů jsou tzv. vzdálenostní indexy, využívající navíc charakteristiky odrazivosti půdního podkladu.

Podle [6] sem patří např. PVI (Perpendicular Vegetation Index), jeho modifikace  $PVI_1$ ,  $PVI_2$  a  $PVI_3$ , DVI (Difference Vegetation Index), AVI (The Ashburn Vegetation Index), SAVI (The Soil-Adjusted Vegetation Index), TSAVI (The Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index), MSAVI (The Modified Soil-Adjusted Vegetation Index) a WDV (The Weighted Difference Vegetation Index).

Tyto indexy řeší oddělení informací o vegetaci od informací o půdách. Jsou založeny na konceptu půdní linie a vzdáleností od ní. Půdní linie je vyjádřena lineární rovnicí, která popisuje vztah mezi hodnotami odrazivosti v červeném a infračerveném pásmu pro pixely odkryté půdy. Jakmile je jednou vzájemný vztah určen tak všechny ostatní pixely, které vykazují v červeném a infračerveném pásmu podobný poměr mezi odrazovými hodnotami, jsou považovány za odkrytou půdu. Neznámé pixely, které z důvodu vyšších hodnot odrazivosti v infračerveném pásmu spadají daleko od půdní linie, jsou přiřazeny vegetaci. Pixely, které spadají mimo půdní linii z důvodu vyšší odrazivosti v červeném pásmu, jsou často ohodnoceny jako voda. Jako vstupy pro výpočet vzdálenostních indexů tedy slouží červené a infračervené pásmo, sklon půdní linie a úsek vymezený půdní linií na souřadnicové ose Y (obr. 3). [47]



**Obr. 3:** Rozptylogram vzdálenostních indexů (upraveno podle [6])

Vzdálenostní indexy se používají převážně pro analýzy vegetace v aridních a semiaridních regionech, kde vegetační pokryv není kompletní a průměrné hodnoty

odrazivosti jsou velmi ovlivněny typem půd na pozadí [47]. To však není případ zájmového území, které bylo zvoleno pro tuto práci, a proto jim již nebude dále věnována pozornost.

### 3.1.3 Ortogonální transformace

Ortogonalní indexy (transformace) jsou lineární kombinací původních pásem multispektrálního obrazu (Dobrovolný, 1998). Zástupcem této skupiny indexů je transformace **TCT** (Tasseled Cap Transformation), která přepočítává 6 pásem multispektrálního obrazu na 3 nová pásma – brightness, greenness a wetness. [28]

První pásmo je označováno jako index *brightness* a je orientováno ve směru maximálního rozptylu hodnot odrazivosti půdy [5]. To je užitečné pro analýzy týkající se půdy. Pro studium vlhkosti a množství biomasy je ale mnohem užitečnější druhé a třetí pásmo.

Druhé pásmo – index *greenness*, někdy označováno jako GVI (Green Vegetation Index) [6], je k prvnímu kolmé a je ukazatelem množství zeleně [5]. Záporné váhy této transformace mají tendenci ve viditelných pásmech minimalizovat vliv půdního pozadí, zatímco kladné váhy zdůrazňují signál zelené vegetace v blízkých infračervených pásmech [6].

Třetí pásmo koreluje s vlhkostí půdy a vegetace a nese název *wetness* [5]. Porovnává obsah ve viditelném a blízkém infračerveném pásmu s delšími infračervenými pásmy. Určuje tak množství vlhkosti, která je zadržována ve vegetaci nebo v půdě. Delší infračervená pásma jsou nejcitlivější k půdě a rostlinné vlhkosti, a proto kontrast mezi viditelnými pásmy a blízkými infračervenými pásmy s delšími infračervenými pásmy zvýrazňuje stupeň vlhkosti ve scéně. [13]

V následujících tabulkách jsou uvedeny koeficienty transformací pro senzor TM a ETM+. Ostatní pásma obsahují jen minimum cenných dat [5], které nemají pro tuto práci přínos, a proto zde ani uvedeny nejsou.

**Tab. 2:** Koeficienty pro výpočet 3 hlavních transformací ze skeneru TM, [28]

Pásmo	1	2	3	4	5	7
<b>brightness</b>	0,3037	0,2793	0,4743	0,5585	0,5082	0,1863
<b>greenness</b>	-0,2848	-0,2435	-0,5436	0,7243	0,0840	-0,1800
<b>wetness</b>	0,1509	0,1973	0,3279	0,3406	0,7112	-0,4572

**Tab. 3:** Koeficienty pro výpočet 3 hlavních transformací ze skeneru ETM+, [11]

Pásmo	1	2	3	4	5	7
brightness	0,3561	0,3972	0,3904	0,6966	0,2286	0,1596
greenness	-0,3344	-0,3544	-0,4556	0,6966	-0,0242	-0,2630
wetness	0,2626	0,2141	0,0926	0,0656	-0,7629	-0,5388

**PCA** (Principal Components Analysis), neboli analýza hlavních komponent, je ortogonální transformace n-rozměrného snímku, která vytváří novou sadu snímků (komponent), které nekorelují s ostatními a podle množství variací (informace) zastupují původní snímek. PCA je typicky používána pro odhalení základní charakteristiky multi-variačních dat s odstraněním redundancí (zřejmě ve vzájemné korelaci hodnot pixelů ve snímku), se specifickými aplikacemi v GIS a zpracováním snímku od datové komprese po analýzy časových řad. V souvislosti se satelitními snímky, první komponenta typicky reprezentuje albedo (ve kterém je zastoupeno půdní pozadí), zatímco druhá komponenta většinou často reprezentuje různost vegetačního krytu. Druhá komponenta je v blízkém infračerveném pásmu obecně kladná a v červeném pásmu záporná. Výsledkem je, že vegetace je v této komponentě zvýrazněna. [6]

### 3.2 Fuzzy klasifikace

Slovo fuzzy můžeme chápat jako neostré, matné, neurčité či vágní. Vždy to znamená, že něco nelze popsat přesně danou hodnotou, nejčastěji 0 nebo 1 jako je tomu u tzv. Booleovské logiky. Fuzzy logika představuje její rozšíření, kde lze pracovat s hodnotami v celém intervalu (0; 1).

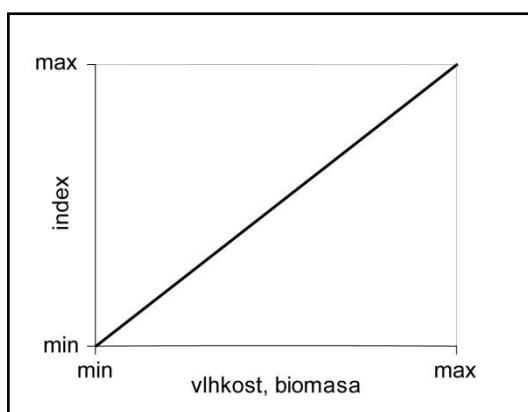
Fuzzy logika je relativně mladá teorie, která v posledních letech řeší širokou škálu problémů [20]. Jedním z nich může být i klasifikace satelitních snímků. Ve své práci ji použil například Nedeljkovic [20] nebo Brodský [3], kteří se soustředí na objektově orientovanou (fuzzy) klasifikaci, kterou srovnávají s běžně používanou metodou per-pixel.

Tato práce vychází z fuzzy klasifikace, jak ji popisuje Eastman (2001) v Idrisi32 Release 2. Ten tvrdí, že nejdříve musí být definovány nějaká kritéria, na jejichž základě je provedeno hodnocení (klasifikace). Pokud je definováno jedno kritérium jde o klasifikaci jednokriteriální, pokud více pak jde o klasifikaci multikriteriální.

Podle [6] je kritérium základním kamenem samotné fuzzy klasifikace. Existují dva typy - faktor a omezení, které mohou být použity jak samostatně, tak současně. Faktor je kritérium, které zvětšuje nebo zmenšuje vhodnost dané alternativy. Proto je většinou používáno kontinuální měřítko. Příkladem může být ohodnocení vhodnosti v intervalu  $(0; 1)$ , kde 0 značí nejmenší vhodnost a 1 naopak vhodnost největší. Omezení slouží k vymezení alternativy. Příkladem tohoto kritéria může být maska rasteru, ve které určíme hranice nevhodnosti (resp. vhodnosti), kde přidáme hodnoty 0 nebo 1.

Tato kritéria lze hodnotit buď booleanovským překrytím, čímž jsou všechna kritéria redukována do logického tvrzení vhodnosti. Poté jsou kombinovány na základě logických operátorů jako je průnik (AND) nebo spojení (OR). Druhé hodnocení je známé jako lineární vážená kombinace (WLC), ve které jsou kontinuální kritéria (faktory) standardizovány do běžného číselného rozpětí, a poté kombinovány podle vážených průměrů. [6]

V této práci bylo použito kritérium typu faktor, které bylo nadefinováno jako lineární funkce (obr. 4), u níž s rostoucí hodnotou indexu roste množství vlhkosti a biomasy. Ohodnocené indexy pak byly ve výsledku sečteny. Celý postup je uveden v kapitole 4.3.2.



**Obr. 4:** Lineární funkce množství vlhkosti a biomasy v závislosti na hodnotě indexu

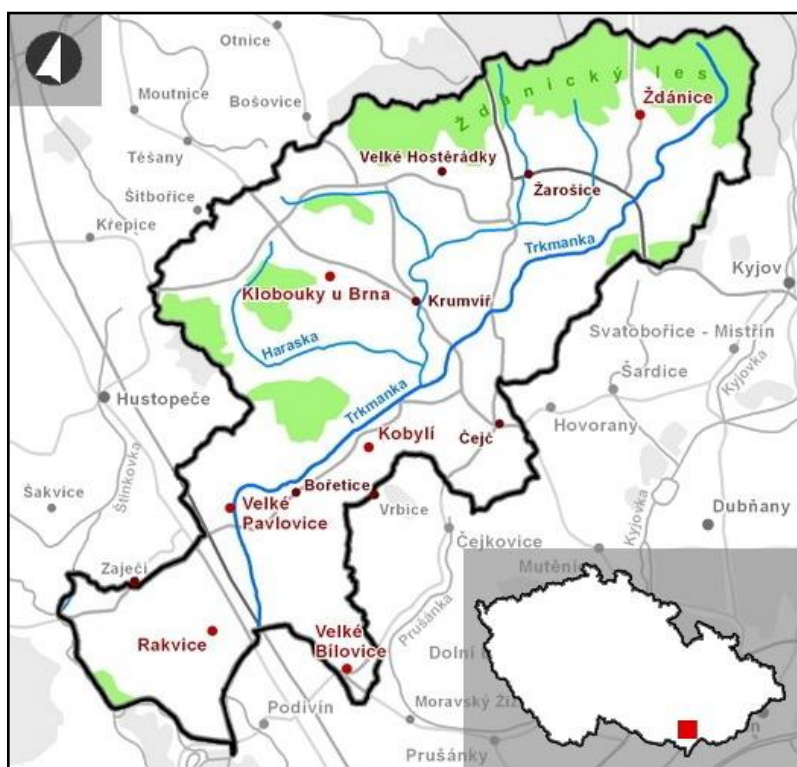
## 4. Vlastní zpracování

### 4.1 Zájmové území

Zájmovým územím je povodí řeky Trkmanky, která je levostranným přítokem Dyje. Toto území, o rozloze přibližně 380 m<sup>2</sup>, se nachází na jihovýchodní Moravě, na pomezí okresů Hodonín, Břeclav a Vyškov.

Trkmanka pramení ve výšce 300 m n. m. ve Ždánickém lese severozápadně od obce Ždánice. Teče přibližně ze severu na jih, kde se po 42,3 km vlévá u obce Podivín do Dyje (Vlček, 1984). Protéká kolem Terezova, Kobylí, Bořetic, Velkých Pavlovic, Trkmance, Rakvic a Podivína. Před obcí Ladná se dělí na několik ramen, z nichž nové – hlavní (tzv. Nová Trkmanka) se vlévá do Dyje. [45]

Tzv. Nová Trkmanka byla, podle [32], vykopána v letech 1835 až 1836, a ještě v roce 1838 musela být prohlubována. Svedla vody z rybníků a jezer v severozápadní části dnešního okresu Hodonín a v části dnešního okresu Břeclav. Konkrétně z rybníků u Krumvíře, z Kobylského jezera, Panského rybníka u Bořetic, jezera Kúdelka u Bořetic, Němčického jezírka, Horního a Dolního rybníka u Pavlovic, Trkmanského rybníka, Rakvického rybníka a močálů pod Podivínem.



Obr. 5: Lokalizace zájmového území

Řeka má nížinný charakter, teče otevřenou krajinou, zprvu mírně meandruje a od Dražůvek protéká téměř přímočaře regulovaným řečištěm.

Z hlediska vegetačního krytu 72 % území zaujímají zemědělsky využívané plochy, 18 % lesy a zbylých 10 % tvoří plochy bez vegetace.

Podle Mikyška et al. (1968) se tu vyskytují luhy a olšiny, dubohabrové háje, subxerofilní doubravy, šipákové doubravy a skalní lesostepi.

Luhy a olšiny jsou rozšířené podél všech vodních toků, nejvíce ovšem v rozlehlé nivě Trkmanky a Dyje. Subxerofilní doubravy obsahují společenstva typická pro nejteplejší oblasti Čech a Moravy. Ve stromovém patře lesa zpravidla převládají dub zimní, dub letní a habr obecný. Charakteristickým rysem je zde bohatě vyvinuté keřové patro. Tato jednotka je nejvíce zastoupena v rozvodních oblastech. Šipákové doubravy a skalní lesostepi zahrnují vyhraněná společenstva na přechodu mezi lesem a stepí. Setkáváme se s nimi na jižních svazích, terénních hranách a přechodech v plošinu.

Na zemědělsky využívaných plochách jsou nejvíce pěstovány obilniny – pšenice, žito a ječmen. Kukuřice se soustřeďuje do teplejších oblastí na jihu území. Ve vyšších nadmořských výškách, od 350 m, se pěstuje řepa, v údolích pak píce a zelenina. Typické pro tuto oblast je pěstování vinné révy a ovocných stromů, především meruňky a broskve (Mištera, 1999).

## **4.2 Vstupní data**

Vstupními daty byly satelitní snímky, vektorové vrstvy využití země a tabelární data z ČSÚ.

Nejaktuálnější satelitní snímek byl pořízen ze senzoru TM (Thematic Mapper), který nese družice Landsat 5, a další dva ze senzoru ETM+ (Enhanced Thematic Mapper +), jehož nosičem je družice Landsat 7. Jako referenční data byly použity dvě vektorové vrstvy využití země ve formátu *SHP* (rok 2001 a 2007), které byly vytvořeny v rámci bakalářské práce Evy Alkové (2008) na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Dalšími podkladovými daty byly průměrné výnosy zemědělských plodin v Jihomoravském kraji v roce 2007, které jsou k dispozici na webových stránkách ČSÚ ve formátu *PDF*.

**Tab. 4:** Popis použitých satelitních snímků

Satelit	Senzor	Počet pásem	Datum pořízení	Formát
Landsat 5	TM	7	20. 7. 2007	CEOS
Landsat 7	ETM+	8	2. 8. 2000	TIF
Landsat 7	ETM+	8	24. 5. 2001	TIF

#### 4.2.1 Landsat

Program LANDSAT, který je společným dílem NASA (National Aeronautics and Space Administration) a USGS (U.S.Geological Survey), je nejdéle fungujícím projektem pro pozorování a získávání satelitních snímků povrchu planety Země. [36]

První z řady satelitů Landsat byl vynesena na oběžnou dráhu v roce 1972 a od té doby je Země soustavně monitorována. Tento satelit, stejně jako další dva patřící do první generace, nesl dva senzory: RBV (Return Beam Vidicon) a MSS (Multispectral Scanner). Druhá generace, zahájená satelitem Landsat 4 v roce 1982, byla již vybavena pokročilejším senzorem TM (Thematic Mapper). Tímto senzorem je vybavena i stále funkční družice Landsat 5. [49]

TM je moderní multispektrálně pracující skener navržený pro získávání snímků s vysokým rozlišením. Je schopený snímat data v 7 spektrálních pásmech zároveň. Má termální pásmo s rozlišením 120 m, díky kterému může zaznamenávat rozdíly v teplotě zemského povrchu. [43]

Po nezdařeném startu Landsatu 6 v roce 1993 byl v dubnu roku 1999 úspěšně uveden do provozu Landsat 7 se senzorem ETM+. [36]

ETM+, který tak nahradil úspěšný TM, je schopný poskytovat snímky zemského povrchu s mnohem vyšším rozlišením než jeho předchůdce. Pohybuje se po oběžné dráze vzdálené 705 km od povrchu Země a zabírá území o rozloze  $183 \times 170$  km. Multispektrální snímek je nyní složen z 8 pásem s rozlišením 15, 30 a 60 m. Novinkou je panchromatické pásmo s rozlišením 15 m, tepelné pásmo s dvojnásobným prostorovým rozlišením (60 m) a mimo to zvýšená přesnost kalibrace přístroje. [44]

**Tab. 5:** Spektrální a prostorové rozlišení senzoru TM, (upraveno podle [43])

Část spektra (druh záření)		Číslo pásma	Spektrální rozsah (μm)	Prostorové rozlišení (m)
viditelné	B-G <sup>1</sup>	1	0,45 – 0,52	30
	G <sup>2</sup>	2	0,52 – 0,60	
	R <sup>3</sup>	3	0,63 – 0,69	
blízké infračervené		4	0,76 – 0,90	
střední infračervené		5	1,55 – 1,75	
tepelné		6	10,4 – 12,5	120
střední infračervené		7	2,08 – 2,35	30

<sup>1</sup> B-G – blue-green, <sup>2</sup> G – green, <sup>3</sup> R – red

**Tab. 6:** Spektrální a prostorové rozlišení senzoru ETM+, (upraveno podle [44])

Část spektra (druh záření)		Číslo pásma	Spektrální rozsah (μm)	Prostorové rozlišení (m)
viditelné	B-G <sup>1</sup>	1	0,45 – 0,515	30
	G <sup>2</sup>	2	0,525 – 0,605	
	R <sup>3</sup>	3	0,63 – 0,69	
blízké infračervené		4	0,75 – 0,90	
střední infračervené		5	1,55 – 1,75	
tepelné		6	10,4 – 12,5	60
střední infračervené		7	2,09 – 2,35	30
PAN <sup>4</sup>		8	0,52 – 0,9	15

<sup>1</sup> B-G – blue-green, <sup>2</sup> G – green, <sup>3</sup> R – red, <sup>4</sup> PAN – panchromatické pásmo

#### 4.2.2 Použitý software

Většina práce byla řešena v ERDAS IMAGINE 9.0. Jedná se o software zaměřený na veškeré zpracování dat dálkového průzkumu Země a fotogrammetrie. Zde proběhla jak příprava snímků, tvorba modelů analýz a spektrálních indexů, tak i vlastní zpracování vybraných analýz. Pro sestavení výsledných map byl použit ArcGIS 9.2,



software americké firmy ESRI. Dále byly využity také produkty Microsoft Office, PSPad a CorelDRAW.

### 4.2.3 ERDAS IMAGINE

Software ERDAS IMAGINE, který je dílem společnosti Leica Geosystems Geospatial Imaging, umožňuje zpracovávat různé typy geografických dat. Především je zaměřen na zpracování leteckých a družicových snímků, a to od vytvoření ortosnímků až po vyhodnocení informací o typu pokryvu, aktualizaci polohopisu a mapování výškopisu. Kromě klasických kartografických výstupů mohou být geografická data využívána a prezentována ve formě 3D GIS. ERDAS IMAGINE je dále připraven i na řešení celé řady úloh GIS. K dispozici jsou nástroje pro prostorovou analýzu, je také možno vytvářet či využívat vektorová data ve standardních formátech firmy ESRI. Unikátní je možnost provádět integrovanou analýzu rastrových i vektorových dat a nástroj pro tvorbu uživatelských algoritmů v grafickém prostředí. [33]

#### 4.2.3.1 Model Maker

Model Maker, který najdeme v nabídce *Spatial Modeler – Model Maker*, je jedním ze tří hlavních nástrojů pro definování algoritmů a funkcí GIS analýz v prostředí ERDAS IMAGINE. Dalšími dvěma nástroji jsou buď naskriptované modely pomocí jazyka SML (*Spatial Modeler Language*), což je programovací jazyk, tvořící základ všech GIS funkcí v ERDAS IMAGINE pro tvorbu skriptů, nebo již předprogramované funkce v nabídce *Image Interpreter*. To je sada více než 50-ti funkcí, které jsou vytvořeny pomocí Model Makeru nebo SML. [8]

Podle ERDAS IMAGINE Tour Guides (2003) je Model Maker grafické prostředí pro práci se SML. Umožňuje tak tvořit grafické modely, které mohou být spouštěny, editovány, ukládány nebo konvertovány do skriptů (textových modelů) a pak dále upravovány pomocí SML. Výsledné soubory modelů mají koncovku *GMD*. Pokud jsou konvertovány do skriptů, mají koncovku *MDL*. V tomto případě jsou poté spustitelné pomocí nástroje Model Librarian (*Spatial Modeler – Model Librarian...*), odkud mohou být jak spuštěny, tak i nadále editovány.

Pomocí palety s jednoduše obsluhovatelnými nástroji lze vytvořit model definující:

- vstupní a výstupní vrstvy (rastrové i vektorové), matice, tabulky a veličiny
- výpočty, funkce nebo příkazy k provedení nad vstupními daty



**Obr. 6.** Paleta nástrojů Model Makeru

Počet vstupů, funkcí a výstupů je libovolný, ale je nutno dodržet, aby před spuštěním modelu byly všechny komponenty navzájem propojeny. [8]

#### 4.2.4 Předpracování

Snímky z roku 2000 a 2001 byly staženy z webových stránek Global Land Cover Facility [50], kde je k dispozici řada snímků z celé Země. Byly uloženy po jednotlivých pásmech v georeferencovaném formátu *TIF*, které již byly radiometricky a geometricky upraveny.

Snímek z roku 2007 byl pořízen Katedrou geoinformatiky v rámci projektu Ekotony. Byl ve formátu *CEOS* (BSQ) ukládající snímky po jednotlivých pásmech. *CEOS* soubory obsahují více informací než jiné formáty pro ukládání distančních dat [49], ale pro nesespecializovaný software jsou těžko čitelné. *ERDAS IMAGE* formát *CEOS* načíst umí, a proto byl snímek pomocí příkazu *Import/Export* importován jako *TM Landsat ESA Standart Format*. Pro další zpracování byl exportován do formátu *IMG*, což je primární formát *ERDAS IMAGE*.

Následně bylo nezbytné jednotlivá pásma u všech zúčastněných snímků spojit, a vytvořit tak snímky multispektrální. To bylo provedeno pomocí *Image Interpreter – Utilities – Layer Stack...*

Bylo zjištěno, že snímek z roku 2007 je vůči dalším dvěma geometricky posunut. Na základě podkladových vektorových vrstev byl tedy opraven a společně s ostatními reprojektován do souřadného systému WGS84 – zóna 33N. Protože všechny snímky

pokrývaly mnohem větší území, než je povodí Trkmanky, byly podle něj nakonec oříznuty.

### 4.3 Modelování

Modelování je silný a flexibilní analytický nástroj. V případě zpracování dat dálkového průzkumu Země je to proces vytváření nových vrstev buď z kombinací, nebo operací nad již existujícími vrstvami. Modelování dává vznik jak sadě vrstev, tak vrstvám jednotlivým, které obsahují různé typy informací o zájmovém území (ERDAS Field Guide, 2005).

Podle [7] je modelem nazývána sada procesů, která definuje kritéria. V ERDAS IMAGINE mohou být modely vytvořeny graficky v podobě blokového schématu kroků, nebo pomocí skriptovacího jazyka. Ačkoliv se tyto dva typy modelů zdají odlišné, jsou v podstatě stejné – jsou definovány vstupní soubory, specifikovány funkce a/nebo příkazy a definovány výstupy.

V této práci byly využity nástroje Model Makeru (kapitola 4.2.3.1). Možnost algoritmizovat většinu kroků při zpracování analýz ušetřila jak čas, tak i místo na disku, které by zbytečně zabíraly dílčí soubory. Další výhodou je, že vytvořené modely mohou být rychle upraveny a v budoucnu znovu spuštěny na jiná data.

#### 4.3.1 Spektrální indexy

ERDAS IMAGINE nabízí již několik přeprogramovaných indexů, které jsou uloženy v nabídce *Image Interpreter – Spectral Enhancement – Indices*. Pro senzor TM je tu pět indexů, týkajících se analýz vegetačního krytu: NDVI, TNDVI<sup>1</sup>, RATIO (označen jako IR/R), SQRT (IR/R)<sup>2</sup> a tzv. Veg. Index, což je podíl 4. a 3. pásma. Pro práci byly použity pouze NDVI a RATIO, které byly ale také upraveny pomocí Model Makeru, z důvodu dalších analýz a možnosti automatizace.

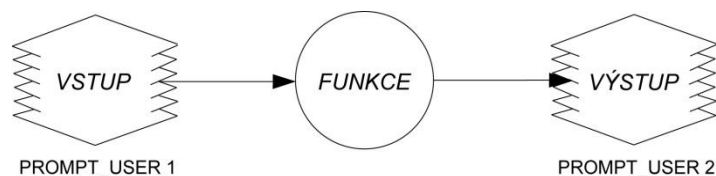
První fází použití nástroje Model Maker bylo tedy modelování spektrálních indexů, které byly vybrány pro analýzy vlhkosti a biomasy vegetačního krytu, ale v nabídce samotného softwaru ERDAS IMAGINE chybí.

---

<sup>1</sup> TNDVI = Sqrt ((B4 – B3 / B4 + B3) + 0,5)

<sup>2</sup> SQRT (IR/R) = SQRT (TM4/TM3)

Na obr. 7 je znázorněn grafický model pro tvorbu jednodušších poměrových indexů, tj. podílů vybraných pásem. Tento model byl použit pro tvorbu indexů MSI, RVI, NRVI a také pro úpravu indexu RATIO.



**Obr. 7:** Grafický model pro tvorbu jednoduchých poměrových spektrálních indexů

Vstupní i výstupní raster je po spuštění modelu zadáván uživatelem (tzv. označení *PROMPT\_USER*), díky čemuž není daný model omezený jen na použití pro předem nadefinovaný raster. Funkce tu pak definuje samotný výpočet indexu. Výstupní raster je v datovém formátu *float*, čímž je zajištěno, že výsledné hodnoty nebudou zaokrouhleny na celé číslo jako v případě *integer*, kdy by byl výsledek zkreslený, a v podstatě nepoužitelný.

U vlhkostního indexu MSI je funkce definována jako:

```

EITHER 0 IF ( $n1_PROMPT_USER(4) == 0.0 ) OR $n1_PROMPT_USER(5) / $n1_PROMPT_USER(4)
OTHERWISE

```

Jinými slovy to znamená, že pokud bude pásmo 4 mít hodnotu 0, bude i ve výsledku 0 (ošetření, aby nedocházelo k dělení nulou), jinak bude výsledek podílem pásma 5 a 4.

Stejný princip využívá i RATIO, RVI, a NRVI, jejichž funkce jsou definovány stejně, jen s výjimkou podílu jiných pásem.

V případě indexu RATIO jsou to pásma 4 a 3:

```

EITHER 0 IF ($n1_PROMPT_USER(3) == 0.0) OR ($n1_PROMPT_USER(4) / $n1_PROMPT_USER(3))
OTHERWISE

```

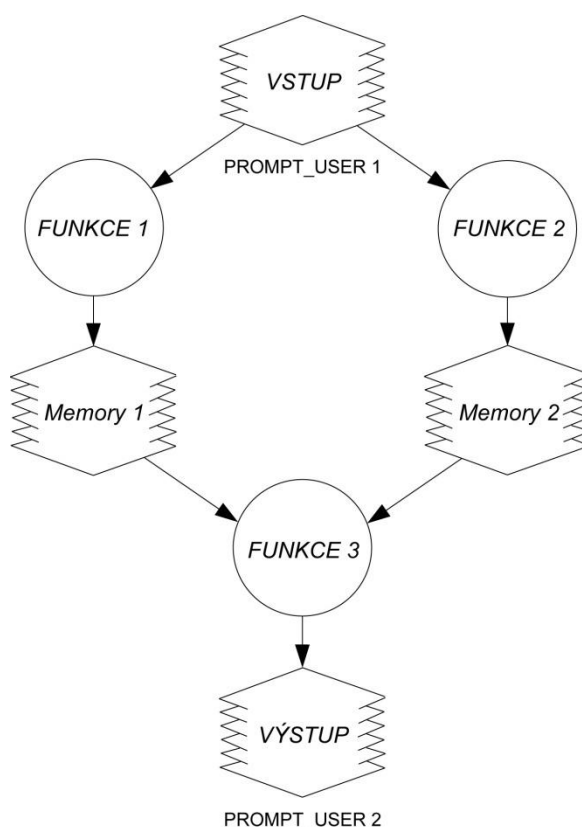
U indexu RVI je to podíl pásem 3 a 4:

EITHER 0 IF (\$n1\_PROMPT\_USER(4) == 0.0) OR \$n1\_PROMPT\_USER(3) / \$n1\_PROMPT\_USER(4)  
OTHERWISE

Index NRVI je také podílem pásem 3 a 4, ovšem s doplněním o konstantu 1:

EITHER 0 IF (\$n1\_PROMPT\_USER(4) == 0.0) OR ((\$n1\_PROMPT\_USER(3) / \$n1\_PROMPT\_USER(4))  
- 1) / ((\$n1\_PROMPT\_USER(3) / \$n1\_PROMPT\_USER(4)) + 1) OTHERWISE

Indexy NDVI a NDWI nejsou jen jednoduchým poměrem dvou pásem, ale poměrem rozdílu a součtu těchto pásem. Aby nedocházelo k dělení nulou byl čitatel i jmenovatel jejich rovnic definován samostatně. Oba indexy pak byly vytvořeny podle následujícího grafického modelu (obr. 8).



**Obr. 8:** Grafický model pro tvorbu poměrových spektrálních indexů NDVI a NDWI

První funkce definuje čitatel rovnice a druhá funkce jmenovatel. V případě první funkce je to u NDVI rozdíl pásma 4 a 3: \$n1\_PROMPT\_USER(4) - \$n1\_PROMPT\_USER(3),

a u NDWI rozdíl pásma 4 a 5:  $\$n1\_PROMPT\_USER(4) - \$n1\_PROMPT\_USER(5)$ .

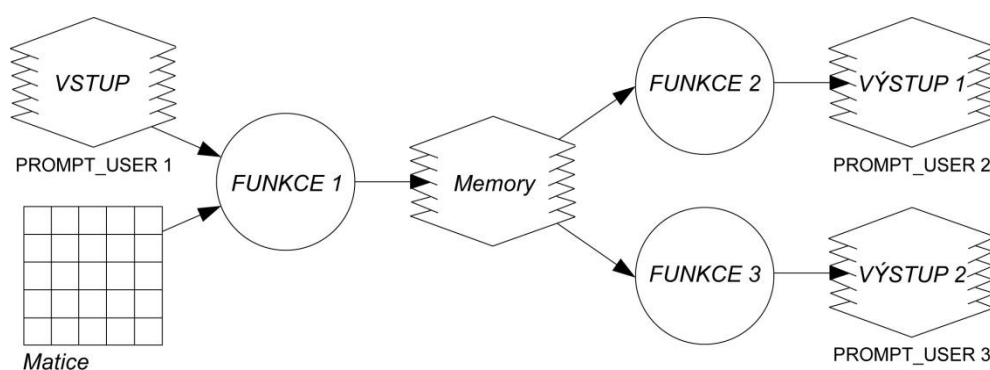
V případě druhé funkce jsou to součty jmenovaných pásem, tj. NDVI:  $\$n1\_PROMPT\_USER(4) + \$n1\_PROMPT\_USER(3)$ , a NDWI:  $\$n1\_PROMPT\_USER(4) + \$n1\_PROMPT\_USER(5)$ .

Třetí funkce je u obou indexů stejná:

EITHER 0 IF (  $\$n7\_memory == 0.0$  ) OR  $\$n3\_memory / \$n7\_memory$  OTHERWISE

Říká, že pokud dílčí vrstva, která byla vytvořena druhou funkcí (není vytvořena fyzicky, je jen uložena v paměti), má hodnotu 0 bude mít i výsledek hodnotu 0<sup>3</sup>. Jinak bude vypočítán podíl dílčích vrstev, tj. zadaného čitatele a jmenovatele.

Ortogonalní transformace Tasseled Cap Transformation najdeme v nabídce *Image Interpreter – Spectral Enhancement – Tasseled Cap...* Tento příkaz ovšem vypočítává šest transformací najednou – Brightness, Greenness, Wetness a další tři nepojmenované. To je v tomto případě zbytečné a výpočetně náročné. Pro detekci vlhkosti stačí pouze transformace Wetness a pro detekci biomasy transformace Greenness. Senzor TM a senzor ETM+ navíc používá jiné koeficienty, takže nelze použít jeden model na všechny snímky. TCT byla proto v prostředí Model Makeru upravena a optimalizována pro oba senzory.



**Obr. 9:** Grafický model pro tvorbu transformace – Greenness, Wetness

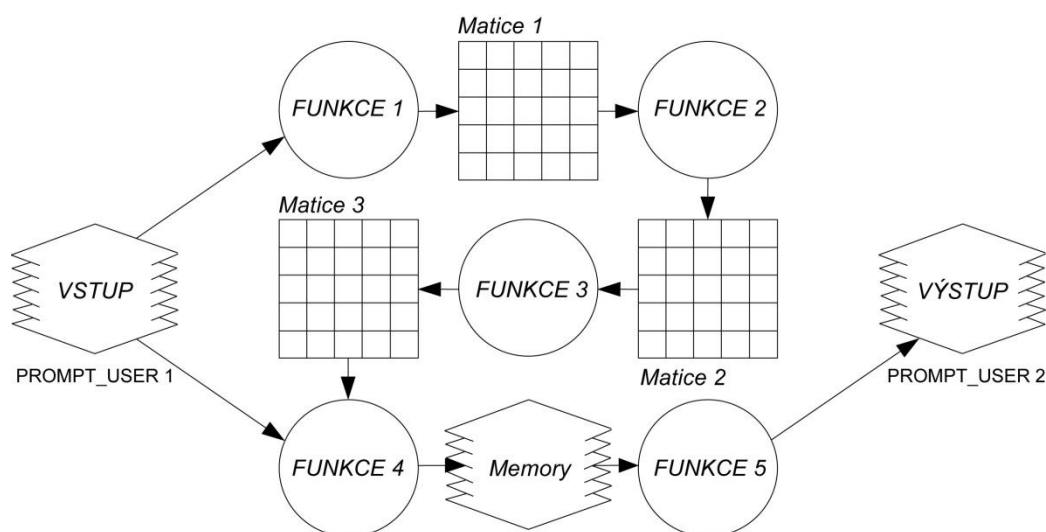
<sup>3</sup> Číselné označení vrstev (př.  $\$n7\_memory$ ) si Model Maker přiděluje sám a nelze jej měnit.

V matici jsou uloženy koeficienty pro transformaci jednotlivých pásem zmíněných skenerů. V první funkci je počítána lineární kombinace vstupního snímku s danými koeficienty, jejímž výsledkem je dílčí vrstva obsahující všechny 3 transformace – Brightness, Greenness i Wetness:

LINEARCOMB ( \$n1\_PROMPT\_USER , \$n2\_Custom\_Float )

Druhá funkce definuje masku jen pro získání transformace Greenness: \$n4\_temp(2), třetí pak masku pro transformaci Wetness: \$n4\_temp(3).

Podobně tomu bylo i případě analýzy hlavních komponent, která se v ERDAS IMAGINE skrývá v nabídce *Image Interpreter – Spectral Enhancement – Principal Comp...* Model PCA byl upraven tak, aby výsledkem byla jen 2. komponenta, tj. komponenta která nejvíce koreluje s výskytem vegetace.

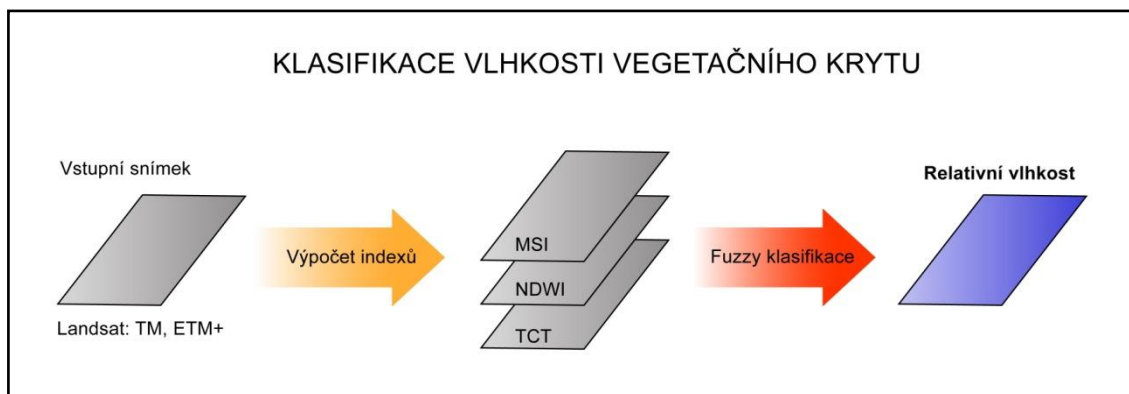


**Obr. 10:** Grafický model pro tvorbu 2. komponenty PCA

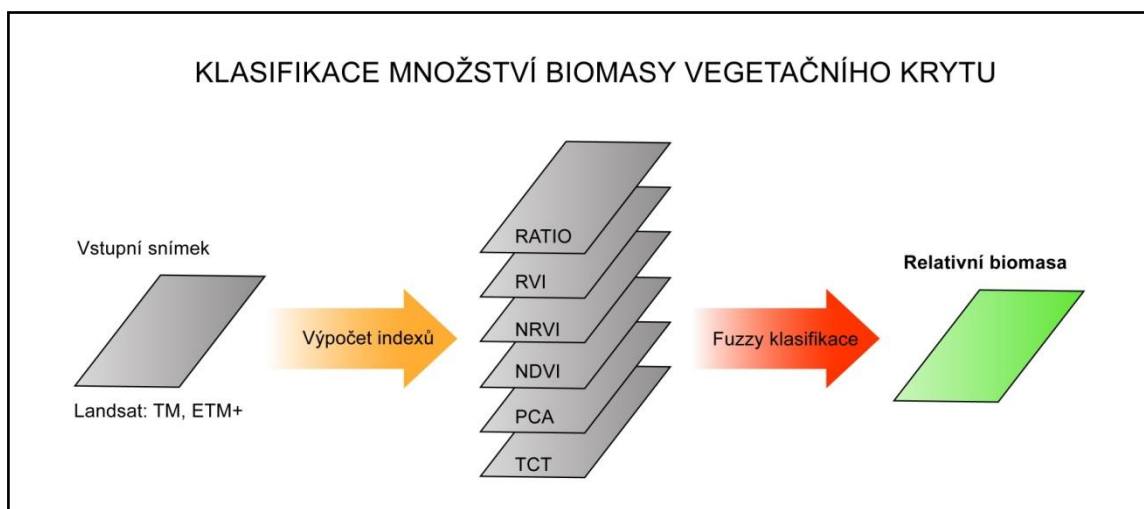
Funkce 1 počítá kovarianci snímku, neboli míru vzájemné vazby pixelů mezi jednotlivými pásmy: COVARIANCE ( \$n1\_PROMPT\_USER ), která se запиše ve formě matice. Druhá funkce vypočítává matici charakteristických vektorů: EIGENMATRIX ( \$n3\_Output ) [19], třetí provádí její transpozici: MATTRANS ( \$n12\_Output ) [19], a čtvrtá definuje lineární kombinaci transponované matice se vstupním snímkem: LINEARCOMB ( \$n1\_PROMPT\_USER , \$n11\_Output ). Tím vznikne dílčí vrstva, ze které poslední funkce oddělí jen druhou komponentu: \$n7\_memory (2).

### 4.3.2 Relativní vlhkost a biomasa

Klasifikace vlhkosti a biomasy vegetačního krytu byla provedena na základě hodnocení již zmíněných spektrálních indexů. Každý index může mít své výhody a zároveň nevýhody, které ovšem nelze bez terénního měření dokázat. V případě, že nejsou k dispozici referenční data, je možné k hodnocení klasifikace přistupovat relativně [6, 47]. Zvolený postup je znázorněn na obr. 11 a 12.



**Obr. 11:** Schéma pro výpočet relativní vlhkosti vegetačního krytu



**Obr. 12:** Schéma pro výpočet relativního množství biomasy vegetačního krytu

Nejdříve bylo zjištěno, jak se množství vlhkosti a biomasy projevuje v určitých spektrálních pásmech. Poté byly vypočítány indexy, které byly podrobeny analýze.

MSI zde vykazuje opačný trend než index NDWI a transformace Wetness. S rostoucí hodnotou indexu se vlhkost vegetace snižuje, což je zřejmě důvod, proč bývá používán k detekci sucha. Pokud je ale použit inverzní MSI, pak je vidět, že jsou si



spolu s NDWI dost podobné. NDWI je oproti MSI zvýhodněn, protože má díky normalizovanému tvaru rovnice schopnost minimalizovat vlivy topografie a vytváří lineární stupnice měření s normálním rozdělením. Při vizuálním porovnání ale nejsou patrné žádné výrazné rozdíly. Stejně tak tomu je i v porovnání s Wetness. Hodnoty této transformace jsou však rozloženy v mnohem širším intervalu, takže umožňují větší rozlišení zkoumaných charakteristik. Srovnání vlhkostních indexů je v příloze 1.

Ze studia indexů pro detekci biomasy (příloha 2 a 3) vyplývá, že odlišný trend vykazuje index RVI a NRVI, u nichž se s rostoucí hodnotou snižuje množství biomasy. Po úpravě, jako v případě vlhkostních indexů, byla vidět korelace mezi RATIO, RVI, NRVI, NDVI i transformací Greenness. Hodnoty Greenness ovšem pokrývají mnohem širší interval, a proto má výhodu většího rozlišení vůči ostatním. Jen druhá komponenta PCA je od ostatních na první pohled odlišná. Je to z důvodu toho, že reprezentuje různost vegetačního krytu.

**Tab. 7:** Získané hodnoty spektrálních indexů pro povodí Trkmanky v červenci 2007

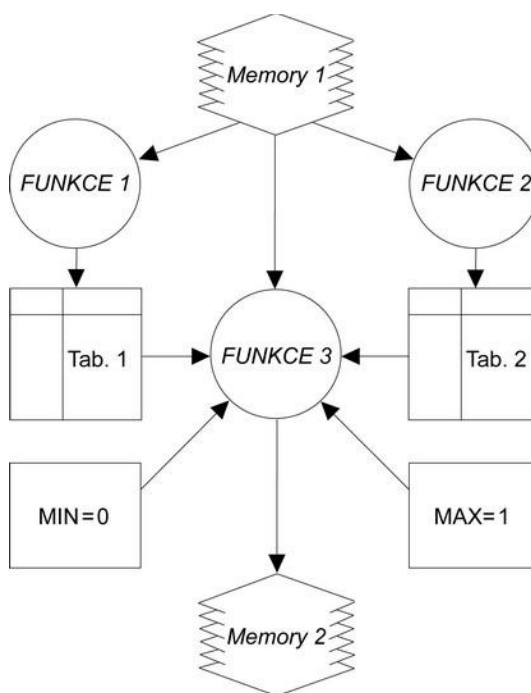
Index	MIN	MAX
<b>MSI</b>	0,268	3,984
<b>NDWI</b>	-0,598	0,576
<b>TCT (Wetness)</b>	-241,096	62,946
<b>RATIO</b>	0,465	6,619
<b>RVI</b>	0,151	2,148
<b>NRVI</b>	-0,737	0,364
<b>NDVI</b>	-0,364	-0,737
<b>PCA (2. komponenta)</b>	14,176	332,405
<b>TCT (Greenness)</b>	-123,356	75,848

Pro další hodnocení indexů byla vybrána metoda tzv. fuzzy klasifikace (kapitola 3.2). Podle toho, zda se vzrůstající množství projevovalo zvyšující se, nebo snižující se hodnotou pixlů, byly jednotlivé indexy reklasifikovány do intervalu (0; 1), kde 0 značila nejnižší a 1 naopak nejvyšší množství.

Většina se jich projevuje tak, že pixely s nejnižší hodnotou odpovídají i nejnižšímu množství těchto charakteristik. Jak již bylo řečeno, v případě indexů MSI, RVI a NRVI

tomu ale bylo naopak. Byly proto reklasifikovány opačným způsobem, aby odpovídaly stejnému měřítku jako ostatní.

K tomuto hodnocení byl z důvodu automatizace využit také nástroj Model Maker. Z každého indexu, který byl v modelu pro relativní klasifikaci uložen jako dočasná vrstva *Memory 1* (obr. 13), bylo pomocí první funkce vypočítáno globální minimum:  $GLOBAL\ MIN ( \$n1\_temp )$ . Pomocí druhé funkce pak globální maximum:  $GLOBAL\ MAX ( \$n1\_temp )$ , a obě hodnoty byly zapsány do tabulek ( $\$n15\_Output$ ,  $\$n16\_Output$ ). Jako skalární číslo typu *float* bylo definováno nové minimum a maximum, tj. 0 a 1 ( $\$n5\_Float$ ,  $\$n6\_Float$ ). Třetí funkcí pak byla získána finální reklasifikace, která byla také uložena jako dočasná vrstva *Memory 2*:  $(\$n1\_temp - \$n15\_Output) * (\$n6\_Float - \$n5\_Float) / (\$n16\_Output - \$n15\_Output) + \$n5\_Float$ .



**Obr. 13:** Grafický model pro reklasifikaci původních indexů

Závěrečnou fází klasifikace zkoumaných charakteristik bylo sečtení všech dočasných vrstev. Výsledkem jsou tedy modely ve formátu *GMD*, které jsou znovu spustitelné i na jiné snímky než-li byly použity v této práci. Oba modely – jak pro relativní vlhkost (příloha 4), tak pro získání relativního množství biomasy (příloha 5) byly upraveny, aby byly aplikovatelné na jakékoliv snímky ze senzorů TM a ETM+.

Všechny zmíněné modely indexů i klasifikací jsou přiloženy k práci na CD.

## 4.4 Odhad množství biomasy

Jedním z cílů práce bylo odhadnout množství nadzemní biomasy vegetačního krytu. Tímto tématem se již zabýval např. Ravan (1996), který pomocí satelitních snímků odhadoval množství biomasy v národním parku Madhav v Indii. Popisuje jak metody pozemního měření, tak techniku statistického vzorkování a modelování se samotnými daty. Mapování biomasy v tropickém deštném lese popsal Foody (2003), jehož práce byla zaměřena na srovnání přístupů pro odhad a mapování lesní biomasy na ostrově Borneo. Řeší metodu vegetačních indexů a mnohonásobné regresní analýzy, před nimiž upřednostňuje metodu tzv. neuronových sítí. Lefsky (2001) se dále zabývá srovnáním množství nadzemní biomasy získané pozemním měřením spolu s daty z LIDARu, které byly sesbírány ve třech biomech – v mírném listnatém, mírném jehličnatém a boreálním jehličnatém pásmu. V našich zeměpisných šířkách se tomuto tématu věnuje Matějka (2009), jež ve své práci stanovuje množství nadzemní biomasy pomocí satelitních snímků v oblasti Čertova jezera na Šumavě.

### 4.4.1 Stanovení biomasy

Ať už jsou zvoleny jakékoliv metody, vždy jsou k tomu zapotřebí referenční data se stanovenou biomasou. Metodami jejich sběru se zabývá např. Moravec (1994), který tvrdí že v současné době se stanovení biomasy užívá hlavně při studiu primární produkce rostlinných společenstev. Užívají se proto metody váhového či objemového stanovení.

Při přímém stanovení biomasy se odřezou nadzemní části všech rostlin v několika odběrových ploškách (většinou o ploše 1 m<sup>2</sup> pro bylinné patro). Odřezané části se roztřídí podle druhů, usuší se při teplotě cca 60 °C a sušina se zváží. Podíl populací jednotlivých druhů se vyjádří v procentech celkové hmotnosti sušiny. Někdy se používá stanovení objemu biomasy populací jednotlivých druhů; měří se ponořením čerstvých nadzemních částí rostlin do kapaliny v odměrných nádobách. [21]

Oba postupy jsou velmi pracné a časově náročné a přes jejich přesnost vyvstává problém reprezentativnosti výsledků v souvislosti s velikostí odběrových plošek a jejich nezbytným počtem. Přímý odběr znamená navíc zničení části společenstva a pro většinu fytoocenologů je proveditelný jen u bylinné vegetace. [21]

Jsou to tzv. destruktivní metody, které z důvodu výskytu soukromých pozemků v povodí Trkmanky uskutečnit nešlo. Množství biomasy se navíc v průběhu roku mění v závislosti na fenologické fázi rostlin, a proto by nemělo smysl měřit v jiných měsících než v těch, ze kterých jsou pořízené satelitní snímky. K získání referenčních dat byly tudíž uplatněny tzv. nedestruktivní metody – metody dálkového průzkumu Země. Byly použity poznatky o spektrálním chování zemědělských plodin, dále studium výskytu průměrných hodnot biomasy dané oblasti a data ČSÚ.

Podle Blažka (2008), který popsal spektrální chování vybraných zemědělských plodin, byly v povodí Trkmanky identifikovány některé zemědělské plochy. Na základě odlišného spektrálního projevu v květnu, červenci a srpnu byly vybrány reprezentativní plochy s pšenicí, ječmenem, řepkou a mákem. Z nich byly získány hodnoty relativního množství biomasy (viz. předchozí kapitola) a vypočítán průměr pro každou plodinu.

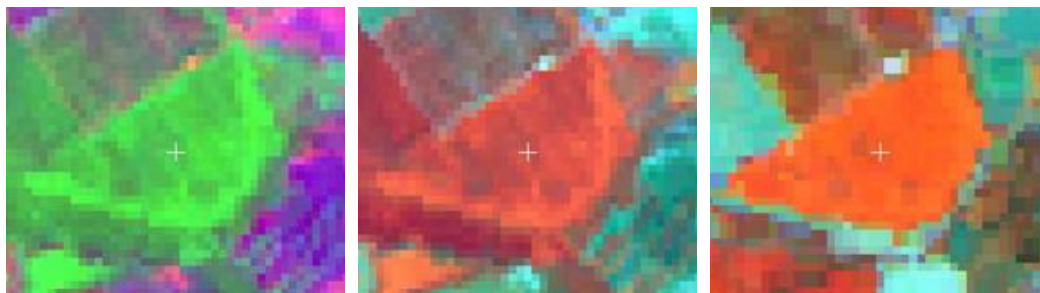
Na následujících obrázcích jsou znázorněny některé barevné syntézy zmíněných plodin tak, jak byly identifikovány v povodí Trkmanky.



**Obr. 14:** Spektrální projev řepky: 321 – květen, 453 – květen, 453 – červenec



**Obr. 15:** Spektrální projev ječmene: 347 – květen, 453 – květen, 453 – červenec



**Obr. 16:** Spektrální projev pšenice: 347 – květen, 453 – květen, 453 – červenec



**Obr. 17:** Spektrální projev máku: 321 – květen, 453 – květen, 453 – srpen

Zemědělské plodiny obvykle dosahují nejvyššího množství nadzemní biomasy v době zrání, tj. v době sklizně. Vzhledem k tomu, že k dispozici byl snímek z 20. 7. (v době těsně před nebo v průběhu sklizně), mohlo být množství biomasy odvozeno z průměrného výnosu každé plodiny.

Údaje o průměrném výnosu plodin pro rok 2007 byly získány z webových stránek ČSÚ. Tyto čísla ovšem vyjadřují celkové množství nadzemní biomasy. Podle [40] je ale biomasa definována jako organická hmota, která se vyjadřuje hmotností sušiny na jednotku plochy. Např. [27] a [34] tvrdí, že typické množství sušiny čerstvé plodiny se pohybuje okolo 85 %. Na základě tohoto předpokladu byly hodnoty výnosů přepočítány na množství biomasy.

**Tab. 8:** Průměrný výnos a obsah sušiny (biomasy) vybraných plodin v jihomoravském kraji v roce 2007

Plodina	Výnos (t/ha)	Sušina (85 %)
<b>Pšenice</b>	4,63	3,94
<b>Ječmen</b>	4,54	3,86
<b>Řepka</b>	3,02	2,57
<b>Mák</b>	0,58	0,49

Zdroj dat: ČSÚ

V případě lesů tato metoda použit nejde a je celkově obtížné určit množství biomasy bez terénního měření. Díky vertikální pásmosti, nelze takto vypočítat reálné množství ve spodních patrech. Lesy mají, na rozdíl od zemědělských ploch, patra 4: mechové, bylinné, keřové a stromové, a nejvyšší stromové pásmo překrývá na satelitních snímcích ostatní 3.

Pro analýzu lesního porostu se v ekologických studiích často používá tzv. LAI index (index pokrývnosti), který vyjadřuje plochu asimilačních orgánů nad určitou plochou porostu [40]. Jinými slovy  $LAI = \text{plocha listů} / \text{plocha povrchu půdy}$ . Problematikou

LAI indexu se zabývá např. Asner (2003), který ve své práci řeší rozložení pokryvnosti v rámci různých biomů Země. Určením tohoto indexu lze zjistit pokryvnost lesním porostem, ale ne množství biomasy.

Slavíková (1986) tvrdí, že v opadavých lesích mírného pásma je průměrný výskyt biomasy okolo 30 t/ha. Podle [27] a [40] je akumulace organické hmoty a živin v nadzemní části tohoto ekosystému až 152 t/ha, což je mnohokrát více než v případě zemědělských ploch. Primární produkce lesů je navíc dvakrát vyšší než je průměr zemědělských půd [40]. Je proto zřejmé, že i biomasa lesního porostu bude nabývat vyšších hodnot než již zkoumané plodiny s nejvyšším množstvím biomasy.

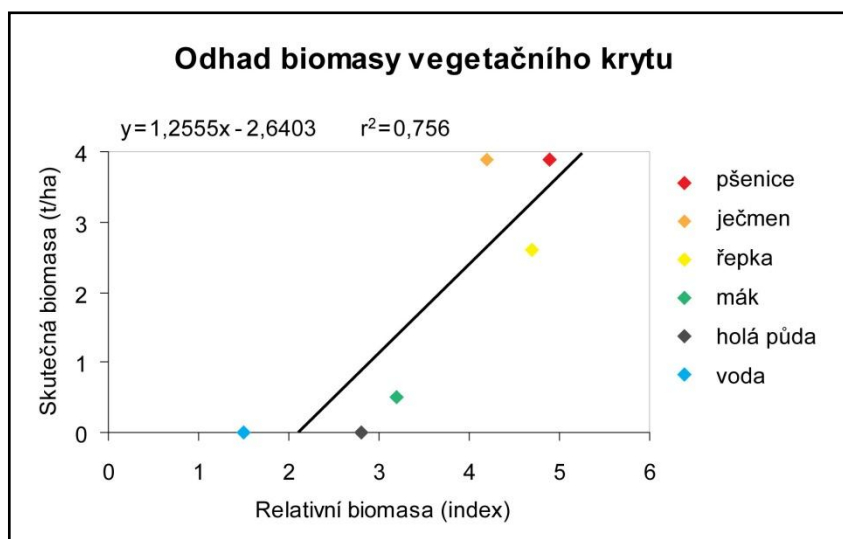
Rozložení biomasy je ale značně variabilní. Při vyhodnocení satelitních snímků není brán v úvahu výskyt vegetačního krytu ve spodních patrech lesa, a proto i při získávání hodnot biomasy jsou údaje na těchto plochách zkreslené (často nižší než na zemědělských plochách).

Pomocí řízené klasifikace byly tedy lesy vyjmuty z dalšího hodnocení a bez ohledu na skutečnou biomasu, jim byla přiřazena kategorie s nejvyšším obsahem biomasy.

#### **4.4.2 Klasifikace snímku**

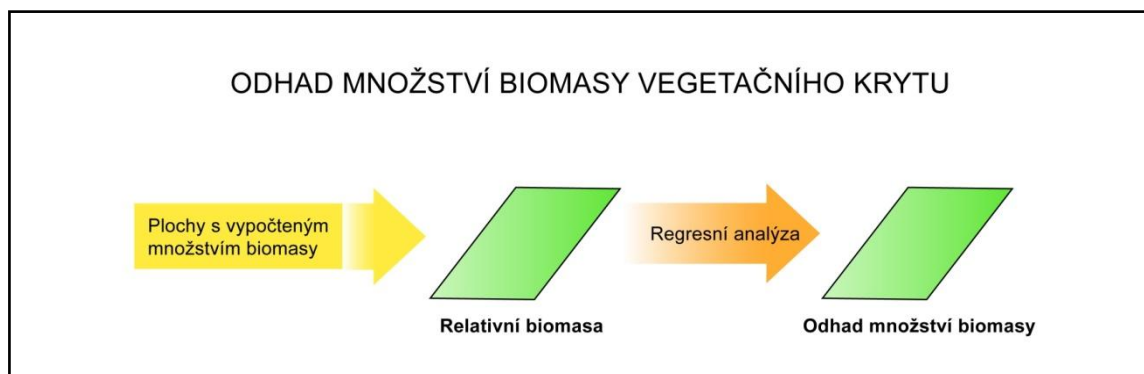
Finální částí zpracování satelitních snímků bývá klasifikace obrazu. Podle Dobrovolného (1998) je to proces, při kterém je jednotlivým obrazovým prvkům přiřazován určitý informační význam. Radiometrické charakteristiky původního snímku, které vyjadřují spektrální vlastnosti objektů a jevů, jsou tak nahrazeny hodnotami, které vyjadřují tzv. informační třídy.

Pro klasifikaci byla připravena referenční data získána stanovením množství biomasy zemědělských plodin (kapitola 4.4.1). Zbývající data pak byla dopočítána pomocí regresní analýzy. Do regresní rovnice byly dosazeny hodnoty jejich průměrné sušiny a odpovídající hodnoty relativního množství biomasy (kapitola 4.3.2). Navíc byly přidány hodnoty vody a holé půdy, kterým odpovídala nulová biomasa.



**Obr. 18:** Graf regresní analýzy pro odhad biomasy

Z lineární regresní přímky byly zjištěny hodnoty relativní biomasy, které odpovídaly mezním hodnotám definovaných kategorií skutečné biomasy (<1, 1–2, 2–3, 3–4 t/ha). Podle nich byl pak celý výsledek relativní biomasy reklasifikován. Nakonec byla přidána kategorie lesa, jejíž referenční data nevstupovala do regresní rovnice, ale které byla přiřazena kategorie s množstvím vyšším než 4 t/ha. Výsledek je v příloze 8.



**Obr. 19:** Schéma pro odhad množství biomasy vegetačního krytu

V tab. 9 je uvedena rozloha kategorií množství biomasy podle druhu využití země v červenci 2007. V tab. 10 pak jejich procentuální zastoupení. Je patrné, že nejvíce je zastoupena kategorie s množstvím méně než 1 t/ha, ve které dominuje orná půda. Tu následuje kategorie 2–3 t/ha, ve které opět nejvíce přispívá orná půda. Více než 5 % zastoupení v ní mají sady, zahrady a vinice, a necelé 3 % zaujímají lesy. Kategorii 1–2 t/ha tvoří hlavně orná půda s více než 11 % a sady, zahrady a vinice s téměř 9 %.

Kategorie 3–4 t/ha je zastoupena minimálně, zatímco v kategorii s množstvím vyšším než 4 t/ha je hlavní složkou lesní porost.

**Tab. 9:** Rozloha kategorií množství biomasy podle druhu využití země v roce 2007

Landuse (km <sup>2</sup> )/ Biomasa (t/ha)	Les	Louka	Orná půda	Sady <sup>1</sup>	Vodní plocha	Ostatní	Celkem
> 4	59,1	0,4	2,0	0,3	0,1	0,0	<b>61,9</b>
3–4	0,8	0,1	13,7	0,2	0,0	0,0	<b>14,8</b>
2–3	10,4	7,0	63,0	19,4	0,3	1,6	<b>101,7</b>
1–2	2,1	6,0	43,3	33,0	0,4	9,1	<b>94,0</b>
< 1	0,3	0,6	95,6	1,9	0,6	7,5	<b>106,5</b>

<sup>1</sup> sady, zahrady a vinice

**Tab. 10:** Procentuální podíl kategorií množství biomasy podle druhu využití země v roce 2007

Landuse (%)/ Biomasa (t/ha)	Les	Louka	Orná půda	Sady <sup>1</sup>	Vodní plocha	Ostatní	Celkem
> 4	15,6	0,1	0,5	0,1	0,0	0,0	<b>16,3</b>
3–4	0,2	0,0	3,6	0,1	0,0	0,0	<b>3,9</b>
2–3	2,7	1,8	16,6	5,1	0,1	0,4	<b>26,9</b>
1–2	0,6	1,6	11,4	8,7	0,1	2,4	<b>24,8</b>
< 1	0,1	0,2	25,2	0,5	0,2	2,0	<b>28,1</b>

<sup>1</sup> sady, zahrady a vinice

## 4.5 Vývoj vlhkosti a biomasy

Při srovnání výsledků klasifikace relativní vlhkosti a relativního množství biomasy v jednotlivých letech lze pozorovat vývoj závisející na fenologické fázi rostlin.

Pomocí příkazu *Image Interpreter – Utilities – Change Detection...* byly porovnány obě charakteristiky podle kalendářních měsíců použitých snímků (příloha 6 a 7).

Ukázalo se, že vlhkost i biomasa vykazují podobný vývoj. Mezi květnem a červencem vzroste jejich množství převážně v lesích, trochu méně pak na orné půdě, v sadech, zahradách a vinicích, loukách i pastvinách. O více než 10 % tak toto množství biomasy stoupl na 196,8 km<sup>2</sup> zájmového území. U vlhkosti tomu bylo na 193,1 km<sup>2</sup>. Některé druhy pokryvu vykazovaly na části území zvýšení a na jiné části snížení, a proto lze nalézt takové, které jsou zařazeny do obou kategorií. Ke snížení došlo



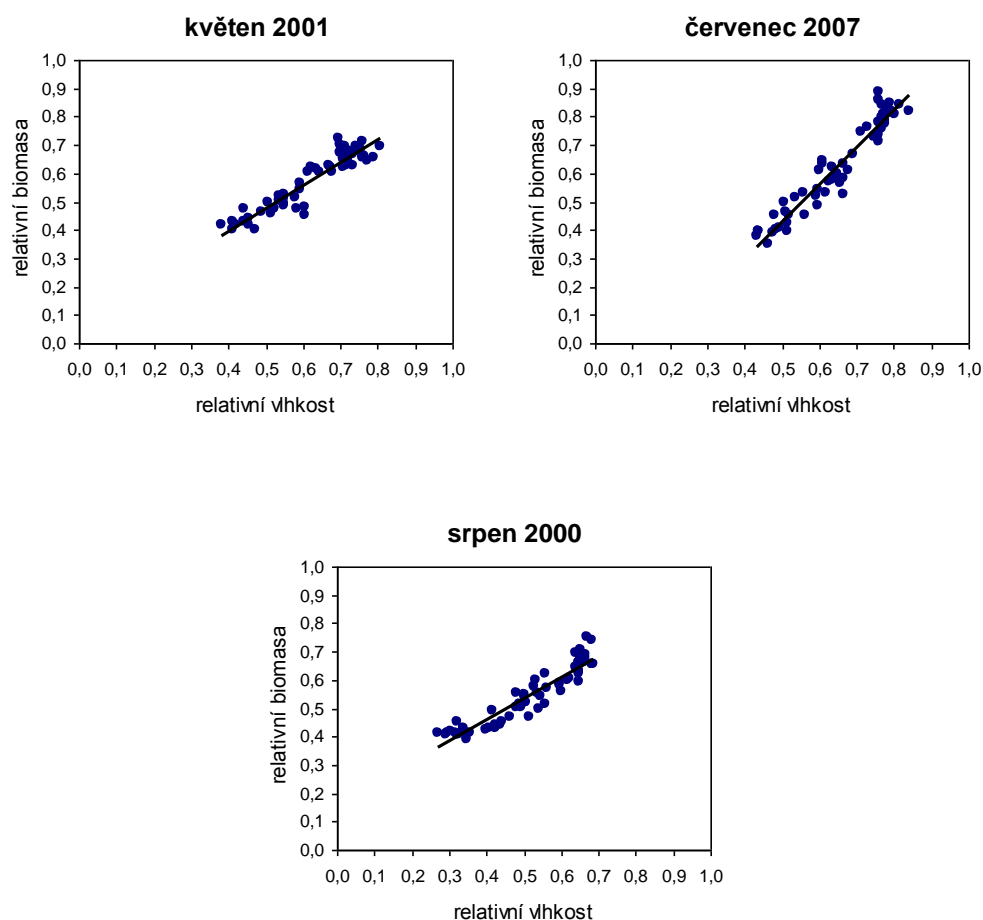
výhradně u orné půdy, což je zřejmě dáno sklizní zemědělských plodin. Množství biomasy se snížilo u 111,1 km<sup>2</sup> a vlhkost u 102,3 km<sup>2</sup>.

Mezi červencem a srpnem se množství daných charakteristik zvýšilo jen minimálně a to hlavně na orné půdě, což je výsledkem toho, že některé zemědělské plodiny se sklízí později. Biomasa tak vzrostla na 46,4 km<sup>2</sup> a vlhkost na 77,6 km<sup>2</sup>. Naopak ke snížení množství došlo téměř na všech typech vegetačního krytu. Biomasa se snížila na 216 km<sup>2</sup> a vlhkost dokonce na 292,2 km<sup>2</sup>. Většina orné půdy už totiž bývá sklizena, u lesních porostů dochází k opadávání listů a louky a pastviny nemají tak vitální porost jako v předchozím období.

Další možností je srovnání statistických ukazatelů, jakým může být průměr nebo výskyt nejčastějších hodnot (modusů). Pro porovnání projevu obou charakteristik byly vybrány náhodné plochy zastupující druh vegetačního pokryvu. Z hodnot ploch každého povrchu byl zjištěn průměr a ten byl promítnut do histogramů klasifikací relativní vlhkosti a relativního množství biomasy. Podle nich lze zjistit, jak se daný povrch projevuje v rámci rozložení hodnot zkoumaných charakteristik (příloha 9). Nutno však dodat, že tato ilustrace závisí na vybraných plochách a nelze ji brát za stěžejní pro celý snímek.

#### **4.6 Závislost mezi vlhkostí a biomasou**

Při řešení práce vyvstala otázka, jak moc spolu zkoumané charakteristiky vegetačního krytu souvisí. Za tímto účelem bylo vybráno 60 náhodných bodů, tak aby byly zastoupeny všechny druhy využití země. V těchto bodech byly zjištěny hodnoty relativní vlhkosti a zároveň hodnoty relativního množství biomasy. Po použití regresní analýzy se ukázalo, že obě charakteristiky jsou téměř lineárně závislé. Množství biomasy záleží na množství vlhkosti a to platí i v opačném případě.



**Obr. 20:** Závislost mezi vlhkostí a biomasou v květnu, červenci a srpnu

Tento fakt potvrzují i výsledky řečené v předchozí kapitole. Přesto se hodnoty na některých plochách liší. Pro ukázkou byl porovnán snímek vlhkosti a biomasy z roku 2007, na kterém byly zaznamenány větší či menší odchylky od tohoto trendu (příloha 10). Největší odchylka byla zjištěna v lesních porostech, kde se některé hodnoty vzdalují až o více než 30 %.

## 4.7 Vizualizace

Získaný odhad množství biomasy byl pro potřeby lepší interpretace shlazen nízkofrekvenčním majoritním filtrem s filtrovacím oknem 5×5 pixelů. Ten byl aplikován pomocí příkazu *Raster – Tools – Statistical filter...*

Veškeré mapové výstupy (v příloze) byly nakonec upraveny v softwaru ArcGIS, kde jim byly přidány nezbytné kompoziční prvky, jakými jsou nadpis, legenda, měřítko a tiráž.

## 5. Výsledky

Výsledkem práce je ucelený přehled o analýzách vlhkostních parametrů a biomasy vegetačního krytu, u kterého byly zkoumány dvě charakteristiky – vlhkost a biomasa. V prvním případě šlo o klasifikaci relativní vlhkosti, a v druhém o klasifikaci relativní biomasy a odhad skutečného množství nadzemní biomasy. Vše bylo založeno na aplikaci spektrálních indexů, k jejichž hodnocení byla využita metoda fuzzy klasifikace.

Nejprve byly vybrány vhodné indexy jak pro klasifikaci vlhkosti, tak pro klasifikaci biomasy. Pro ně byly vypracovány modely ve formátu *GMD*, které jsou spustitelné v prostředí Model Maker v softwaru ERDAS IMAGINE. Konkrétně jde celkem o devět indexů – MSI, NDWI, RATIO, RVI, NRVI, NDVI, 2. komponentu PCA a 2. a 3. transformaci TCT, které lze znovu použít pro klasifikaci snímků ze senzorů TM a ETM+. Na základě jejich studia bylo zjištěno, že vybrané indexy, jak pro detekci vlhkosti, tak pro detekci biomasy, spolu značně korelují. Výjimku tvoří jen MSI, RVI a NRVI, které vykazují opačný trend než ostatní, tj. s rostoucí hodnotou indexu se množství sledovaných charakteristik snižuje. V případě 2. komponenty PCA je viditelný odlišný projev, který je dán tím, že PCA spíše než množství reprezentuje různost vegetačního krytu.

Podobně byly vypracovány i klasifikace relativní vlhkosti a relativního množství biomasy. Ty jsou společně s modely samotných spektrálních indexů uloženy na CD, kde jsou optimalizovány jak pro senzor TM, tak pro ETM+. U výsledků těchto klasifikací byl zjišťován vývoj v čase z hlediska různých fenologických fází a závislost mezi oběma charakteristikami.

Obecně lze říci, že vlhkost a množství biomasy spolu značně souvisí. Při srovnání mezi květnem a červencem byla zaznamenána hlavně jejich vzrůst (pokles jen na orné půdě), zatímco mezi červencem a srpnem jejich pokles. Obě charakteristiky jsou na sobě téměř lineárně závislé s výjimkou některých ploch lesního porostu.

Byly vytvořeny mapové výstupy, na kterých jsou znázorněny použité spektrální indexy, vývoj relativní vlhkosti a relativního množství biomasy, odhad množství skutečné biomasy a také odchylka od lineární závislosti obou zkoumaných charakteristik.

Na závěr byl vytvořen poster dokumentující jednotlivé fáze práce a její výsledky.

## 6. Diskuze

Diplomová práce Analýzy vlhkostních parametrů a biomasy vegetačního krytu pomocí metod DPZ se zabývá tématem, které hraje významnou roli při posuzování stavu, vývoje a vůbec celkové funkce vegetačního krytu v rámci celého ekosystému Země. Právě vlhkost je jedním z důležitých faktorů, který ovlivňuje stav vegetace a tím i množství biomasy.

Prvním úskalím práce byla samotná definice pojmu biomasa. Někteří autoři ji definují jako podíl sušiny organické hmoty a někteří jako veškerou organickou hmotu. Tato nejednoznačnost ovlivňuje určení jejího skutečného množství. V případě této práce bylo vycházeno z ekologického výkladu tohoto pojmu. Výsledek odhadu množství biomasy je tedy přepočítán jako podíl sušiny.

Hodnocení vlhkosti i biomasy je ovlivněno výběrem spektrálních indexů. Těch již dnes existuje velké množství. Často jsou to ale jen modifikace indexů použitých v této práci. Přesto po aplikaci jiných indexů lze zřejmě dojít i k mírně odlišným výsledkům.

Jako nejzásadnější problém hodnotím absenci referenčních dat z terénního měření. Díky tomu nelze brát výsledky odhadu skutečného množství biomasy jako stěžejní, ale jen jako ilustrativní pohled na zájmové území. Ze stejného důvodu nešlo tyto výsledky ověřit.

Naopak přínosem pro mě bylo hlubší seznámení se s programovými prostředky pro zpracování dat dálkového průzkumu Země, zejména pak prostředím Model Maker. Jeho uživatelské rozhraní není graficky moc propracované, a proto zřejmě nepůsobí na uživatele příjemně. Je to ovšem poměrně silný nástroj, který dokáže řadu kroků zautomatizovat a zároveň umožňuje použití funkcí, které se nenacházejí v běžné nabídce softwaru ERDAS IMAGINE.

Myslím, že tato práce by mohla posloužit jako návod pro další práce řešící podobnou problematiku.

## 7. Závěr

Cílem diplomové práce bylo poskytnout přehled o analýzách vlhkostních parametrů a biomasy vegetačního krytu pomocí metod dálkového průzkumu Země. V případě analýzy vlhkosti šlo o klasifikaci vlhkosti vegetace a v případě analýzy biomasy o klasifikaci a odhad množství nadzemní biomasy. Součástí byla realizace těchto analýz na zájmovém území.

Textová část je věnována popisu analýz, vysvětlení pojmů a základních principů projevu vegetace na satelitních snímcích z hlediska zkoumaných charakteristik. Dále jsou tu popsány použité metody a celý proces zpracování.

V praktické části byly řešeny vybrané analýzy na zájmovém území povodí Trkmanky. Ty byly založeny na aplikaci spektrálních indexů a jejich hodnocení, které byly modelovány v prostředí Model Maker softwaru ERDAS IMAGINE. Byla zjišťována relativní vlhkost, relativní množství a odhad množství biomasy vegetačního krytu. Pomocí statistických ukazatelů byla zkoumána závislost mezi nimi jak z hlediska fenologických fází, tak z hlediska druhu využití země.

Výsledkem je ucelený přehled o analýzách vlhkostních parametrů a biomasy, o jejich charakteristikách, vývoji a závislosti mezi nimi. Dále jsou to modely ve formátu *GMD*, které jsou spustitelné v prostředí Model Maker, mapové výstupy, a poster dokumentující jednotlivé fáze a výsledky práce.

Domnívám se, že stanovené cíle diplomové práce byly splněny a její výsledky mohou posloužit k dalšímu studiu této problematiky nebo ke studiu zájmového území.

## 8. Summary

The diploma thesis called Analyses of Moisture Parameters and Biomass of Vegetation Cover using Remote Sensing methods was solved at the Department of Geoinformatics of Palacky University in Olomouc.

The aim of the diploma thesis was to provide a summary of analyses of moisture parameters and biomass of vegetation cover using remote sensing methods. The moisture analysis was focused on a moisture classification of vegetation. The biomass analysis was concerned to a biomass classification and an estimation of biomass quantity. Part of this thesis was a realization of mentioned analyses in the location of interest.

The theoretical part of the work is devoted to a description of analyses, an explanation of terms and basic principles of vegetation display on satellite images from a view of studied characteristics. It is followed by a description of methods and procedures of processing.

In the practical part selected analyses were solved in the Trkmanka basin. These analyses were based on an application of spectral indices and their evaluation. Indices were created using the Model Maker tool in the ERDAS IMAGINE software. Based on a fuzzy classification the evaluation of indices was provided. There were found a relative moisture, relative amount of biomass and estimation of biomass quantity. A dependence among them were studied using statistical indexes as a view of phenological phases so a view of kind of land use.

Final results contain the summary of selected analyses, their characteristics and the dependence on each of the other. Moreover there are models in the *GMD* format, which are able to load in the Model Maker environment, map outputs and poster representing individual phases of the thesis.

## Použitá literatura

- [ 1 ] ASNER, G. et al. *Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies* [soubor pdf]. Global Ecology & Biogeography 12, 2003, 191-205.
- [ 2 ] BLAŽEK, P. *Současné změny v charakteru využití zemědělských ploch v Jihomoravském kraji* [soubor pdf]. Brno: Přírodovědecká fakulta MU, 2008, 68 s., Diplomová práce.
- [ 3 ] BRODSKÝ, L. *Objektově orientovaná fuzzy klasifikace krajinného pokryvu se zaměřením na zemědělskou krajinu* [soubor pdf]. Praha, 6 s.
- [ 4 ] BROM, J. *Odhady biomasy a produkce pomocí dálkového průzkumu Země* [soubor pdf]. LAE ZF JU a ENKI o.p.s., 8 s.
- [ 5 ] DOBROVOLNÝ, P. *Dálkový průzkum Země - Digitální zpracování obrazu*. Brno: Přírodovědecká fakulta MU, 1998. 208 s. ISBN 80-210-1812-7.
- [ 6 ] EASTMAN, J. *Idrisi32 Release 2: Guide to GIS and Image Processing, Volume 2* [soubor pdf]. Clark Labs, USA, 2001, 151 s.
- [ 7 ] *ERDAS Field Guide* [soubor pdf]. Leica Geosystems GIS and Mapping. 2005. 674 s.
- [ 8 ] *ERDAS IMAGINE Tour Guides* [soubor pdf]. Leica Geosystems GIS and Mapping. 2003. 636 s.
- [ 9 ] FOODY, G. et al. *Mapping the biomass of Bornean tropical rain forest from remotely sensed data* [soubor pdf]. Global Ecology and Biogeography, 2001, 10 s., 379-387.
- [ 10 ] FOODY, G. et al. *Predictive relations forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions* [soubor pdf]. Remote Sensing of Environment 85, 2003, 12 s., 463-474.
- [ 11 ] HUANG, C. et al. *Derivation of a Tasseled Cap Transformation based on Landsat 7* [soubor pdf]. USGS EROS Data Center, USA, 10 s.
- [ 12 ] JUAN, C. *Understanding the relationships between land surface temperature and remote sensing indices using multivariate stepwise regression methods and remote sensing techniques* [soubor pdf]. Taiwan, 2 s.
- [ 13 ] LEA, R. et al. *Using the Tasseled Cap Transformation to identify change in the Missouri Ozark Forests* [soubor pdf]. Columbia: University of Missouri, 12 s.
- [ 14 ] LEFSKY, M. *Lidar Remote Sensing of Aboveground Biomass in Three Biomes* [soubor pdf]. International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIV-3/W4, 2001, 6 s.
- [ 15 ] LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York, 1994. 750 s.
- [ 16 ] MATĚJKA, K. *Assessment of tree layer biomass and structure using serial photos in lake catchments of the Šumava Mts.* [soubor pdf]. Journal of Forest Science 55, 2009, 63-74, 12 s.
- [ 17 ] MIKYŠKA, R. et al. (1968): *Vegetace ČSSR – A2*. Geobotanická mapa ČSSR (1. České země). Praha, Academia, 131 s.
- [ 18 ] MIŠTERA, L. (1999): *Regionální geografie České republiky: socioekonomická geografie*. Západočeská univerzita, Plzeň, 165 s.

- [ 19 ] *Model Maker, Function Definition* [soubor pdf]. Leica Geosystems GIS and Mapping. 2003. 11 s.
- [ 20 ] NEDELJKOVIC *Image classification based on fuzzy logic* [soubor pdf]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. 34.
- [ 21 ] MORAVEC, J. a kol. *Fytocenologie*. Academia, Praha, 1994, 403 s., ISBN 80-200-0457-2
- [ 22 ] RAVAN, S. *Biomass estimation using satellite remote sensing data – An investigation on possible approaches for natural forest* [soubor pdf]. J. Biosci., Vol. 21, 535-561, 1996, 27 s.
- [ 23 ] SAMEC, P. *Metody zpracování v lesnickém monitoringu*. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, 2008, 132 s., ISBN 978-80-87154-24-3
- [ 24 ] SLAVÍKOVÁ, J. *Ekologie rostlin*. SPN, Praha, 1986.
- [ 25 ] VLČEK, V. et al. *Zeměpisný lexikon ČSR. Vodní toky a nádrže*. Academia, Praha, 1984
- [ 26 ] VOŽENÍLEK, V. *Diplomové práce z geoinformatiky*. Olomouc, 2002. 62 s.
- [ 27 ] VYSKOT, M. a kol. *Základy růstu a produkce lesů*. 1. vyd. Praha: SZN, 1971. 440 s.
- [ 28 ] WANG, L. *Tasseled Cap Transformation* [soubor pdf]. Mississippi State University, 2001, 1 s.

## Elektronické zdroje

- [ 29 ] *Biomasa* [online]. © 2009 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Biomasa>>.
- [ 30 ] *Co je to vlastně biomasa?* [online]. © 2000 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.calla.cz/index.php?path=energetika/seminare/nh&php=weger\\_nh.php](http://www.calla.cz/index.php?path=energetika/seminare/nh&php=weger_nh.php)>.
- [ 31 ] *Český statistický úřad* [online]. © 2009 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.czso.cz/>>.
- [ 32 ] *Ekotony GIS* [online]. © 2007 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.geoinformatics.upol.cz/ekotony/uzemi.php>>.
- [ 33 ] *ERDAS IMAGINE* [online], © 1992–2008 [cit. 2008-10-10]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.arcdata.cz/software/leica-geosystems/erdas-imagine>>.
- [ 34 ] HONZÍK, R. *Zmapování potenciálu lesní a zemědělské půdy Jihočeského kraje na energetické využití biomasy a jeho prostorové rozmístění* [online, soubor doc]. Chomutov, 2003 [cit. 2009-04-25], 13 s. Dostupný z WWW:  
<[http://www.smojk.cz/soubory/200007/biomasa\\_\\_cast\\_spolecna.doc](http://www.smojk.cz/soubory/200007/biomasa__cast_spolecna.doc)>
- [ 35 ] *Landsat 7 Compositor* [online]. © 2005 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://landsat.gsfc.nasa.gov/education/compositor>>.
- [ 36 ] *Landsat 7 Program* [online]. © 2009 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<[http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook\\_htmls/chapter1/chapter1.html](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter1/chapter1.html)>.
- [ 37 ] LANGHAMMER, J. *Modelování s daty DPZ* [online]. © 2006 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <[www.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/vtfg2/prednasky/dpz\\_4/DPZ\\_prednaska\\_4.pdf](http://www.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/vtfg2/prednasky/dpz_4/DPZ_prednaska_4.pdf)>.
- [ 38 ] *NDWI* [online]. © 2008 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.vgt4africa.org/ViewContent.do?pageId=27>>.
- [ 39 ] *NDWI* [online]. © 2009 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://edo.jrc.ec.europa.eu/php/index.php?action=view&id=34>>.



- [ 40 ] *Primární a sekundární produkce* [online]. [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<[http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta\\_EKOL/produkce/produkce.htm](http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/produkce/produkce.htm)>.
- [ 41 ] QUINN, J. *Band Combinations* [online]. © 2001 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://web.pdx.edu/~emch/ip1/bandcombinations.html>>.
- [ 42 ] *Response of Forest to Climatic Events and Human Management at Fort Leavenworth* [online]. © 2002 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.kgs.ku.edu/Current/2002/aber/aber3.html>>.
- [ 43 ] *The Landsat Program: The Thematic Mapper* [online]. © 2009 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/tm.html>>
- [ 44 ] *The Landsat Program: The Enhanced Thematic Mapper Plus* [online]. © 2009 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/etm+.html>>
- [ 45 ] *Trkmanka-CYKLOTRASY.cz* [online]. © 2003 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<[>](http://www.cyklostezky.cz/encyklopedie/objekty1.phtml?id=90110&&user=24&session=58348551&menu=&lng=))>.
- [ 46 ] SHORT, N. *The Remote Sensing Tutorial* [online]. © 2009 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://rst.gsfc.nasa.gov/>>.
- [ 47 ] *Vegetační analýza v aridním prostředí prostředí* [online, soubor pdf], [cit. 2009-04-25], 7.s. Dostupný z WWW: <[http://gisak.vsb.cz/~pen63/DPZ/Vegetation\\_Analysis.pdf](http://gisak.vsb.cz/~pen63/DPZ/Vegetation_Analysis.pdf)>
- [ 48 ] *Vodní režim rostlin* [online]. [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://mujweb.atlas.cz/veda/biologie/voda.htm>>.
- [ 49 ] *Eurimage* [online]. © 2009 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.eurimage.com/products/landsat.html>>.
- [ 50 ] *GLCF: Earth Science Data Interface* [online]. © 1997–2004 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW:  
<<http://glcfapp.umi.acs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>>.

## Seznam příloh

1. Spektrální indexy použité pro klasifikaci vlhkosti vegetačního krytu
2. I. Spektrální indexy použité pro klasifikaci biomasy vegetačního krytu
3. II. Spektrální indexy použité pro klasifikaci biomasy vegetačního krytu
4. Model pro výpočet relativní vlhkosti
5. Model pro výpočet relativní biomasy
6. Vývoj relativní vlhkosti vegetačního krytu
7. Vývoj relativního množství biomasy vegetačního krytu
8. Odhad množství biomasy vegetačního krytu
9. Srovnání projevu vlhkosti a biomasy podle druhu vegetačního pokrytu
10. Odchylka od lineární závislosti mezi biomasou a vlhkostí vegetačního krytu
11. Poster (volná)
12. CD-ROM (volná)