

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

HORIZONTALNÍ A VERTIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ VÝVOJE VEGETAČNÍHO KRYTU

Magisterská práce

Bc. Antonín BENC

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Vilém PECHANEC, Ph.D.

Olomouc 2015

Geoinformatika

ANOTACE

Diplomová práce vychází z myšlenky existence přístupů, které by poskytly přesnější informace o vývoji vegetačního krytu a mohly by tak následně sloužit pro zpřesnění erozních modelů. Hlavním cílem práce je rozdělen do 3 základních směrů – analýza datových zdrojů s důrazem na vývoj v čase, možnosti sledování horizontálního vývoje a modelování vertikálního rozložení a struktury. Zvolené metody a experimenty vychází z autorovy předchozí odborné práce, která se věnovala geoinformatickými alternativám stanovení C-faktoru modelu USLE. V teoretické rovině tato práce představuje řadu využitelných datových zdrojů pro environmentální aplikace s důrazem na vegetační složku. Dále se zabývá možnostmi hodnocení vegetačního krytu pomocí vegetačních indexů či modelováním horizontálního (Land Change Modeler, Molusce) a vertikálního rozložení (InVEST, Silvisim). Pro oba typy modelování je představena funkcionalita řady modelů. V praktické části byly využity metody terénního průzkumu a měření pro ověření využitelnosti NDVI, modelování změny ve využití půdy pro data CORINE Land Cover v povodí Dřevnice a Olšavy a modelování sekvestrace uhlíku a růstu lesního porostu. Důraz byl kladen na dostupnost dat, požadavky a možnosti modelů a přesnosti modelu. Všechny výstupy práce byly řádně okomentované a doplněny o grafické výstupy. Diplomová práce ukazuje vhodnost využití NDVI, srovnává užití horizontálních modelů a představuje postup využití modelu pro sekvestraci uhlíku. Na závěr hodnotí všechny přístupy ve vazbě na stanovení vegetačního C-faktoru modelu USLE.

KLÍČOVÁ SLOVA

modelování, vegetační kryt, vývoj, uhlík, LULC, DPZ, NDVI, eroze

Počet stran práce: 100

Počet příloh: 10 (z toho 4 volné)

ANOTATION

Diploma thesis is based on the idea of the existence of approaches which would provide more accurate information about the development of vegetation cover and could be used to refine subsequent erosion models. The main aim of the work is divided into 3 main directions - analysis of data sources, with emphasis on development over time, the possibility of monitoring the development of horizontal and vertical layout and modeling structure. Selected methods and experiments are based on the author's previous professional work, which were looking for geoinformatical alternatives to determine the C-factor model USLE. In theoretical part this work presents a number of useful data sources for environmental applications, with emphasis on vegetation component. It also deals with the possibilities of evaluation of vegetation cover using vegetation indices and modeling horizontal (Land Change Modeler, Molusce) and vertical distribution (InVEST, Silvisim). For both types of modeling functionality introduced many models. In practical part, there were used methods of field survey and measurements to verify the usability of NDVI, modeling land use change data for the Corine Land Cover in the basin Dřevnice and Olšava and also modeling of carbon sequestration and growth forest. Work is focusing on data availability, requirements and options of models and model accuracy. All outputs of work were properly annotated and complemented with graphical outputs. Thesis shows the desirability of using NDVI, compares the use of horizontal models and represents the progress of the recovery model for carbon sequestration. Finally evaluates all approaches in relation to the determination of the growing C-factor for model USLE.

KEYWORDS

modeling, vegetation cover, development, carbon, LULC, remote sensing, NDVI, erosion

Number of pages 100

Number of appendixes 10

Prohlašuji, že

- diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk diplomové práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- souhlasím, že údaje o mé diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Děkuji vedoucímu práce **Doc. RNDr. Vilému Pechancovi, Ph.D.** za podněty a připomínky při vypracování práce, velkou ochotu při konzultování a poskytování dat, softwaru a studijních materiálů. Dále děkuji kolegovi **Svatopluku Místeckému** za spolupráci při hodnocení SRS senzoru a ADC kamery a umožnění měření v experimentální výsadbě. Děkuji kolegovi **Bc. Radku Nedbalovi** za poskytnutí informací při zpracování dat pro software IDRISI Selva, modul Land Change Modeler. Děkuji Mgr. Adéle Skipalové za pomoc při zpracování a interpretaci snímků z ADC kamery. **Největší poděkování patří rodině a přátelům za dlouhodobou podporu.**

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

Zde je konec prvního oddílu, kde není číslování stránek. Následující strana patří již do druhého oddílu, který má nastaveno číslování stránek.

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

Zde je konec prvního oddílu, kde není číslování stránek. Následující strana patří již do druhého oddílu, který má nastaveno číslování stránek.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 CÍLE PRÁCE.....	12
2 POSTUP ZPRACOVÁNÍ A POUŽITÁ DATA.....	13
2.1 Postup zpracování	13
2.2 Použitá data	14
2.3 Použité programy	16
3 VÝVOJ VEGETAČNÍHO KRYTU	19
3.1 Základní pojmy	19
3.2 Hodnocení vývoje vegetace	21
3.3 Vegetační faktor v erozním modelu USLE	26
4 DATOVÉ ZDROJE.....	29
4.1 Pozemní sběr dat	29
4.1.1 SRS senzor.....	29
4.1.2 Další pozemní senzory.....	32
4.2 Letecké a družicové sběr dat	34
4.2.1 Multispektrální kamera ADC	34
4.2.2 Družicové senzory	35
4.2.3 Stahovací služby	40
4.3 SOWAC-GIS.....	40
5 HORIZONTÁLNÍ MODELOVÁNÍ.....	42
5.1 Potřebná data	42
5.2 Land Change Modeler.....	44
5.3 Další modely	47
6 VERTIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ.....	50
6.1 Potřebná data	50
6.2 Sekvestrace uhlíku a InVEST	50
6.3 Další modely	55
6.4 Land use, land use change and forestry	58
6.5 Růstové modely.....	59
6.6 Další možnosti stanovení vertikálního vývoje	62
7 PRAKTICKÁ ČÁST.....	64
7.1 Hodnocení NDVI pomocí měření SRS	64
7.2 Horizontální vývoj vegetace v povodí Dřevnice a Olšavy.....	68
7.2.1 Příprava dat.....	68
7.2.2 Modelování v Land Change Modeler	73

7.2.3	Modelování v Molusce	74
7.3	Vertikální vývoj vegetace	75
7.3.1	Modelování sekvestrace uhlíku	75
7.3.2	Modelování růstu lesního porostu	78
8	VÝSLEDKY	80
8.1	Hodnocení NDVI pomocí měření SRS	80
8.2	Horizontální vývoj vegetace v povodí Dřevnice a Olšavy.....	86
8.3	Vertikální vývoj vegetace v povodí Dřevnice.....	91
8.4	Využitelnost přístupů pro C-faktor modelu (R)USLE	96
9	DISKUZE	98
10	ZÁVĚR	100
	POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
	PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
ADC	Agricultural Digital Camera
CLC	CORINE Land Cover
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems
DPZ	Dálkový průzkum Země
IFER	Institute of Forest Ecosystem Research
InVEST	Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs
LAI	Leaf Area Index (index listové pokrývnosti)
LULC	Land Use, Land Cover
LCM	Land Change Modeler
LPIS	Land Parcel Identification System
LULUCF	Land use, land use change and forestry
MOLUSCE	Modules for Land Use Change Evaluation
NRC/LC	National Reference Center Land Cover
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Normalizovaný diferenční vegetační index)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PŘI	Photochemical Reflectance Index
REDD	Reducing Emissions from Deforestation and Degradation
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation (Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy)
SRS	Spectral Reflectance Sensor
UAV	Unmanned aerial vehicle – bezpilotní letadlo
USDA	U.S. Department of Agriculture
USGS	U.S. Geological Survey
USLE	Universal Soil Loss Equation (Univerzální rovnice ztráty půdy)
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorace a ochrany půdy, v.v.i.

ÚVOD

Vegetační kryt je nositelem nepřeberného množství funkcí a je základním kamenem mnoha systémů v našem okolí. Mezi nejvýznamnější patří ochranná funkce, jejíž významnost určuje typ vegetace a množství biomasy, protože vegetace svými částmi tlumí erozní účinky vodních kapek, chrání půdu před větrnou erozí a vlivem slunečního záření. Jak uvádí Zachar (1960), čím bohatší je vertikální členění vegetačního porostu nebo hustější vegetace, tím stoupá ochranný vliv vegetačního krytu. Tuto základní myšlenku je nutné rozšířit i o horizontální hledisko. Kromě kvality porostu je třeba vždy zohlednit typ vegetačního krytu, prostorové určení a rozlohu. Správným přístupem k vegetačnímu krytu (ochrana životního prostředí, kvalitní územní a krajinné plánování, moderní přístup k zemědělství) navíc člověk může ovlivnit a umocnit jeho ochrannou funkci. Jednou z oblastí, kde je velmi žádoucí mít podrobné informace o vývoji, růstu vegetačního krytu a hodnotí se účinky ochrany, je ochrana půdy před vodní erozí.

Diplomová práce se věnuje možnostem získání podrobných informací o horizontálním a vertikálním vývoji vegetačního krytu, kde je užít u zmíněné vodní eroze. Tyto informace lze získat pomocí geoinformatických metod, kde uživatel vyžaduje přehlednou prostorovou vizualizaci a kvalitní informace z modelování vývoje. Dílčí části práce navazují na bakalářskou práci autora a rozvíjejí metody určení vegetace s využitím geoinformatiky a dálkového průzkumu Země.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je dále rozvíjet alternativní metody stanovení C-faktoru v modelu USLE z materiálů DPZ. Současně dojde k obohacení tématu o vývoj vegetačního krytu v čase. Předmětem modelování bude jak horizontální tak i vertikální změna. Pro horizontální predikci vyjde autor z dostupných modelů/algoritmů Land Change Modeler a MOLUSCE, pro vertikální růst z modelu InVEST. Součástí práce bude posouzení uvedených i alternativních přístupů, zejména z pohledu dostupnosti dat, typu změny, požadavku na vstupní data, přesnosti modelu apod.

V praktické části vybrané metody student prakticky aplikuje a výsledky interpretuje. Původně byla určena pro praktickou část experimentální lokalita Vysoké Pole, ale v práci jsou zařazeny datově dostupné lokality.

2 POSTUP ZPRACOVÁNÍ A POUŽITÁ DATA

2.1 Postup zpracování

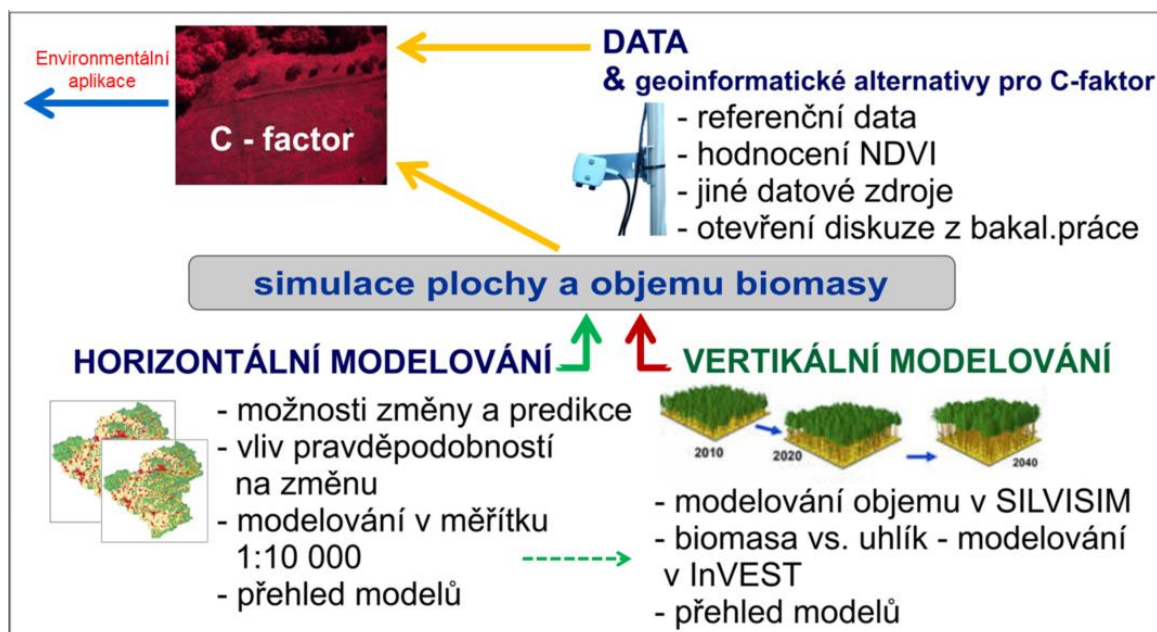
Tato práce volně navazuje na bakalářskou práci nazvanou Geoinformatického alternativy stanovení C-faktoru modelu RUSLE (Benc, 2013), ve které byla představena řada metod využívající dálkový průzkum Země. Spolu s metodami byly v diskuzi představeny i nedostatky, které tato práce postihuje detailněji. Hypotézou práce je, zda existují přístupy, které by napomohly ke zpřesnění určování vegetačního faktoru následně vstupujícího do erozních modelů. Postup zpracování popisuje Obr. 2.1.

Prvním krokem je otevření poznámek z diskuze bakalářské práce. Zároveň proběhne ověření představených nedostatků NDVI ve vazbě na ovlivňující faktory a porovnání s referenčními daty. Dílčím cílem je najít cestu k užívání NDVI a dále sestavit přehled jiných zdrojů, které lze užít pro sledování vegetačního krytu.

Druhou oblastí zpracování je horizontální modelování, kde v první řadě je třeba zpracovat data, která mají specifickou podobu. Cílem horizontálního modelování je získat informace o prostorové složce, o změnách a možnostech predikce dalšího vývoje. Celá část bude doplněna o přehled současných modelovacích možností.

Poslední stanovenou oblastí práce je modelování vertikálního rozložení, které sebou nese dvě cesty – modelování sekvestrace uhlíku, která má blízkou vazbu na biomasu a modelování růstu lesních porostů. Hlavním cílem je představit postupy a teoretické znalosti o vazbě na biomasu a vegetační kryt. Oba směry budou doprovázeny o přehled modelů.

V závěru bude představena myšlenka vzájemné vazby těchto tří směrů s C-faktorem.



Obr. 2.1: Schéma zpracování

2.2 Použitá data

CORINE Land Cover (CLC)

CORINE Land Cover, často označován svojí zkratkou CLC a referenčním rokem, ke kterému se vztahuje, je datová sada vyjadřující půdní pokryv ve 44 třídách. Prvotní datová sada byla vytvořena na základě inventárních dat od roku 1985 pro referenční rok 1990. Dále proběhla aktualizace pro rok 2000, 2006 a 2012. Díky konzistentní metodice zpracování jsou jednotlivé CLC porovnatelné. Měřítko je 1 : 100 000. Minimální mapovací jednotka byla stanovena na 25 h na plošné prvky a 100 m šířky pro liniové prvky. Zpracovatelem CLC databáze je National Reference Centres Land Cover (NRC/LC) a koordinátorem je Evropská agentura pro životní prostředí (EEA). Zároveň zpracování CLC je součástí projektu Copernicus a její části Land Monitoring Services, neboť pro tvorbu dat jsou využívány satelitní snímky a nástroje GIS. Využitelnost CLC je v široké škále aplikací z oblasti životního prostředí, zemědělství, územního plánování, atd. (Corine Land Cover, 2015).

Pro účely horizontálního a vertikálního modelování v diplomové práci byla použita data CLC za roky 1990, 2000, 2006 a 2012, které pro praktickou část poskytl vedoucí práce Doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D. v již fragmentované podobě. Dělení proběhlo pomocí komunikačních sítí datové sady ARCČR 500 a DATA200.

Více k dispozici na: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

Tab. 2.1: Vývoj CORINE Land Cover (Corine Land Cover, 2015)

	CLC 1990	CLC 2000	CLC 2006	CLC 2012
Satelitní data	Landsat-5 MSS/TM	Landsat-7 ETM	SPOT-4/5 IRS P6 LISS III Kombinace	IRS P6 LISS III RapidEye kombinace
Časová konzistence	1986 - 1998	2000 +/- 1 rok	2006 +/- 1 rok	2011-2012
Produkční čas	10 let (1999)	4 roky (2004)	3 roky (2009)	2 roky (2014)
Geometrická přesnost satelitních dat	≤ 50m	≤ 25m	≤ 25m	≤ 25m
Geometrická přesnost CLC	100m	Lepší než 100m	Lepší než 100m	Lepší než 100m
Dokumentace	nekompletní	Standardizovaná metadata	Standardizovaná metadata	Standardizovaná metadata
Přístup k datům	Nejasná politika šíření	Otevřená politika šíření	Volný přístup pro všechny uživatele	Volný přístup pro všechny uživatele
Počet zúčastněných zemí	26	30	38	39

Multispektrální snímky z ADC

Pro účely praktické části, konkrétně porovnání hodnot NDVI z různých zdrojů, byly využity multispektrální snímky z ADC (Agricultural Digital Camera) nasnímané Svatooplukem Místeckým v období října – listopadu 2014 v rámci jeho odborné práce na katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci, která je zároveň vlastníkem snímacího zařízení.

ADC je jednosenzorový digitální fotoaparát snímající obraz v zeleném, červeném a blízkém infračerveném pásmu v rozmezí vlnových délek 520 – 920 nm. Vzhledem ke specifičnosti výstupního formátu (Compact Flash v 8 bitovém a 10 bitovém RAW formátu) bylo vhodné pro úpravy využít specializovaný softwaru (PixelWRENCH 2) (Tetracam – ADC, 2011).

Multispektrální snímky Landsat

Landsat je dlouhodobě využívaným zdrojem dat pro environmentální aplikace, zvláště pro biofyzikální extrakci informací o biomase, čisté primární produkci, množství zazeleněné vegetace a sledování změny klimatu. Výhodou produktů Landsat je pokrytí celé České republiky v pravidelném 16 - ti denním intervalu se čtyřicetiletým datovým skladem. V globálním měřítku je přínosné i prostorové rozlišení, které činí 30 metrů.

Více o Landsatu v kapitole 4.2.2. nebo na webových stránkách <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

V praktické části diplomové práce byly užity dostupné bezoblačné snímky Landsat 7 ETM+ a Landsat 8 OLI pro období březen 2014 až únor 2015 a území Olomoucka.

SRS data

Spectral Reflectance sensor (SRS) je měřický přístroj, který byl poskytnut pro praktickou část diplomové práce vlastníkem, katedrou Geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Senzor slouží k měření normalizovaného diferenčního vegetačního indexu na základě dopadající a vyzařované energie. Údaje z měření jsou poskytovány přes datalogger a software ECH2O Utility v tabelární podobě ve formátu *.xls. Struktura dat je uživatelsky přehledná a jednoduchá. Obsahuje označení senzoru a atributy pro časový záznam měření a hodnoty pro červené viditelné pásmo, pro blízké infračervené pásmo a celková kalibrovaná hodnota NDVI. SRS je věnována teoretická kapitola 4.1.1 a značná část praktické části diplomové práce. Měření probíhala na podzim 2014 a na jaře 2015.

Uhlíková tabulka

Pro modelování sekvestrace uhlíku v rámci modulu Carbon modelu InVEST je zapotřebí mít k dispozici tabelární data čtyř typů uložení uhlíku (above, below, soil, dead) pro jednotlivé kategorie CORINE Land Cover. Data byla sestavena v rámci projektu EHF CzechAdapt (Cudík P., Pechanec V., Štěrbová L.) a poskytnuta vedoucím práce Doc. RNDr. Vilémem Pechancem, Ph.D. Tabelární hodnoty se stále vyvíjí, v praktické části byla užita tabulka z dubna 2015.

2.3 Použité programy

ArcGIS

ArcGIS je geografický informační systém produkovaný firmou Esri. Řadí se mezi nejužívanější nástroje pro správu, analýzu a vizualizaci prostorových dat. Díky obsáhlým toolboxovým prostředkům dokáže ArcGIS řešit řadu analytických úloh a silnou pozici získává ve vizualizaci dat (ARCDATA Praha, 2015).

Pro účely diplomové práce byla využita verze 10.1, kde kromě úpravy dat CORINE Land Cover a přípravy dat pro vstup do modelovacích nástrojů byl zkušebně použit modul Image Analysis sloužící ke spojení pásem multispektrálních dat a výpočtu normalizovaného diferenčního vegetačního indexu. Zároveň ArcGIS sloužil k vizualizaci výsledků celé praktické části.

Více o softwaru:

- http://download.arcdata.cz/doc/popis_sw/ArcGIS_10-1/Arcgis_desktop_101_web.pdf

ECH2O Utility

ECH2O Utility zajišťuje připojení počítače a konfiguraci dataloggeru Em50, Em50R, Em50G. Program umožňuje nastavení řady atributů, určení typu senzoru na konkrétním portu, doplnění názvu připojených senzorů na datalogger, nastavení data, času, intervalu měření a v neposlední řadě stažení dat ve formátu *.xls (ECH2O Utility, 2015).

Software ve verzi 1.74 byl využit pro správu a stažení měřených hodnot NDVI ze senzoru SRS.

Více o softwaru:

- <http://www.decagon.com/support/ech2o-utility-download/>

Erdas IMAGINE

Erdas IMAGINE od společnosti Hexagon Geospatial je významným softwarem pro geoprostorové zpracování obrazu. Poskytuje řadu významných nástrojů využitelných v oblastech dálkového průzkumu Země, fotogrammetrie a GIS. Erdas umožňuje práci s rastrovými a vektorovými daty různých formátů (Erdas IMAGINE, 2015).

Erdas IMAGINE 2011 byl v práci využit pro zpracování a úpravu satelitních dat, výpočty vegetačních indexů a výpočet C-faktoru dle postupu v práci Bence (2013).

Více o softwaru:

- <http://www.hexagongeospatial.com/products/remote-sensing/erdas-imagine/overview>

IDRISI

Idrisi je rozsáhlý, geoprostorový a rastrově založený systém pro sledování a modelování environmentálních systémů a udržitelného rozvoje. Na vývoji pracuje Clark Labs z univerzity v Clarku. Celý systém je složen z množství modulů, které lze rozdělit do dvou oblastí – GIS analýza a zpracování obrazu. Mezi nejvýznamnější moduly patří Land Change Modeler, Habitat and Biodiversity Modeler, GeOSIRIS a Earth Trends Modeler. V roce 2015 byla vydána nová verze s názvem TerrSet, která značně mění filozofii celého produktu (Idrisi, 2015).

V diplomové práci bylo využito nástrojů Idrisi Selva 17.0, zvláště pak modulu Land Change Modeler (LCM) pro horizontální modelování, kterému je věnována teoretická (kapitola 5.2) i praktická část této práce.

Více o softwaru:

IDRISI - <http://www.clarklabs.org/products/terrset.cfm>

LCM - <http://www.clarklabs.org/products/land-change-modeler.cfm>

InVEST

InVEST je open-source modulární software, který je vyvíjen uživatelskou skupinou v rámci The Natural Capital Project. Slouží pro informování o hospodaření s přírodními zdroji a zefektivnění rozhodovacích procesů v investičních plánech (InVEST WEB, 2015).

V práci je soustředěna pozornost na modul Carbon. Podrobněji je model popsán v kapitole 6.2 – Sekvestrace uhlíku a InVEST, v praktické části je rozebrána aplikovatelnost na konkrétní případové studii.

Více o softwaru:

- <http://www.naturalcapitalproject.org/models/models.html>

PixelWRENCH 2

PixelWRENCH 2 je softwarový nástroj, který slouží jako počítačový doplněk k multispektrální kameře ADC od firmy Tetracam. Tento nástroj slouží pro práci se snímky, k jejich úpravě a vyhodnocení pomocí speciálních funkcí (PixelWRENCH 2, 2011).

Program byl v práci využit pro interpretaci snímků z ADC kamery při experimentálním snímkování vegetačního pokryvu (kapitola 8.1) a k výpočtu NDVI.

Více o softwaru:

- http://www.tetracam.com/Products_PixelWrench2.htm

QGIS

QGIS je otevřený multiplatformní geografický informační nástroj, který je vyvíjen skupinou dobrovolníků a s každou novou verzí přináší nové nástroje v podobě zásuvných modulů. V současnosti je QGIS srovnatelný s řadou komerčních GIS díky podobné funkcionalitě při práci s rastrovými a vektorovými geodaty. Širší funkcionalita je umožněna například spojením s GRASS GIS (QGIS, 2015).

V této práci byl využit hlavně modul MOLUSCE v QGIS 2.6 Brighton a Wien 2.8.1, který je blíže popsán v kapitole 5.3 a je alternativou komerčního Land Change Modeler pro horizontální modelování vegetačního krytu. QGIS se stal užitečný i při přípravě dat pro horizontální modelování.

Více o softwaru:

- <http://www.qgis.org/en/site/>

V Příloze 1 diplomové práce se nachází náhledy na uživatelská rozhraní všech použitých softwarů.

3 VÝVOJ VEGETAČNÍHO KRYTU

3.1 Základní pojmy

Růst a vývoj vegetace

V environmentálních aplikacích je při hodnocení třeba rozlišovat pojmy růst a vývoj vegetačního krytu. Růstem vegetačního krytu se rozumí nezvratné změny kvantitativního charakteru, konkrétně zvýšení počtu buněk, nabývání rostlinné hmoty spojené s dělením buněk, zvětšováním částí rostliny a diferenciací. Společným působením procesů dochází k tvarovým změnám, které probíhají po celý život vegetace, tedy po celý ontogenetický vývoj. Růst je ovlivněn místními dynamickými, vnějšími i vnitřními faktory jako například teplota, světlo, živiny, množství uhlíku a rostlinných hormonů (stimulátorů a inhibitorů). Dynamika růstu vegetace se projevuje v denní a roční periodicitě. V rámci denního pozorování je zjištěno kolísání růstu během dne a noci, kdy většina rostlin narůstá rychleji v nočním čase a je znatelný vliv teploty, vlhkosti a přísunu živin. Roční periodicitu růstu je podmíněna jednotlivými ročními obdobími a rozlišujeme období vegetačního růstu a vegetačního klidu v mírném pásmu spojeného s nízkými teplotami (Kurowská, 2015; Gloser, 1998).

Vývoj rostlin neboli ontogeneze je časový sled růstových a diferenciačních změn zahrnující projevy a kvalitativní změny (úzce spojené s růstovými kvantitativními změnami) ve stavbě a látkové výměně rostlin a jejich částí pozorovatelné od vzniku zygoty až do smrti rostliny. Lze rozdělit do čtyř období - embryonální (zárodečné), vegetativní (tvorba vegetativních orgánů), období dospělosti (tvorba pohlavních orgánů a rozmnožování) a období stárnutí (rozkladné děje). Při sledování vývoje rostlin rozlišujeme i délku životního cyklu (jednoleté, dvouleté, vytrvalé rostliny). Při hodnocení vegetačního krytu je žádoucí sledovat rozlohu i objem, neboť rozloha může zůstat stejná, ale mění se vnitřní struktura, která významně může ovlivnit ochrannou funkci vegetace (Kurowská, 2015; Gloser, 1998).

Biomasa

Biomasa je definována jako hmotnost živé nebo mrtvé organické hmoty a je významnou proměnnou, která poskytuje lepší pochopení vývoje vegetačního krytu a potenciální změny klimatu. Měrnou jednotkou je g/m^2 nebo násobky (T12 Biomass, 2008).

V závislosti na množství biomasy ve vegetačním krytu je ovlivněno regionální i globální klima díky ukládání uhlíku a výměnným vztahům s okolním prostředím. Základní hodnotící nástroje změny klimatu a další environmentální modely jsou založeny na posouzení biomasy a její dynamice. V současné době se objevují další dvě oblasti, které přispívají k rostoucímu významu biomasy – 1) rostoucí využívání biomasy pro výrobu energie, 2) rostoucí podíl celosvětových emisí skleníkových plynů (T12 Biomass, 2008).

Množství biomasy lze sledovat několika způsoby (T12 Biomass, 2008; T9 Land cover, 2008):

- I. Destruktivní měření
 - Metoda obnáší terénní práci v podobě sklizení rostlin, následné osušení a vážení sušiny. Kvantifikace probíhá pro vegetační jedince nebo malý územní celek. Jedná se o přesný způsob určení hmotnosti, kdy při optimalizaci času a nákladů lze získat kvalitní výsledky.
- II. Nedestruktivní odhady
 - Metody nevyžadující sklizení vegetace, ale odhady vychází z výšky a průměru stonků (kmenů) a je využito alometrických rovnic a extrapolace biomasy na jednotku plochy. V současné době lze díky statistickým metodám a moderním technologiím docílit realistickým odhadům množství biomasy. Výhodou je využitelnost pro větší územní celky.
- III. Odvození z dálkového průzkumu Země
 - Pro odvození množství biomasy pomocí dálkového průzkumu Země se využívá zjištěných závislostí mezi vegetačním krytem a vegetačními indexy. Dochází ke zpracování informací z obrazových záznamů ve viditelném, infračerveném a mikrovlnném spektru. V této úrovni se nachází zařízení, která měří množství biomasy přímo nebo vzdáleným snímáním (kapitola 5 – Datové zdroje). Také jsou využívány metody, které dávají do vzájemného vztahu jednotlivá spektrální pásma a vytváří indexy, které vypovídají o různých vlastnostech (např. index listové pokrývnosti). Z pohledu geoinformatiky má tato oblast velký potenciál a lze očekávat další vývoj.

Lesní porosty uchovávají většinu zemské biomasy, což přispívá ke snižování CO₂ v atmosféře díky uhlíku sekvestraci do těla rostlin, dochází k zmírňování extrémních projevů klimatu a ochraně ekosystémů. Environmentální aplikace jsou směřovány na udržitelné řízení zdrojů biomasy. Současným zájmem v oblasti odhadů biomasy by mohlo být stanovení jednotného postupu, který by integroval a harmonizoval již vzniklé využívané metody a zdroje dat pro větší územní celky (T12 Biomass, 2008).

Obecně lze říci, že se biomasa odhaduje prostřednictvím přímých vztahů odezvy v různých spektrálních pásmech pomocí vícenásobné regresní analýzy, K-nejbližšího souseda, neuronových sítí, nebo nepřímých vztahů jako je index listové pokrývnosti (LAI), struktura (koruna a výška), obraz objektů a sekvestrace uhlíku. Mezi nepřímé metody měření vertikálního rozložení lesa na místní úrovni patří využití LiDAR nebo SAR interferometrie (T12 Biomass, 2008).

Land cover a Land use

Při sledování environmentálních změn, které jsou úzce spojeny s lidskou činností, je v řadě případů užíváno vstupních dat v podobě land cover či land use. Land cover neboli krajinný pokryv vyjadřuje fyziognomii ekosystémů tvořící krajinu. Definice vychází z přirozeného vznímání krajiny, kde jednotlivé typy land cover jsou homogenní a vždy závislé na měřítku pozorování (prostorovém či tematickém). Hranice jednotlivých typů land cover jsou obvykle přírodního charakteru jako např. vodní tok, cesty, hranice kulturami. Land cover se užívá pro sledování dynamiky vývoje díky analýze historického stavu (Guth, 1997).

Land use neboli využití země je soubor lidských aktivit vztažených k zemi a využívající její zdroje. Také si lze land use představit jako pokryv země modifikovaný lidskou činností. Land use je ovlivněn socioekonomickými a biofyzikálními faktory (Pe, 2014b).

V řadě případů bývá land cover a land use zaměňováno, přitom praxe vede k jednoznačnému rozdělení – krajinný pokryv (land cover) zastupuje přirozenou a reálnou situaci v krajině, zatímco využití půdy (land use) je úředně evidovaný typ pozemku často ovlivněný lidskou činností a bývá méně aktuální než land cover. Na druhou stranu je k dispozici záznam land use pro celou republiku, land cover je podrobný hlavně pro chráněná území (Guth, 1997).

3.2 Hodnocení vývoje vegetace

Sledování a hodnocení vývoje vegetačního krytu je důležitou součástí rozhodovacích procesů v mnoha oblastech lidské činnosti. Jde především o co nejlepší pochopení probíhajících procesů, analyzování všech aspektů a interpretování následných projevů a vlivů. Možností hodnocení vegetačního krytu je více. Pro uživatele je důležitých několik otázek – co sleduji, čím to sleduji, jak přesnou informaci potřebuji.

Nejčastěji se využívá přímých měření a zjišťování v terénu nebo spektrálních charakteristik, kde existuje vysoká korelace s obsahem chlorofylu, nutričním stavem vegetace, množstvím biomasy či výnosy polních plodin (Zhongwing, 2010).

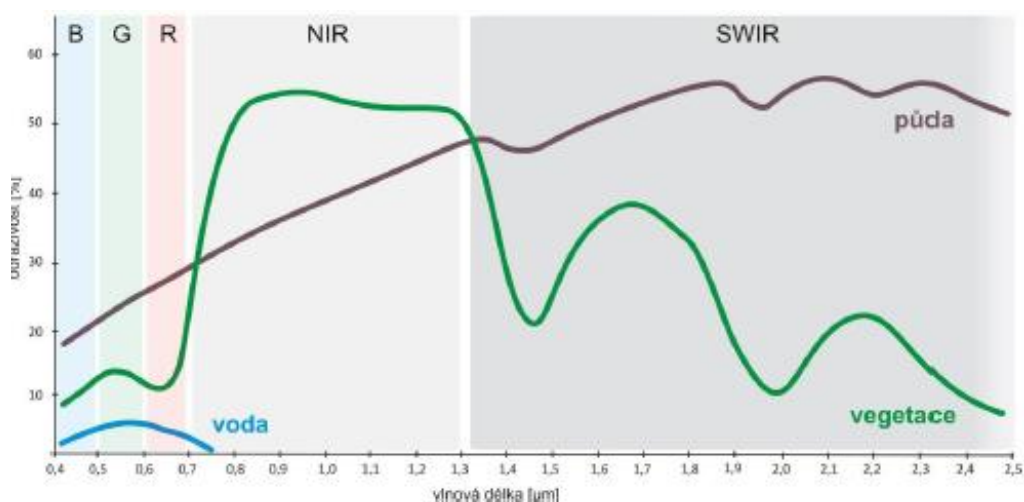
Samotnou kapitolou v hodnocení je dynamika vegetačního krytu, neboť právě variabilita v čase může zásadně ovlivnit výsledky a následné rozhodovací procesy. Je třeba při interpretaci brát ohled na fenologii rostlin, a to platí i v případě ročního průměrování hodnot vegetačního krytu u některých aplikací. I zde se otevírá prostor pro senzorické sledování vývoje vegetace a pravidelný záznam aktuálního stavu. Díky tomu lze zkvalitnit výstupní informace při modelování vegetačního krytu.

Dalším nedostatkem a zároveň potenciálem současného pojetí hodnocení vývoje je sledování pouze horizontálního vývoje, tedy porovnávání změny a rozšíření land cover. Není tak brán vliv struktury vegetace, která může být v mnoha případech zásadní.

Vegetační indexy

S postupným zpřesňováním informací z dálkového průzkumu Země vzniká řada studií, které zdůrazňují potenciál metod hodnotící stav vegetace vzdáleným přístupem nebo odvozováním nepřímých metod. Mezi již obvyklé metody patří stanovení vegetačních indexů, díky kterým lze interpretovat vlastnosti vegetačního krytu.

Existuje velké množství vegetačních indexů, kterým se věnuje řada odborných prací. Ucelený přehled publikuje například Stagakis a kol. (2010).



Obr. 3.1: Projevy vegetace, půdy a vody napříč vlnovými délkami (Lukas, 2012).

Všechny indexy jsou založeny na základních fyzikálních vlastnostech měřitelných pomocí senzorických systémů, které zaznamenávají hodnoty reflaktance a radiace pro různé vlnové délky a na základě zájmového krajinného prvku je zvolen poměr částí spektra. Obr. 3.1 prezentuje projevy základních prvků pro různé vlnové délky. Mezi nejčastěji užívané díky dobré odlišitelnosti všech prvků patří viditelná červená část spektra (VIR) a blízká infračervená část spektra (NIR) (Lukas, 2012).

V zemědělských a obecně environmentálních aplikacích je velmi užíváno tzv. normalizovaného diferenčního vegetačního indexu (NDVI) (Dobrovolný, 1998).

$$NDVI = (NIR - red) / (NIR + red) \quad (1)$$

NDVI udává indexovou hodnotu vyjadřující množství živé zelené složky ve sledovaném objektu (např. vegetační kryt). Interpretace probíhá na základě vypočtené hodnoty ze vzorce (1), kde výsledek se pohybuje v rozmezí -1 až 1. Čím více se blíží výsledná hodnota k 1, tím více zelené složky ve vegetaci je. Záporné hodnoty reprezentují vodní plochy a oblačnost (Dobrovolný, 1998).

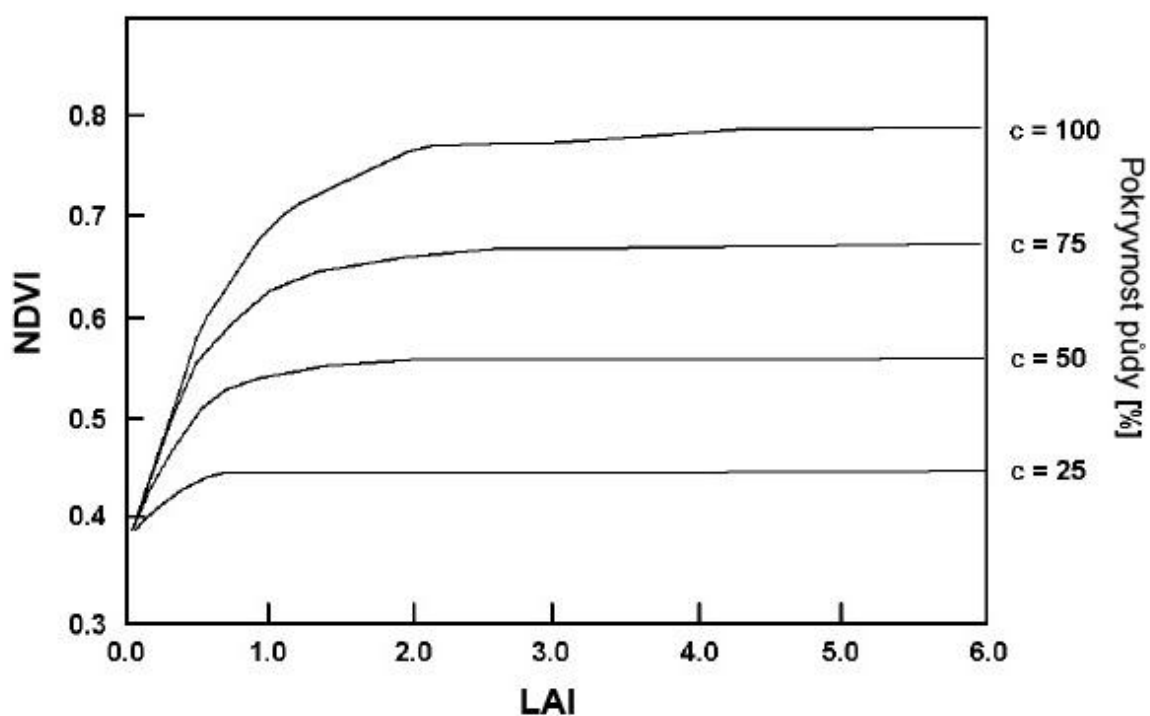
Výpočet NDVI je nejčastěji aplikován na multispektrální družicové snímky, které obsahují blízké infračervené (NIR) a červené viditelné pásmo (red). Jelikož se jedná o jeden z nejobvykleji užívaných vegetačních indexů, často má své místo mezi základními funkcemi specializovaných softwarů.

Příklad možného aplikovaného užití uvádí Benc (2013) v rámci alternativního stanovení C-faktoru modelu USLE pomocí dálkového průzkumu Země. Časté využití NDVI je hlavně zapříčiněno jednoduchostí užití, informační obsáhlostí a možností využití dálkového průzkumu Země. Užitím může uživatel produkovat řadu tezí, což je výhodou a nevýhodou zároveň. Na tuto problematiku poukazuje ve své práci Benc (2013).

Základem užití NDVI je normalizovaný výpočet rozdílu VIR a NIR, který na rozdíl od základních poměrových indexů poskytuje kvalitnější obrazovou informaci díky redukci rušivých elementů (osvětlení, stíny, vliv atmosféry). Výhodou využití vegetačních indexů je jednoduchá aplikovatelnost a možnost sledování dynamiky projevu krajinného krytu (Lukas, 2012). Výhodou i nevýhodou je informační obsáhlost, na což poukazuje i tato práce.

NDVI pozitivně koreluje s hmotností čerstvé i suché nadzemní biomasy a reaguje na množství vzniklých nových odnoží, tedy na růst vegetace. Koreluje ovšem i se změnou obsahu vody. Časté využití nachází NDVI v precizním zemědělství, díky rychlému a plošnému hodnocení (Křen, 2009).

Informační obsáhlost NDVI má i svá negativa, neboť řada studií poukazuje na zkuslení vypovídací hodnoty o hustotě vegetačního krytu při vysokém zahuštění. Lepší hodnocení je získáno stanovením indexu listové pokrývnosti (LAI). Struktura vegetačního krytu je tedy spíše sledována a hodnocena pomocí tohoto indexu. Na obr. 3.2 lze sledovat závislost mezi NDVI a LAI, kde od určitých hodnot listové plochy (LAI) již neroste hodnota NDVI a zůstává takřka konstantní (Lukas, 2012).

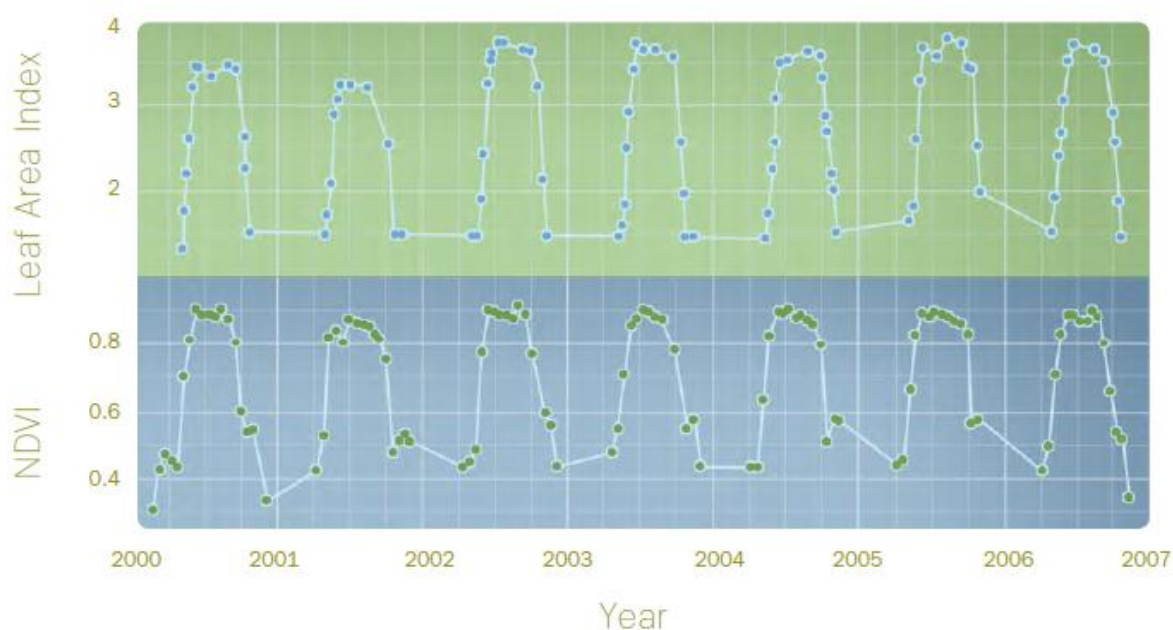


Obr. 3.2: Závislost mezi LAI a NDVI při různých stupních pokrývnosti (Lukas, 2012).

Index listové pokrývnosti je jedním z nejpoužívanějších indexů pro popis struktury vegetačního krytu a udává plochu horní strany listů v m^2/m^2 půdy. Hodnoty jsou velmi variabilní v závislosti na vývoji vegetačního krytu z fenologického pohledu (Lukas, 2012).

LAI je bezjednotkový poměr ploch, kde kupříkladu LAI 3 vyjadřuje poměr 3:1 listové plochy na plochu půdy. Typické rozmezí hodnot se pohybuje od 0 pro holý povrch až po 6 pro velmi hustý les. Většina užívaných nedestruktivních metod pro stanovení LAI vychází z promítnutí plochy asimilačních orgánů na jednotku zemského povrchu, což bývá označováno jako PLA (Projected Leaf Area). Mezi metody zjišťování LAI patří kontaktní (alometrické) a nekontaktní (optické) metody, do kterých lze zařadit i metodu DPZ a v současnosti velký význam má i laserové skenování (Pavlendová, 2007). Možnými přístupy stanovení indexu listové pokrývnosti se zabývá v diplomové práci Honková (2008). Obecně lze říci, že pro stanovení LAI se užívá vztahů a blízkých závislostí s jinými vegetačními indexy. Další možností je analýza obrazu z hemisférických snímků, jak v bakalářské práci popisuje Macounová (2014). Aplikaci metod laserového skenování pro výpočet LAI podrobně popisuje Mikita (2014).

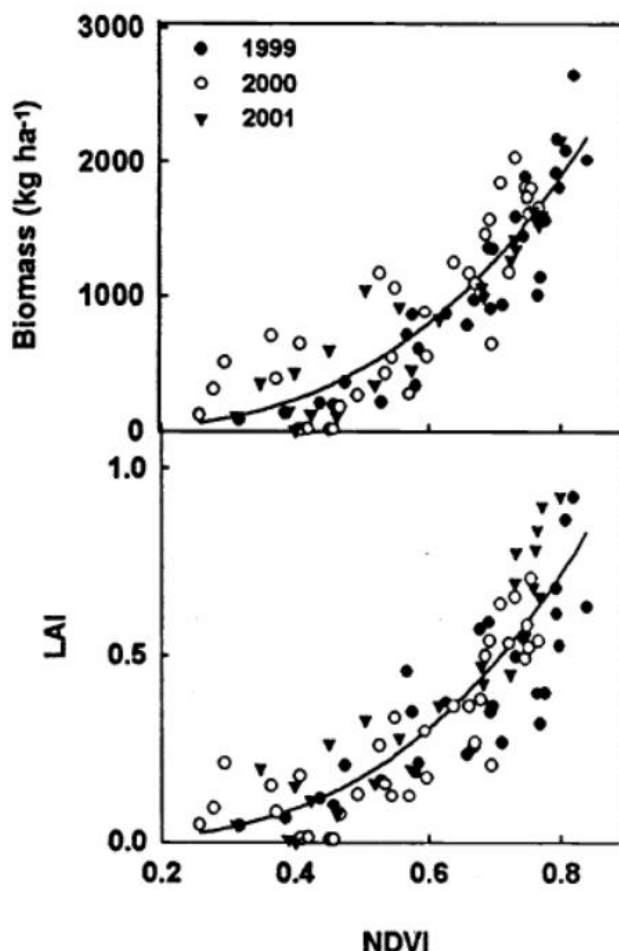
LAI je obvyklým výstupem biochemických, hydrologických a ekologických modelů jako měřítko růstu a produktivity plodin a lesní vegetace. V minulosti bylo měření LAI velmi obtížné a časově náročné, ale díky moderním technologiím a řadě teoretických i praktických aplikací se měření zjednodušilo, zpřesnilo a je zjistitelné z velké škály typu vegetačního krytu. Velký vliv na výsledné hodnoty má sezónní vývoj vegetace, což znázorňuje Obr. 3.3. LAI má tedy potenciál být vhodnou metrikou pro popis prostorové a časové zákonitosti růstu vegetačního krytu (LAI, 2014).



Obr. 3.3: Sezónní průběh hodnot LAI a NDVI u smíšeného lesa (LAI, 2014).

Wylie a kol. (2003) poukazuje na skutečnost, že louky a pastviny jsou významným úložištěm atmosférického uhlíku a ten ovlivňuje jejich biofyzikální vlastnosti. Více se tomuto tématu věnuje kapitola 6.2. Také popisuje NDVI jako silný predikátor denního toku CO_2 , což nabízí další interpretační cestu.

Při hodnocení vývoje vegetačního krytu lze využít změny CO_2 , NDVI, LAI, obsahu biomasy a vzájemných závislostí. Ovšem k interpretaci je třeba vždy přistupovat opatrně, což prezentuje Obr. 3.4 pomocí nelineárního vztahu mezi typy sledování, zároveň jsou si ale obě křivky podobné.



Obr. 3.4: Závislost mezi NDVI, LAI a množstvím biomasy (Frank, 2003).

Wylie a kol. (2003) dále poukazuje na zjištění, že u měření spektrálních projevů ručními radiometry na rozdíl od satelitních dat je prokázán lineární vztah mezi NDVI a množstvím biomasy.

V současnosti existuje již řada studií, které prezentují metody stanovení vlastností vegetačního krytu pomocí nejrozličnějších vegetačních indexů, a využití je testováno v mnoha oblastech lidské činnosti. Pro odhady erozních ztrát je kromě alternativních cest s využitím NDVI, které prezentuje Benc (2013), možné využít některých

specializovaných indexů. Základní myšlenkou je integrování různých růstových forem a struktury vegetace do jednoho indexu, neboť složitější struktura vegetace může zachytit o 10 až 20 % více srážek (Zhongming, 2010). Příkladem může být index vrstevnatosti vegetačního krytu = stratified vegetation cover index (C_s), který sestavil W. Zhongming a kol. (2010) a je založen na záznamu jednotlivých vrstev vegetace pokrývající půdu. Tento záznam následně slouží pro stanovení příspěvku ke snížení ztráty půdy. Dle Zhongming (2010) je C_s účinnější než modelovaná vegetace v erozních aplikacích a zároveň může překonávat nevýhody a nedostatky NDVI. Pro prostorovou definici indexu vrstevnatosti vegetačního krytu (C_s) je využito snímků z dálkového průzkumu Země a i z toho důvodu se tento index stává další potenciální geoinformatickou alternativou stanovení vegetačního faktoru v erozních modelech (Zhongming, 2010). Index vrstevnatosti vegetačního krytu je vyjádřen vztahem (Zhongming, 2010):

$$C_s = \sum_{i=1}^i a_i C_i \quad (2)$$

kde i je počet vrstev; a_i je váhový koeficient vrstvy; C_i je naměřené pokrytí vegetací. C_s je integrací různých vrstev pokrytí do jednoho indexu s vysokou závislostí na posouzení C_i a a_i . V případové studii dle Zhongming (2010) je užito satelitních snímků Landsat pro pohledy shora a fotoaparátu Canon pro pohledy zdola. Oba datové zdroje slouží pro stanovení jednotlivých vrstev a výpočet indexu, což zpřesňuje stav a funkci vegetace v zachytávání dopadajících dešťových srážek. Studie také poukazuje na větší citlivost na změnu vegetace u C_s oproti NDVI v lesních oblastech (Zhongming, 2010).

Index vrstevnatosti vegetačního krytu je v současnosti stále ve vývoji a nese nejistotu při odhadu koeficientu a_i a není stanoven výpočet nad standardním pozemkem pro porovnání. V odborné literatuře nebylo zaznamenáno srovnání s jinými alternativami stanovení vegetačního krytu nebo alespoň metoda převodu na hodnotu C faktoru pro erozní model USLE, kde je vysoký potenciál užití.

3.3 Vegetační faktor v erozním modelu USLE

Teoretický základ různých přístupů užívaných v České republice pro určení vegetačního pokryvu a jeho ochranného vlivu při vodní erozi vychází z postupných vydání metodiky „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ (1972, 1992, 2007, 2012) sestavenou Miloslavem Janečkem a kol., který představil základní postupy pro výpočet ohrožení vodní erozí s užitím „Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy – USLE (Universal Soil Loss Equation)“ dle Wischmeiera a Smithe (1978).

USLE je celosvětově užívaný zástupce empirických modelů, který vyjadřuje přípustnou ztrátu půdy stanovenou z jednotkového pozemku a je variabilně ovlivňován erozní účinností deště, erodovatelností půdy, délkou a sklonem svahu, ochranným vlivem vegetace a účinností protierozních opatření (Janeček, 2012).

Ztráta půdy vodní erozí se stanoví na základě rovnice (Janeček, 2012):

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (3)$$

kde:	G	je průměrná dlouhodobá ztráta půdy /t . ha-1. rok-1/
	R	faktor erozní účinnosti dešťů, vyjádřený v závislosti na kinetické energii, úhrnu a intenzitě erozně nebezpečných dešťů
	K	faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty v ornici a propustnosti půdního profilu
	L	faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušeno délky svahu na velikost ztráty půdy erozí
	S	faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí
	C	faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice
	P	faktor účinnosti protierozních opatření

Diplomová práce si klade za cíl širší pohled na stanovení vegetačního indexu v rámci C-faktoru modelu USLE a další rozvoj geoinformatických alternativ stanovení, kterými se zabýval Benc (2013).

Obecně vegetační faktor můžeme při ochraně půdy označit velkým stupněm důležitosti, neboť rostliny svými nadzemními orgány tlumí erozní účinek dešťových kapek, snižují množství dopadajících srážek přímo na povrch půdy a také prodlužují dobu dopadu na delší období. Ochrana je závislá na typu a hustotě vegetace, kde nejvyšší stupeň ochrany poskytuje porost tráv, nejnižší pak širokořádkové plodiny (Zachar, 1960).

Výhodou a zároveň nevýhodou přístupu USLE jsou vstupní generalizované informace z pohledu časového, neboť se jedná o celoroční průměrné hodnoty. Proto je i nejčastěji užíváno přiřazení tabelární hodnoty C-faktoru dle Janečka (2012). Výpočty v praxi probíhají převážně nad půdními bloky z Registru půdy LPIS a vstupují do nich informace o dlouhodobých osevních postupech. Nedostatek nastává v kompaktnosti, jednak v prostorovém hledisku, kde ne všechny plochy mají vypočtené hodnoty C-faktoru (např. na geoportálu SOWAC-GIS), ale také ve vegetační dynamice a obsahu zemědělských databází. Řešení těchto nedostatků pomocí metod oboru geoinformatiky bylo obsahem bakalářské práce Bence (2013).

Stanovení vhodné vegetace (určení C-faktoru) můžeme docílit přírodních protierozních opatření, neboť právě vegetace utužuje půdní profil a svrchní část zadržuje vodu. Technické protierozní opatření nemusí být tedy tak markantní.

Problematikou vodní eroze a protierozních opatření se zabývá řada odborníků a institucí, v přední řadě Výzkumný ústav meliorace a ochrany půdy, v.v.i. (VÚMOP), České vysoké učení technické v Praze a Česká zemědělská univerzita Praha.

V nedávné době v České republice vzniklo několik metodik, na kterých se podíleli přední odborníci, a které odráží potřeby praxe a současný technologický vývoj. Hlavní oblast zájmu je směřována k technickým protierozním opatřením a tvorbě

specializovaných podkladů krajinného inženýrství a ochrany životního prostředí. Zároveň je kladen důraz užití klasických metod i moderního řešení, využití modelu USLE ve spojení s geografickými informačními systémy.

Za zmínku stojí dvě certifikované metodiky vydané VÚMOP a ČVUT:

- Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO (Dostál a kol., 2013)
- Navrhování technických protierozních opatření (Kadlec a kol., 2014)

Další významný zdroj informací o vegetaci a erozní problematice poskytuje VÚMOP prostřednictvím geoportálu SOWAC GIS (<http://geoportal.vumop.cz>), více o geoportálu je k dispozici v kapitole 4 věnující se datovým zdrojům.

Benc (2013) představuje užití metod dálkového průzkumu Země a vegetačních indexů jako jeden ze způsobů výpočtu C-faktoru. Díky flexibilitě snímkování mají tyto metody potenciál v zachycení časové dynamiky růstu vegetace na větších územních celcích. U řady environmentálních úloh sledující různorodost vegetačního krytu je žádoucí mít data vztahující se k celému půdnímu bloku než jen ke konkrétním měřickým bodům. Na druhou stranu tyto metody problematicky zohledňují technické zásahy a osevní postupy. Porovnání výsledků klasického tabelárního přístupu a metod využívající NDVI (např. přístup dle J. M. van der Knijffa) a satelitní data je součástí bakalářské práce Bence (2013). Benc (2013) dále poukazuje na řadu nedostatků u vstupních dat a zpracování, načež navazuje i tato diplomová práce.

Dálkový průzkum Země nám poskytuje informace z většího územního celku za rozumnou cenu oproti terénnímu průzkumu, tedy urychluje hodnocení ztráty půdy při vodní erozi. Na druhou stranu data mohou mít omezení v prostorovém rozlišení a tedy zkreslenou informační hodnotu. I přes časté snímkování zůstává stále hodnota spíše orientační. Volně dostupná satelitní data spolu s geoinformačními metodami stanovení vegetačního krytu jsou vhodná spíše pro regionální územní celky. Pokud vyžadujeme přesnější prostorovou informaci, je možné využít leteckých snímků a snímků UAV, které jsou v současnosti trendem v oboru. Kromě typu dat jsou nedostatkem přístupů zmiňovaných Bencem (2013) i samotné výpočetní metody vegetačního faktoru, které v základu užívají NDVI. Jelikož hodnota NDVI může být ovlivňována zdravotním stavem vegetace, oblačností a zastíněním, i obsahem vody, disponují tyto metody určitým stupněm nejistoty. Eliminovat chyby můžeme vhodným výběr dat a jejich průměrováním, což je požadavkem modelu USLE, který vyžaduje roční průměrné hodnoty. Zároveň ztrácíme informace o dynamice růstu vegetace a jejich ochranném vlivu (Benc, 2013).

Diplomová práce navazuje na myšlenky prezentované v bakalářské práci „Geoinformační alternativy stanovení C-faktoru modu RUSLE“ a zároveň se snaží hledat cesty pro řešení otázky, co je zapotřebí pro zpřesnění informační složky o vegetaci následně využitelné v erozních modelech.

4 DATOVÉ ZDROJE

Vegetační kryt je podstatnou součástí půdy a ovlivňuje další funkčnost a procesy. Významným procesem na povrchu půdy je vodní eroze, která může být stanovena například pomocí empirického modelu (R)USLE obsahující i faktor ochranného vlivu vegetace. Již Benc (2013) popisuje řadu geoinformatických přístupů stanovení vegetačního C-faktoru. Zároveň také poukazuje na nedostatky vstupních dat. Jedná se hlavně o dostupnost dat, prostorové rozlišení a interval měření. V následující kapitole budou prezentovány jednotlivé alternativy současných datových zdrojů či alternativ sběru dat se zaměřením na možnost získání či výpočtu vegetačních indexů tak, aby bylo možné využít data jako vstup do některého z přístupů uvedených Bencem (2013) nebo v jiných odborných textech.

Systémy určené k zjištění a záznamu informací můžeme dělit na **on-the-go** (někdy také označovány jako **online** metody), u kterých dochází k měření průběžně během např. jízdy po pozemku s následnou okamžitou reakcí (uvolnění určitého množství hnojících látek), a **offline metody**, do kterých je možné zařadit kontaktní i bezkontaktní bodové měření porostu a dálkový průzkum. Jednotlivá měření jsou časově oddělena a měření probíhá na větší ploše (Lukas a kol., 2011).

Pro účely a vyhodnocení změn vegetačního krytu připadají v úvahu hlavně offline metody, která můžeme ještě rozdělit na pozemní sběr dat a letecko-satelitní sběr dat.

4.1 Pozemní sběr dat

Pozemní sběr dat vegetačního krytu probíhá formou vizuálního sledování nebo senzorických sítí. Vizuální sledování je časově náročné, proto hledáme cesty, jak získat obsáhlé informace s časovou variabilitou tak, abychom zefektivnili lidskou činnost v různých oblastech zájmu.

Senzor je technické zařízení umožňující sběr dat měřením konkrétní fyzikální veličiny s následným přenosem do digitálního zařízení pomocí signálu. Díky přenosu signálu je umožněno další využití naměřených hodnot pro zpracování a interpretaci. (Pechanec, 2014a)

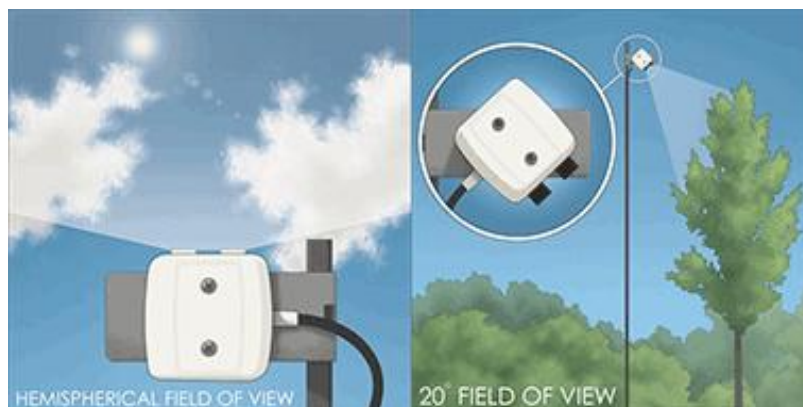
4.1.1 SRS senzor

Spectral Reflectance Sensor (SRS) je bezkontaktní poziční senzorický systém vyrobený a distribuovaný firmou Decagon, který monitoruje vegetační kryt a v závislosti na využitém senzoru počítá normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) nebo fotochemický index odrazivosti (PRI - Photochemical Reflectance Index). Na základě výsledků měření je možné stanovovat hypotézy pro stárnutí vegetace, účinnost a dopad světla, obsah vody, produkci biomasy a další vlastnosti. Předností senzoru je jednoduchost systému, voděodolnost, kompaktnost, nízká váha, cenová dostupnost a možnost měření více systémů najednou. (SRS, 2014)

Tab. 4.1: Specifikace SRS senzoru (SRS, 2014)

PARAMETR	HODNOTA
Senzory	kosinově korektní teflonový difusor pro hemisférický pohled senzor pro poziční pohled v úhlu 20°
NDVI vlnové délky	630 a 800 nm vlnové délky s odchylkou 5nm
Přesnost	10% a lepší pro hodnoty spektrálního ozáření a záření
Měřický čas	< 300 ms
Rozměr senzoru	43 x 40 x 27 mm
Váha senzoru	Senzor: 47 g, s 5m kabelem: 170 g
Energetické požadavky	3,6 do 15 VDC, 4mA
Operační teplota	-40 až 50°C
Kabel	5m standardní, 3,5 mm (stereo) plug
Komunikace	SDI-12 digitální
Kalibrace	NIST přenos hodnot uložených v paměti senzoru
Kompatibilní datalogger	Rodina EM50, ProCheck, Campbell Scientific

SRS je dvoupásmový radiometr, který je vyroben ve 4 verzích – NDVI hemispherical, NDVI – field stop, PRI – hemispherical, PRI – field stop. Verze Hemispherical je tvořena teflonovými difuzory pro kosinově korektní měření a je primárně navržena pro měření dopadajícího záření díky přímému pohledu vzhůru. Senzor nesmí být zastíněn a zároveň musí mít otevřený výhled na oblohu. Verze Field stop měří odražené záření a následně dochází k výpočtu NDVI nebo PRI z patřičných vlnových délek. Orientace senzoru je omezena 36° při pohledu směřujícím dolů. Tento senzor stejně jako jiné přístupy využívá faktu, že množství odraženého záření je ovlivněno množstvím a typem vegetačního pokryvu. SRS-FIELD STOP lze namontovat v libovolné vzdálenosti od vegetace, ale je důležité mít na paměti, že vliv jednotlivých rostlin na výslednou průměrnou hodnotu se zvyšuje. Vzdálenost od vegetace určuje velikost průměrované plochy (rovnice GIFOV). Obě verze mohou být použity pro kvantifikování odraženého záření. Správný výběr senzoru závisí na zvoleném přístupu. Verze hemispherical bude poskytovat lepší výsledky při průměrování odraženého záření na větším území, ale jestliže není instalován kolmo k povrchu, tak bude průměrovat i nebe a vznikne chyba v měření. Primárně je určena na měření dopadajícího záření. Senzor by měl být instalován tak, aby vegetace nekryla výhled na oblohu. Field stop verze může být namířena na konkrétní místo nebo konkrétní orientaci, přičemž má uživatel větší kontrolu nad tím, jaký typ vegetace se měří. Pro většinu aplikací je vhodnějším senzorem právě SRS-Field stop. (SRS,2014)



Obr. 4.1: SRS a jeho typy (www.decagon.com)

Pro výpočet NDVI a PRI je nutná znalost dopadajícího i odraženého záření. Na rozdíl od odraženého záření, dopadající je v daný okamžik prostorově jednotné, takže postačí pro pozici jeden radiometr verze Hemispherical pro zachycení dopadajícího záření a následný výpočet vegetačních indexů. Snímače jsou kalibrovány radiometricky dle standardu NIST. Informace pro kalibraci jsou uloženy přímo v senzoru, proto již není třeba řešit kalibrační koeficienty. Výstup probíhá dle SDI-12 standardu a je vhodné využít pro záznam datalogger Em50, Em50R, Em50G. (SRS,2014)

Při výpočtu NDVI ze senzoru SRS může nastat situace, kdy nedojde ke konečnému výpočtu NDVI při záznamu na dataloggeru nebo experiment má netradiční průběh. V takovém případě lze využít vzorce (4) pro stanovení normalizovaného diferenčního vegetačního indexu, který je oproti základnímu vzorci ovlivněn dopadajícím zářením. Očekává se využití měření pomocí SRS, kde je záznam jednotlivých pásem automaticky kalibrován (SRS,2014).

$$NDVI = \frac{R_n/I_n - R_r/I_r}{R_n/I_n + R_r/I_r} = \frac{(I_r/I_n)R_n - R_r}{(I_r/I_n)R_n + R_r} = \frac{\alpha R_n - R_r}{\alpha R_n + R_r} \quad (4)$$

kde R_n je odražené záření od vegetace v NIR, R_r je odražené záření v červeném pásmu, I_n je dopadající záření v NIR a I_r je dopadající záření v červeném pásmu, $\alpha = 1,84$ je zástupná hodnota využitelná při měření v poledne místo hodnoty dopadajícího záření, nebylo výrazně testováno.

SRS-NDVI lze snadno umístit v terénu na různé typy nosičů dle rozsahu snímkování. Variabilita je poměrně rozsáhlá, měřit hodnoty je možné pro jednotlivé rostliny, výřez z vegetace, celý pozemek či lesní porost. Rozsah průměrované oblasti (GIFOV) je závislý na výšce nad vegetací a je dán vzorce (SRS WEB, 2015):

$$r = 0,35 \times h \quad (5)$$

kde r je poloměr zabraného území, h je výška nad vegetací.

GIFOV, tedy označení pro zorné pole, může být určen pro SRS-field stop i následujícím vztahem, který je uložen v nejhlubší poloze (tj. dívá se přímo dolů), je určena dvěma faktory: Úhel zorného pole, který je stanoven na 18 ° a výška senzoru nad vegetací (SRS,2014):

$$\text{GIFOV} = 2 \times (\tan(18) \times h) \quad (6)$$

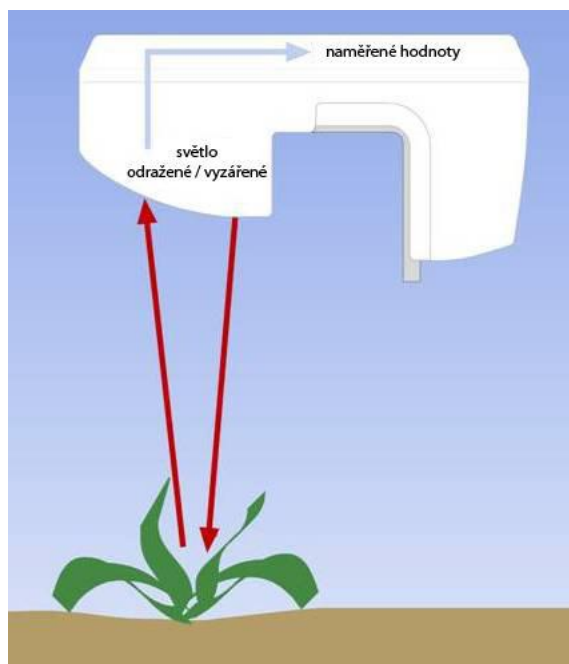
kde h je výška snímače nad vegetací. Když namontujeme senzor 2m nad vegetaci, tak průměr kruhu bude 1,3m.

V rámci diplomové práce proběhlo měření NDVI pomocí SRS senzoru v různých podmínkách. Tématu je věnována kapitola v praktické části.

4.1.2 Další pozemní senzory

GreenSeeker

Systém GreenSeeker společnosti Trimble využívá stejně jako PSI PlantPen princip umělého ozařování pomocí LED diod, s jehož pomocí je možné měřit záření v červeném a blízkém infračerveném spektru. Z měřených hodnot je vypočten hodnota NDVI. Měření probíhá po dobu stisknutí spouště přístroje, kdy displej ukazuje aktuální naměřenou hodnotu NDVI. Po uvolnění spouště dochází k průměrování za celou dobu měření. Nejedná se o přímo dotykový senzor, pro měření je nutné kolmý pohled na vegetační pokryv. Pro větší území je nutné instalovat více senzorů. Vhodná výška nad porostem je 60 až 120 cm, přičemž záběrová plocha je 25 až 50 cm. (Lukas a kol., 2012)



Obr. 4.2: Princip měření přístroje GreenSeeker® (www.trimble.com)

PSI PlantPen

PSI PlantPen je přenosný kapesní měřicí přístroj, který funguje systémem uzavření měření vegetace v „klapce“, kde dochází k osvětlování pomocí záření LED diod se specifickým rozsahem vlnových délek a ve stejné chvíli je měřeno senzorem odrazové záření. Před zahájení měření vegetace je vyžadována kalibrace, která probíhá měřením bez obsahu vegetace. Ačkoliv udává tento senzor výsledky pro konkrétní vegetaci, což v některých aplikacích je velmi přínosné, nelze využít pro větší územní celek. Pouze je možné získat data pro bodové poziční zastoupení. (Lukas a kol., 2012)

Tab. 4.2: Přehled vybraných pozemních senzorů pro měření vegetace (Reckleben, 2011–upraveno)

	N-Sensor ALS	Crop- Meter	MiniVeg N	Isaria	CropSpec	GreenSeeker	PSI PlantPen	SRS
Výrobce	Yara	Claas	Fritzmeier	Fritzmeier	Topcon/Yara	Trimble	PSI	Decagon Devices
Princip měření	optický	mechanický	optický	optický	optický	optický	optický	optický
Měřená veličina	odběr N, biomasa	úhel vychýlení kyvadla	fluorescence chlorofylu	odběr N, biomasa	odběr N, biomasa	NDVI, biomasa	NDVI/PRI	NDVI/PRI
Orientace čidla k porostu	šikmo	přímo ve vegetaci	Kolmo	kolmo	šikmo	kolmo	dotykový	0°-36°
Doporučená vzdálenost od vegetace	instalace na pojezdovém zařízení	přímo ve vegetaci	těsně nad vegetací	1m nad vegetací	instalace na pojezdovém zařízení	instalace na pojezdovém zařízení	dotykový	dle výšky velikost záběru
Zdroj světla	xenonové výbojky	bez osvětlení	laser	LED	laser	LED	LED	přirozené osvětlení
Využitelnost	24 h denně	24h denně	24h denně	24h denně	24h denně	24h denně	24h denně	24 h denně (omezení v noci)
Omezení veg.fází	žádné / kalib. od DC 29	od DC 32	od DC 49	žádné	žádné	žádné	žádné	žádné
V praxi	od 1999	od 2003	od 2005	od 2009	od 2011	od 2009	od 2011	od 2013

Nejčastěji sledovaným jevem u pozemních vegetačních senzorů je stav dusíku, což je zapříčiněno důrazem ze strany zemědělců na vhodné dávkování hnojiv a tedy efektivní pěstování plodin. Informace získané terénním měřením lze využít i v dalších aplikacích jako například erozní modely či predikce vývoje vegetačního krytu. Bohužel na našem území těmto tématům je věnována jen malá pozornost většinou díky akademické sféře. Přitom lze pomocí vegetačních indexů, senzorickým sítím, dálkovému průzkumu Země určit stav rostlin, množství biomasy na jednotku plochy, odlišit vegetaci od ostatních objektů, atd.

4.2 Letecké a družicové sběr dat

Nejen v literatuře můžeme letecký či satelitní sběr dat rovnat jinému známému a v současnosti velmi prosazovanému termínu, kterým je dálkový průzkum Země. Počátek nového tisíciletí znamenal rozmach dálkového snímání povrchu Země. Řada experimentálních senzorů byla namontována na družice a byl tedy umožněn sběr dat pro globální měřítko, tvorba digitálních modelů a detailní spektrální měření zemského povrchu. (Skidmore, 2002)

Pro účely detekce vegetačního krytu je vhodné využití snímků s vysokým prostorovým rozlišením. Ovšem u těchto snímků často narážíme na cenu, dostupnost, relativní omezenost v informačním obsahu či nevhodný interval snímání. U snímání s menším prostorovým rozlišením můžeme využít obsáhlých datových skladů pro časové srovnání a získu vícepásmových informací. Budoucností pro environmentální účely je jistě projekt Copernicus (<http://copernicus.gov.cz/> nebo <http://www.copernicus.eu/>), který má potenciál otevřít novou etapu v dostupnosti kvalitních a informačně obsáhlých dat. Nicméně neodpadne řešení otázek dostupnosti dat (prostorové rozlišení, časová variabilita snímání, velikost zabaného území) před výběrem nevhodnějších dat.

4.2.1 Multispektrální kamera ADC

Agricultural Digital Camera (ADC) je multispektrální kamera od společnosti Tetracam Inc. zachycující viditelnou část spektra od vlnové délky 520nm až po blízkou infračervenou část spektra vlnové délky 920 nm. Rozsah vlnových délek odpovídá pásmům z Landsat. Jedná se o specializovanou digitální kameru s jedním CMOS senzorem o rozlišení 3,2 MPx. Součástí zpracování snímku je i kalibrace pomocí snímku kalibrační destičky. Výstupem jsou snímky o rozměru 2048 x 1536 Px uložené v nekomprimovaném 10 bit formátu RAW10. Zpracování je doporučeno v softwaru PixelWrench2. ADC kamera je jedním ze zástupců senzorů pro poziciční nebo letecké snímání s vysokým prostorovým rozlišením a je určena pro záznam spektrální odrazivosti vegetačního krytu a provádění vegetačních analýz. (Skipalová, 2013).

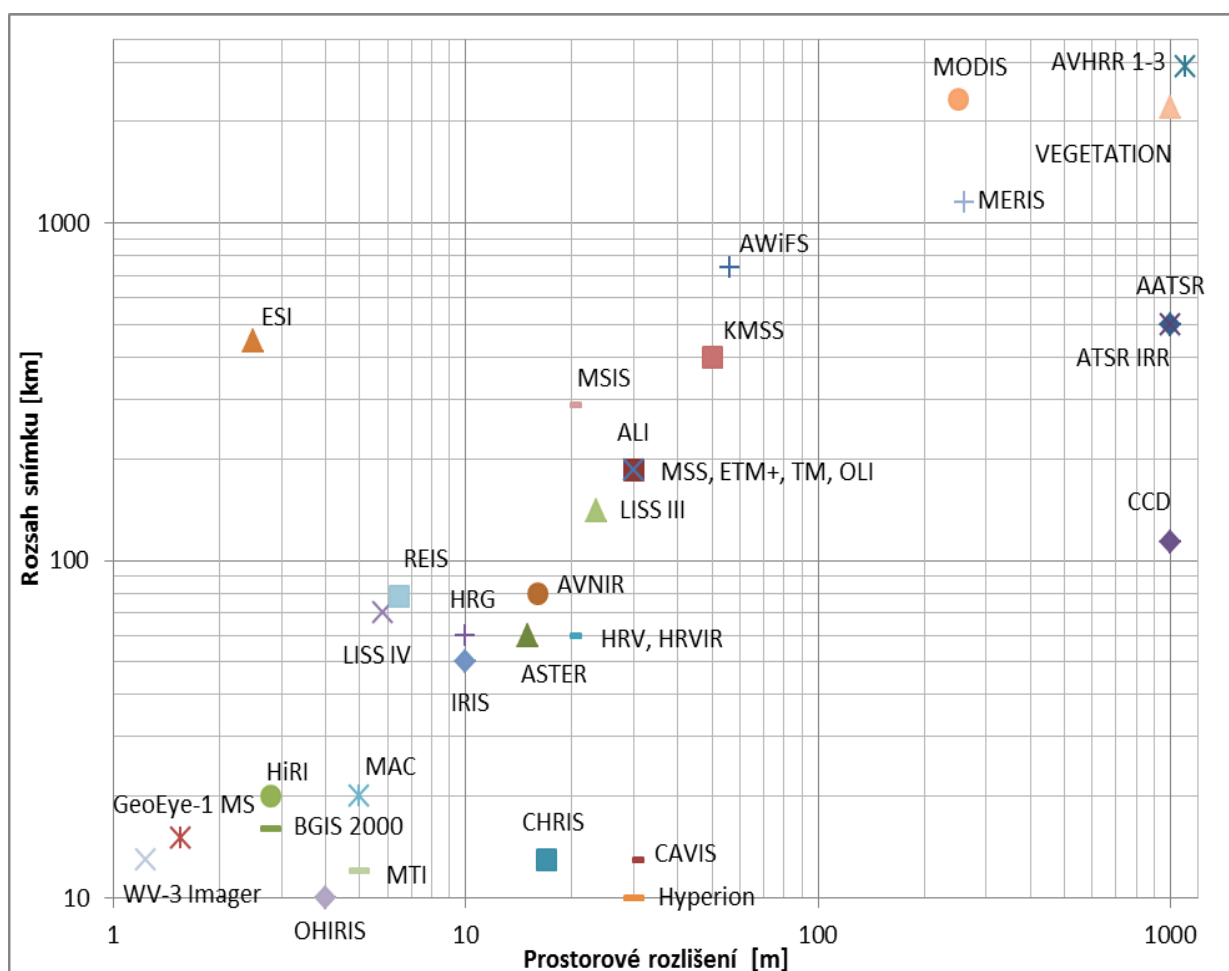
V praktické části byly porovnány snímky z ADC a hodnoty naměřené SRS. Díky svým parametrům je možné kameru využívat při pozemní i leteckém snímání.



Obr 4.3. Multispektrální kamera ADC (Skipalová, 2013)

4.2.2 Družicové senzory

Umělé družice tvoří v současnosti nejvýznamnější zdroj obrazových informací o aktuálním stavu řady systému na Zemi a jsou nejdynamičtější se rozvíjející skupinou nosičů sensorických systému pro dálkový průzkum Země. Od počátku vývoje v 60. letech 20. století byla na oběžnou dráhu umístěna řada družic s různým využitím (navigační, environmentální, meteorologické,...), vždy dle konkrétních senzorů. Výhodou většiny družic je pořizování obrazových a neobrazových dat po relativně pravidelných intervalech delší časové období. To umožňuje analytické zpracování změn a sledování vývoje prostorových jevů. Družice užívané v DPZ obíhají kolem Země po eliptických drahách v různých výškách, díky čemuž disponují i různým prostorovým rozlišením a různou velikostí záběru snímku. Nosič družice nese radiometr, který měří z ploch přibližně odpovídající pixelu obrazového záznamu intenzitu odraženého záření v určitém intervalu vlnové délky. To, v jakých vlnových délkách se radiometr měří, definuje tzv. spektrální rozlišovací schopnost družicového systému (Dobrovolný, 1998).



Obr. 4.4: Prostorové rozlišení a rozsah snímku u vybraných družicových senzorů

V současnosti lze získat data historická i aktuální z řady družicových systémů. K dispozici jsou díky stahovacím webovým službám, kterým je věnována kapitola 4.2.3. a podrobně jsou popsány v příloze. Vždy je zapotřebí si stanovit kritéria, která jsou pro uživatele důležitá – cena, rozsah snímku, prostorové rozlišení, využití = spektrální rozlišovací schopnost, atd. Jak uvádí příklad na obr. 4.4 řada družicových senzorů specializovaných na multispektrální snímkování má vysoké prostorové rozlišení za cenu rozsahu snímku a většinou se jedná o zpoplatněná data. Kompletní přehled družicových senzorů a jejich vlastností je uveden ve volné příloze, vybrané jsou popsány dále.

Program COPERNICUS – satelit SENTINEL-2

Copernicus je označení pro vznikající evropský systém monitorování Země, který se skládá z komplexního souboru prostředků pro sběr dat a je součástí Globálního pozorovacího systému Země (GEOSS). Základem jsou družice pro pozorování Země a in-site senzorů ve formě pozemních stanic, vzdušných a námořních senzorů. Uživatelům jsou poskytovány informace prostřednictvím služeb související s bezpečností a životním prostředím. Celý program je určen hlavně orgánům státní správy pro rozhodovací řízení v krizových situacích (přírodní katastrofy, humanitární krize), tvorbu nových právních předpisů v oblasti životního prostředí a informovanost společnosti. Rozvoj pozorovací vesmírné složky v programu Copernicus zajišťuje Evropská vesmírná agentura, pozemní složku Evropská agentura pro životní prostředí a členské státy. Od počátku programu jsou získaná data otevřená všem občanům, což je jedna z prvních věcí, co dělá tento program zajímavým. Prakticky budou informace k dispozici pomocí online služeb (Sentinel-2, ESA-Copernicus).

Vesmírnou složku programu Copernicus bude zastupovat řada satelitů Sentinel, která je v současnosti vyvíjena a postupně vysílána do vesmíru. Pro sledování vegetačního pokryvu jsou určeny dva satelity Sentinel-2, kdy Sentinel-2A o váze 1,1 tuny byl vypuštěn 23. června 2015 a doplní tak radarový Sentinel 1, který byl vypuštěn v dubnu loňského roku. Snímky by měla první družice poskytovat od října 2015. Sentinel-2B by měl následovat v dalším roce. Sentinel-2 bude poskytovat volně a zdarma dostupné multispektrální optické snímky v různém stádiu zpracování s vysokým rozlišením ve 13 spektrálních pásmech, které budou prezentovat informace o vegetaci, půdě, vnitrozemských vodních cestách a pobřežních oblastech. Také bude poskytovat informace pro záchranné složky, což vychází z konceptu celého programu GEOSS (Sentinel-2, ESA-Copernicus).



Obr. 4.5: Schéma GEOSS (<http://gmes.gov.cz/>)

Pro účely získání dat o vegetaci existuje služba monitorování Země, která poskytuje geografické informace o krajinném pokryvu a souvisejících faktorů (vodní cyklus, zdravotní stav vegetace). Služba podporuje informovanost v oblastech územního plánování, lesního hospodářství, zemědělství, vodního hospodářství, atd. Po spuštění satelitu Sentinel-2 bude produkována vrstva obsahující hlavní typy krajinného pokryvu – umělé povrchy (komunikace, zpevněné plochy), lesní plochy, zemědělské plochy (travní porosty), mokřady a malé vodní plochy. Data budou využita i pro aktualizace sady CORINE Land Cover. Data bude možné využít i pro další aplikace (např. hodnocení vodní eroze), jelikož jedním ze záměrů je poskytování kvalitních dat za kratší časový interval, což umožní lepší hodnocení změny vegetace v průběhu vegetačního období. (Sentinel-2, ESA-Copernicus).

Data z mise Sentinel-2 budou poskytována formou 3 hlavních služeb – GEOLAND2, SAFER a G-MOSAIC. Navíc Sentinel-2 bude poskytovat návaznost i na produkty družic Landsat a SPOT. Bude tak možné hodnotit využití zemědělské půdy, dopady na biodiverzitu a krajinu, a dále posoudit podmínky pro pěstování plodin a predikovat výnosy (DRUCH a spol., 2012).

Tab. 4.3: Charakteristika senzoru MSI (<http://gmes.gov.cz/>)

Senzor MSI pro Sentinel-2	
Typ dat	Optická
Typ senzoru	Multispektrální
Počet spektrálních pásem	13 (10 VNIR, 3 SWIR), 443 – 3000 nm
Prostorové rozlišení	10, 20 a 60m
Doba oběhu	5 dní
Záběr senzoru	290 km
Možnost programování	Ano
Stereosnímky	Ne
VNIR – viditelné a blízké infračervené záření – 443 – 1400 nm	
SWIR – krátkovlnné infračervené záření – 1400 – 3000nm	

LANDSAT

Mise Landsat poskytuje v dálkovém průzkumu Země nejdelší řadu satelitních snímků středního prostorového rozlišení. Pro nejrůznější aplikace je k dispozici čtyřicet let snímků ze 4 senzorů (MSS, TM, ETM+, OLI), které se postupně vystřídali na 7 družicových nosičích (Landsat 1-8, Landsat 6 nebyl zprovozněn). Jedná se rozsáhlý zdroj informací pro obory zemědělství, geologie, lesnictví, územní plánování, mapování a globální výzkum změn životního prostředí. Data z Landsat 5 sloužila jako základní vrstva pro tvorbu CLC 1990 a data z Landsat 7 pro CLC 2000. Snímky je možné stáhnout zdarma přes portály GLOVIS, Earth Explorer, EOLI. Poskytovateli a správci jsou US Geological Survey (USGS) a NASA (LANDSAT missions, 2015).

Tab. 4.4: Srovnání senzorů družic Landsat (<http://landsat.usgs.gov/>)

SENZOR	MSS	TM	ETM+	OLI
Družice	Landsat 1-5	Landsat 4,5	Landsat 7	Landsat 8
Počet pásem	4	7	8	11
Prostorové rozlišení (m)	68x83	30 (120 - termální)	30 (60 – termální, 15 – panchromatické	30 (100 – termální, 15 – panchromatické
Spektrální rozlišení	0,5 - 1,1	0,45 – 12,5	0,45 – 12,5	0,43 - 12,51
Časové rozlišení (den)	18 (Landsat 1-3), 16 (Landsat 4,5)	16	16	16
Radiometrické rozlišení (bit)	6	8	8	16
Funkčnost	1972-1992	1982 – 2013	1999 – dodnes	2013 – dodnes

NOAA AVHRR

Satelitní program provozovaný NOAA se primárně soustředí na sběr dat životního prostředí pomocí několik generací satelitů. Tyto satelity poskytují informace z měření teploty a vlhkosti v atmosféře, radiační bilanci Země, detekci nouzového signálu, atd. Pro pozorování Země je nejdůležitějším nástrojem Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) skener se svými pěti spektrálními pásmy. Kombinace pásem AVHRR nabízí širokou škálu využití a možnost sestavování dlouhých časových řad, neboť datové sady obsahují snímky od roku 1981. Nevýhodou je hrubé prostorové rozlišení, které činí 1,1 km a využití je spíše na globální úrovni (Skidmore, 2002).

Aktuálně NOAA a NASA spolupracují na 5. generaci satelitů v rámci projektu POES (Polar Orbiting Environmental Satellites). Samotný skener AVHRR se také postupně vyvíjí, na NOAA-19 se nachází AVHRR 3. generace, který monitoruje odraženou energii viditelného a infračerveného spektra (eoPortal DIRECTORY, 2015).

Tab. 4.5: Přehled generací satelitního programu NOAA

OBDOBÍ	SATELITY
1. generace 1960 - 1965	Série TIROS [TIROS-1 (1960) - TIROS-10 (1965)]
2. generace 1966 - 1969	ESSA [ESSA-1 (1966) - ESSA-9 (1969)]
3. generace 1970 - 1976	NOAA [NOAA-1 (1970) - NOAA-5 (1976)]
4. generace 1978 - 1994	NOAA [NOAA-6 (1979) - NOAA-14 (1994)]
5. generace 1998 - ...	NOAA [NOAA-15 (1999) - NOAA-19 (2009)]

SPOT Vegetation

Program Vegetation byl vyvinut pod záštitou Evropské komise, Francie, Belgie, Itálie a Švédska. Senzor Vegetation má dvě provedení, kde Vegetation 1 je umístěn na družici SPOT-4 a Vegetation 2 je na SPOT-5. Datové sklady obsahují snímky od roku 1998, což umožňuje porovnání vývoje v čase, ačkoliv stejně jako NOAA AVHRR má hrubé prostorové rozlišení. Ze snímků je lze interpretovat biosférickou dynamiku či vegetační produkci na velkých prostorových celcích (SPOT VEGETATION, 2015).

Terra MODIS a Aqua MODIS

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) je významným senzorem na družici Terra a Aqua poskytující data od roku 2000. Snímání probíhá od severu k jihu (Terra) a od jihu k severu (Aqua) s dvoudenním intervalem ve 36 spektrálních pásmech a spektrálním rozlišení 500 m pro pásma dobře reprezentující vegetaci. MODIS poskytuje hodnotné obrazové informace využitelné v hodnocení globálních změn životního prostředí a rozhodovacích procesech dalšího rozvoje a ochrany životního prostředí. MODIS svým zaměřením patří do rodiny vegetačních senzorů jako AVHRR (POES) a TM (LANDSAT). (MODIS, 2015)

4.2.3 Stahovací služby

Ve vesmírném prostoru se nachází množství senzorů, které mají potenciál nám přinést bohaté informace, ale řada z nich není veřejná a slouží soukromým nebo armádním subjektům. Za 50. let družicového snímání vznikly obsáhlé databáze snímků. Ty veřejné jsou poskytovány pomocí webových služeb zdarma nebo za určitých licenčních či finančních podmínek. Katalogy snímků jsou postaveny pro jeden konkrétní projekt (př. NOAA) nebo jako sada z různých družic (GLOVIS). Výhodou rozsáhlých katalogů je distribuce snímků pro konkrétní místo na Zemi z různých zdrojů a s různým časovým rozlišením. Kromě volných a zpoplatněných datových zdrojů řada družicových systémů poskytuje obrazová data, která nejsou veřejná a slouží bezpečnostním účelům. Některé stahovací služby jsou dočasně omezeny z důvodů aktuální bezpečnostní politiky (např. Sovinform Sputnik Catalog). Řada služeb poskytuje kromě upravených snímků i analytické produkty. Mezi nejužívanější patří GLOVIS a Earth Explorer. V Příloze 2 jsou představeny vybrané webové služby s prohlížečím či stahovací funkcí včetně náhledů na uživatelské rozhraní.

4.3 SOWAC-GIS

Výzkumný ústav meliorace a ochrany půdy poskytuje veřejnosti geoportálu SOWAC-GIS (<http://geoportal.vumop.cz>), jakožto informační zdroj řady environmentálních problematik. K dispozici je od roku 2008 a v poslední době zaznamenal zásadní změny v grafické i obsahové podobě, a tím se přiblížil potenciálním uživatelům. Jednou z částí je projekt Vodní eroze půd ČR mapující ohroženost zemědělského půdního fondu ČR. V praxi jsou hodnoty prezentované VÚMOP považovány za referenční. V rámci zemědělské tematiky je v SOWAC-GIS prezentována mapa Maximální přípustné hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace C_p , která představuje limity hospodaření na dílech půdních bloků. Jednotlivé limitní hodnoty vychází z rovnice USLE a jsou nastaveny tak, aby byla zachována funkce půdy a její úrodnost (Kadlec, 2014).

Doplňujícím významným nástrojem SOWAC-GIS je Protierozní kalkulačka (<http://kalkulacka.vumop.cz>), pomocí níž lze zjistit referenční hodnoty proměnných modelu USLE (např. C-faktoru) pro konkrétní dílec půdního bloku vedeného v registru zemědělské půdy LPIS a vhodnost zvoleného osevního postupu. Smyslem Protierozní kalkulačky je poskytnout uživatelům nástroj pro podporu rozhodování a nástroj pro účinné řešení protierozní ochrany a dodržování standardu Dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy (DZES, jinde v Evropě GAEC) (Kadlec, 2014; Mistr, 2014).



P R O T I E R O Z N Í
K A L K U L A Č K A

[Přihlásit](#)
[Registrace nového uživatele](#)

INFORMACE **VÝBĚR LOKALITY** VÝPOČTY

Definice výpočtu ochranného vlivu vegetace



PB/DPB LPIS

V tuto chvíli je vybráno celkem 1 PB/DPB LPIS

PB/DPB LPIS	Výměra (ha)	ZVO	LS	K	Cp - Pp
590-1090-9701/11	18.29	obilnářská	0.97	0.58	1.00

Celková výměra: 18.29 ha

Protokol o posouzení ochranného vlivu vegetace vybraných PB/DPB LPIS

Osevní postup

	skupina plodin	plodina	zařazení v osevním postupu a použité agrotechnika
1. osev	skupina jetelevojn - nejhustější plodiny	jetele	po obilovině, luskovinné, olejnaté, seti do mulče, strniště, bezorebné
2. osev	skupina husté seti obilniny	ozimé obiloviny (pšenice oz., žito, tritice)	po jetelevojně, seti do zorané půdy
3. osev	skupina husté seti obilniny	jaří obiloviny (pšenice j., ječmen, oves)	po obilovině, luskovinné, olejnaté, seti do zorané půdy
4. osev	skupina plodin do řádků nad 0.5 m (SK)	kukulice, širok	po obilovině, luskovinné, olejnaté, seti do zorané půdy
5. osev	skupina husté seti obilniny	ozimé obiloviny (pšenice oz., žito, tritice)	po okopaném či SK, seti do zorané půdy
6. osev	skupina okopanin do řádků 0.5 m (nepřítá pro odkameňování)	brambory	po obilovině, luskovinné, olejnaté, seti do zorané půdy
7. osev	skupina husté seti obilniny	jaří obiloviny (pšenice j., ječmen, oves)	po okopaném či SK, seti do zorané půdy

PB/DPB LPIS

PB/DPB LPIS	Výměra (ha)	ZVO	Faktor LS (-)	Faktor K (-)	Cp · P (-)	C (-)
1 590-1090-9601/2	72.92	obilnářská		0.79	0.58	1.00

Celková výměra: 72.92 ha

Obr. 4.6: Prostředí Protierozní kalkulačky (<http://kalkulacka.vumop.cz>)

5 HORIZONTÁLNÍ MODELOVÁNÍ

V aplikacích hodnotící vývoj vegetačního krytu je nejčastěji využíváno analýzy změny v horizontálním směru. Dynamičnost modelování poskytuje obsáhlou informaci, která následně může vstupovat do řady rozhodovacích procesů. Důležité je při modelování postihnout klíčové prvky tak, aby následný výstup byl co nejrealističtější interpretací vývoje a případně kvalitní predikcí budoucnosti. Zároveň je nutné při interpretaci výsledků horizontální změny vegetačního krytu zařadit i další fyzicko-biologické, sociální, politické faktory. Důležitosti faktorů si všímá řada studií (Turner, 1995; Nedbal, 2014) a zároveň poukazuje na podstatu prostorového a časového hlediska, které je pro horizontální modely vývoje vegetačního krytu nezbytné a často je základním vstupním hlediskem a umožňuje získat dynamickou informaci.

Díky modernímu vývoji geografických informačních systémů je v současnosti běžně používána analýza překryvů, kterou je možné provádět téměř s každým softwarem GIS. Jedním z hlavních omezení klasických přístupů překryvného mapování a modelování jsou potíže se zahrnutím hodnotových soudů, jako jsou preference osob s rozhodovací pravomocí a základní vliv rozhodujících faktorů při tvorbě politiky (Pechanec, In print B).

Modely horizontálního vývoje obsahují takřka vždy více algoritmů pro funkční stránku modelu tak, aby nabídl uživateli co nejlepší a realitě nejbližší výsledek. V současnosti jsou vyvíjeny hlavně modely s využitím umělé inteligence, kterou zastupují algoritmy vícehodnotové logiky, genetické algoritmy, fuzzy logika, celulární automaty, neuronové sítě. Podrobný popis algoritmů není v této práci zařazen, neboť je již dobře popsán v jiných odborných pracích.

- NEDBAL, R. – Modelování využití země pomocí nástrojů GEOMOD a Land Change Modeler.
- PECHANEC, V. - Rozbor možností a nástrojů pro modelování budoucího využití země.
- INDROVÁ, M. - Srovnání možností software Dyna-Clue a Land Change modeler pro predikční modelování suburbánního rozvoje modelového území v zázemí Prahy.

5.1 Potřebná data

S rostoucími požadavky na kvalitu výstupů a komplexnost dochází k rozšiřování a doplňování modelů o analytickou a vizualizační část. To ovšem klade větší důraz na vstupní data, jednak jejich přesnost i obsáhlost, neboť krajina zaujímá určitý prostor na povrchu, vyvíjí se v čase a svými funkcemi ovlivňuje další systémy. Zvláště u modelů, které posuzují prostorové rozmístění krajinných prvků za dvě časová období, je klade důraz na integritu dat. První těžký úkol tedy na uživatele čeká v počátku - zvolit vhodná data, kterých je v současné době velké množství. Vždy je třeba určit účel modelování.

Základním principem horizontálního modelování je porovnání dvou informačních zdrojů land cover nebo land use z různých období. Informace o pokryvu a využití země lze získat mnoha způsoby. Základní informační zdroj jsou statistická data, která ovšem postrádají přesnější prostorové umístění a většinou jsou vázány na administrativní celky. Data jsou často poskytována národními službami. Dále jako zdroj mohou sloužit institucionální administrativní data, která se vyznačují specifičností – například může jít o určení chráněných oblastí, lesních rezervací, Natura 2000, atd. Významným zdrojem dat je přímé pozemní pozorování, které disponuje podrobností za cenu velikosti území. V současnosti velmi využívaným kompromisem jsou data z dálkového průzkumu Země získána satelitním či leteckým snímkováním. Přesnost závisí na způsobu zpracování. Konkrétně lze čerpat z projektu CORINE Land Cover, kde jsou k dispozici data za roky 1990, 2000, 2006, 2012 pro celé území České republiky i další země Evropy. Pro interpretaci změn se častěji využívá i High resolution Layers (HRLs), které dle názvu představují snímky s vysokým rozlišením například ze satelitu RapidEye (Pechanec, 2014b).

Dále lze využít analýzy zachyceného obrazového záznamu pro zjištění pokryvnosti země pomocí metod klasifikace obrazu nebo vegetačních indexů, nebo také již zpracovaných výstupů v rámci webových stahovacích služeb. Přehled zdrojů satelitních dat je součástí kapitoly 4.2. Kromě dat vyjadřující krajinný pokryv bývá u některých horizontálně modelovacích nástrojů vyžadováno doplňujících fyzickogeografických i socioekonomických dat, například vzdálenostní rastr od silniční a říční sítě. Zvláště u silniční sítě je důležitá správná volba zdroje dat, neboť by měl odpovídat časovému určení krajinného pokryvu.

Výhodou uživatelů v České republice je relativně velké množství dat v poměrně detailní podobě zachycující stav krajiny v dlouhém časovém horizontu (až 250 let při užití historických katastrálních map) (Pechanec, 2014b).

Kromě zdroje je třeba rozlišovat i formát dat, který je závislý na modelovacím nástroji. Uživatel se setká s požadavkem na rastrová i vektorová data. Vždy je důležitá integrita dat v podobě atributové i prostorové.

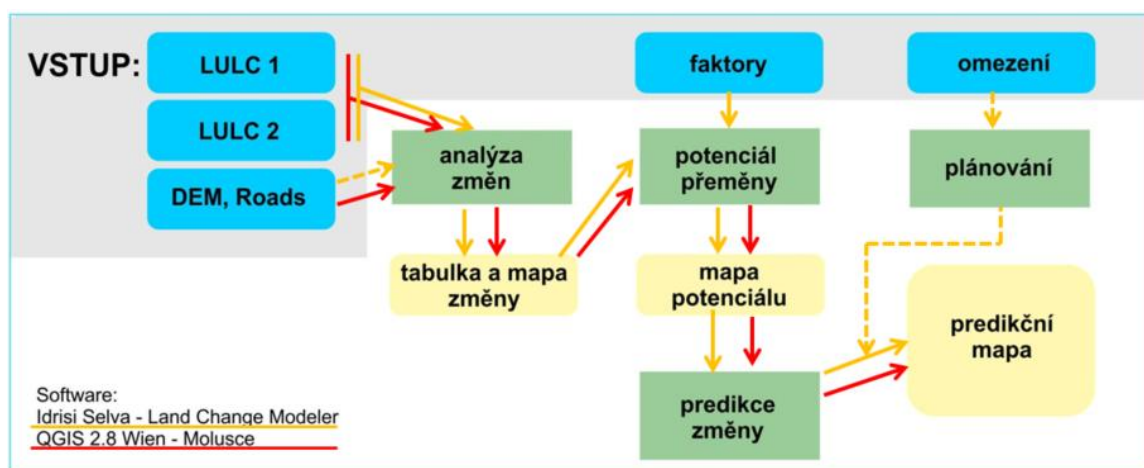
V následujících podkapitolách jsou představeny často využívané modely hodnotící vývoj krajinných prvků v akademických i komerčních aplikacích.

5.2 Land Change Modeler

Land Change Modeler (LCM) je robustní modul programu IDRISI od společnosti Clark Labs, který obsahuje sadu nástrojů pro analyzování horizontální změny využití území. Software umožňuje sestavovat vývojové scénáře a predikovat budoucí změny. Kromě dostupnosti v rámci softwaru IDRISI je k dispozici i extenze pro ArcGIS.

LCM poskytuje silný nástroj pro analýzu a predikci vývoje krajinného pokryvu, jeho monitorování a zdůraznění trendů. Umožňuje vstup řady ovlivňujících faktorů a omezení, které zásadně zpřesní algoritmy stanovující budoucí vývoj. Jako většina softwarů hodnotící potenciál ke změně daného pixelu má i LCM několik typů algoritmů, které se dle požadovaného výsledku volí. K dispozici je logistická regrese, neuronová síť, ke standardizaci faktorů slouží fuzzy logika. Predikci vývoje zpracovává LCM pomocí Markovových řetězců (Pechanec, In print b).

Požadavky na vstupní data, jejich zpracování a postup práce v LCM je součástí praktické části této práce. Celý proces modelování je postaven na sledování změn mezi mapami krajinného pokryvu za dvě různá časová období. Postup práce včetně dílčích kroků je vyjádřen v obr. 5.1.



Obr. 5.1: Schéma dílčích kroků při práci s LCM a Molusce

Jak je ze schématu v obr. 5.1 patrné, tak LCM je rozděleno na několik dílčích částí. Těchto částí je 6 a jsou vyjádřeny jako záložky v modelu, které v některých případech mají posloupnost užití. Výjimku tvoří záložka REDD project věnující se distribuci uhlíku, Implications pro modelování pohybu zvířat a Planning jako doplňující informace k predikování. Tyto moduly jsou volitelné a lze je využít samostatně.

Change Analysis (Analýza změn)

První část modelu složí k analýze nastalých změn ve využití území na základě dvou odlišných historických rastrových snímků. Na jejich základě jsou interpretovány informace o úbytku, nárůstu ve všech kategoriích nebo informace o přesunu z jedné kategorie do druhé. Výstupy lze prezentovat v podobě grafů a map, kde uživatel může

ovlivnit podobu výstupu jedné kategorie nebo kategorií vzájemně. Dále uživatel může nastavit jednotky pro velikost změny. Tato dílčí část umožňuje sledovat trend prezentovaný v mapové podobě (Indrová, 2012).

Transition Potentials (Potenciál přeměny)

Jak vyjadřuje schéma v obr. vstupem do této části modelu LCM jsou výsledky z analýzy změny. Smyslem části Potenciál přeměny je vytvořit mapu vyjadřující potenciál dané buňky ke změně, což je následně využito pro predikování budoucího stavu. Tato záložka je dělena na submodely, které nabízí variabilitu ve skládání se z přeměny jednoho nebo více typů využití území, a jsou ovlivněny stejnými proměnnými. Každý ze submodelů je definován sadou proměnných, které mají přímý vliv na daný submodel. Tyto proměnné jsou dalšími vstupními daty do celého modelu LCM (Indrová, 2012).

Pro vytvoření výsledné mapy potenciální změny existují tři cesty – algoritmu logistické regrese, vícevrstvé neuronové sítě a metoda SimWeight (Nedbal, 2014).

1) Vícevrstvá neuronová síť (MLP nebo-li Multi-Layer Perceptron)

Základní nastavení počítá s metodou neuronových sítí a počet pixelů vstupující do výpočtů je volen automaticky na základě většího čísla u počtu změněných či nezměněných pixelů. Z části pixelů je vytvořena neuronová síť, vypočteny váhy a dochází ke spojení mezi vstupními faktory a výstupními třídami. Z daných vztahů jsou následně generovány jednotlivé mapy potenciálu změny. Při práci algoritmu dochází k automatickému učení a postupné snižování rychlosti. Celý proces je ukončen dle finálního stavu (počet iterací, RMS chyba, přesnost). Autoři doporučují zanechat nastavení, které se automaticky po načtení dat zobrazí (Nedbal, 2014).

2) Logistická regrese

Logistická regrese nedovoluje více přechodů v rámci jednoho modelu, proto pro modelování je vyžadováno nastavení jednoho přechodu pro každý modul. Dále je k dispozici volba vzorkování, které může být systematické nebo nahodilé. Doporučena je hodnota 10% proporce pro vzorkování (Nedbal, 2014).

3) SimWeight

Od verze IDRISI Selva 17.0 je k dispozici nová možnost modelování, která je označena SimWeight, což zkratka pro Similarity-Weighted Instance. Jedná se o metodu využívající lehce pozměněný algoritmus K-nejbližšího souseda. Pro úspěšný průběh je zapotřebí nastavit dostatečně velký reprezentativní vzorek pixelů. Dále je třeba určit parametr K, který vyjadřuje obecnost. Je zapotřebí najít rozumnou míru mezi těmito dvěma parametry. Vhodná hodnota K se pohybuje někde kolem 1/10 velikosti vzorku (Nedbal, 2014).

Change Prediction (Predikce změn)

Třetím krokem v modelu LCM je predikování vývoje krajinného pokryvu. Základním metodou pro predikci jsou Markovovy řetězce. Celý proces je založen na určení očekávané přeměny do data určeného uživatelem. Pro modelování slouží dvě vstupní mapy využití území a výstupy z předchozích částí. Na pozadí programu běží mezikrok, který vytváří dva výstupy – matici pravděpodobnosti přechodu a matici pravděpodobného počtu pixelů určených ke změně (Indrová, 2012).

Při výpočtu jednotlivých pravděpodobností program postupuje následovně: Nejprve určí tabulku vzájemných přeměn mezi historickými daty t_1 a t_2 („crosstabulation“) a přepočte jednotlivé plochy na procenta. Tím vznikne základní matice přechodu, označme ji např. jako A . Nová matice přechodu, udávající přeměnu z novějšího roku do roku budoucího, je pak výsledek mocnění matice A , podle následujícího pravidla. Pokud je mezi historickými mapami krajinného pokryvu např. 5 let, pak matice přechodu pro rok t_2+5 je A , pro rok t_2+10 A^2 , pro rok t_2+15 A^3 , atd... Pokud doba mezi projekčním rokem a historickým snímkem není násobkem doby mezi dvěma historickými snímky, jsou pomocí kvadratické interpolace určeny i mezilehlé hodnoty (Idrisi Selva Manual).

Modul Predikce změn obsahuje i volitelný doplněk v podobě modelování vývoje silniční sítě s rozlišením tří typů.

Poslední částí modulu Predikce změn je výstup interpretující rozmístění změn. K těmto účelům složí dva typy predikce – hard a soft. Hard predikce pracuje se stejnými kategoriemi, jako mají vstupní data, soft predikce pak mapuje jen místa, kde proběhne změna (Indrová, 2012).

Planning (Plánování)

V současnosti častokrát dochází k antropogenním zásahům, které zamezují určitému vývoji krajinného pokryvu. Při modelování je vhodné tyto zásahy ve formě restrikcí zohlednit. K tomuto účelu je v LCM k dispozici záložka Planning, ve které můžeme nadefinovat omezení pro každou kategorii. Aby se omezení projevilo, je nutné ho do systému zadat před spuštěním predikce (Indrová, 2012).

REDD Project

Modul REDD Project slouží k odhadům skleníkových plynů pomocí sledování ukládání uhlíku. Na základě prostorového rozložení a určení změn krajinného krytu, zvláště odlesňování, analyzuje modul množstevní potenciál vázání uhlíku. V současnosti stále probíhá vývoj tohoto modulu (Idrisi Selva Manual).

Zařazením tohoto modulu se zvýšil informační potenciál, z pohledu této práce, v modelování plochy i struktury v rámci jednoho softwaru, tedy v Land Change Modeler. Modul můžeme v rámci této práce zařadit pod vertikální modelování, jelikož vypovídá o sekvestraci uhlíku (více o tématu v kapitole 6.1).

Implications (Důsledky)

Modul Implications modeluje biologickou rozmanitost a pro účely této práce není důležitý.

5.3 Další modely

MOLUSCE

Modules for Land Use Change Evaluation (MOLUSCE) je open-source plug-in pro QGIS vyvinutý japonskou společností Asia Air Survey a ruskou NextGIS. Je určen pro měření a modelování změn využití půdy z klasifikovaných snímků. Obsahuje sadu algoritmů pro simulaci změny, jako jsou neuronové sítě (ANN), váhová evidence (WoE), logistická regrese, multikriteriální hodnocení (MCE) i ověřování pomocí statistických údajů KAPPA. Výhodou je jeho otevřenost a dostupnost. Postupným vývojem má potenciál být obstojným konkurentem LCM. MOLUSCE je poměrně mladý software, který byl představen na konferenci FOSS4G 2013 a je k instalaci v produktu QGIS 2.0 a výše. MOLUSCE má uplatnění v řadě oblastí – územním plánování, lesnictví, projektování a dalších, kde se sleduje změna využití území (MOLUSCE help, 2014).

Model MOLUSCE je stejně jako LCM rozdělen záložkami na dílčí části. V řadě kroků je tento model podobný LCM, což je způsobeno záměrem autorů nabídnout alternativní software pro modelování plošné změny. Vizuálně je možné sledovat podobné kroky ve schématu postupu zpracování v obr. 5.1. Vstupními daty jsou klasifikované vrstvy využití území pro dva různé roky a vrstvy bariér. Všechny vrstvy musí mít stejný extend, jinak nelze pokračovat v hodnocení změn pomocí jednoho ze čtyř algoritmů.

MOLUSCE počítá přechodovou matici pravděpodobnosti změny mezi jakýmkoliv danými třídami, popřípadě generuje tematickou mapu všech typů změn ve využití půdy. Barvy jsou odvozeny z původních barev pro jednotlivé třídy. Výslednou mapu změn je možné uložit jako GeoTIFF nebo vybrat jiný výstupní soubor.

Děle MOLUSCE umožňuje predikci budoucího vývoje pomocí výpočtu Monte Carlo a celulárních automat. V závěru je provedena validace a stanovena přesnost výstupu na základě kappa statistiky (MOLUSCE help, 2014).

Geomod

Geomod je dalším modelovacím nástrojem horizontální změny využití území, který byl vyvinut společností SUNY College of Environmental Science and Forestry a je k dispozici jako jeden z modelů v softwaru IDRISI. I v tomto modelu dochází k porovnání dvou datových zdrojů o území z různého časového období. Využití nachází v lesnictví při analýzách odlesňování a dalších environmentálních aplikacích. Geomod umožňuje simulaci budoucího vývoje i vývoje v minulosti. Pro finální predikci je často kombinován s modulem a zároveň algoritmem CA_MARKOV (Pechanec, In print B).

Geomod je postaven na čtyřech základních pravidlech, z nichž jedno je automaticky zaimplementováno a další tři nastavuje uživatel sám. Zaimplementované pravidlo popisuje vztah změny mezi dvěma pixely, kdy změna probíhá jen v jednom směru. Uživatelská pravidla se věnují nastavení sledovaného regionu změny, což je zajišťováno mapou stratifikace, dále způsob procházení pixelů v modelovacích procesech a třetí uživatelské pravidlo umožňuje uživatelský zásah do mapy vhodnosti.

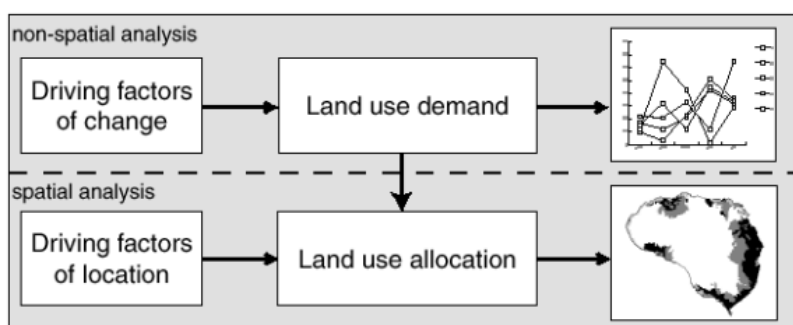
Popisem postupu a dílčích částí modelu Geomod se zabýval Nedbal (2014) a Pechanec (In print B).

Dyna-Clue

Model Clue (Conversion of Land Use and its Effects modelling Framework) je vyvíjen od roku 1996 do dnešní doby, kdy současná verze nese označení Dyna-Clue. Model je určen pro sledování změn krajinného pokryvu, kdy využívá kombinace logistické regrese a informací ze sousedních buněk. Na základě výsledků jsou produkovány mapy vhodnosti změny a interpretována lokace jednotlivých změn pro kategorie land use (Pechanec, In print B).

Predikce budoucího vývoje je ovlivněna nastavením uživatele, který specifikuje pro každou kategorii, na kolik je vhodné změnit kategorii v jinou, tedy určí míru vhodnosti ke změně (Indrová, 2012).

Model Dyna-Clue má dvě modulové podoby, modul neprostorové analýzy a modul prostorové analýzy. Na základě těchto analýz jsou interpretovány výsledky v patřičné podobě (viz obr. 5.2) (Indrová, 2012).



Obr. 5.2: Dvě modulární podoby modelu Dyna-Clue (Pechanec, In print B)

Podrobně tento model rozebírá Indrová (2012), Joska (2014) a Pechanec (In print B).

Tab. 5.1: Srovnání základních vlastností prezentovaných modelů (Pechanec, In print B)

	CLUE	LCM	MOLUSCE	GEOMOD
<i>Cena</i>	Free	Komerční	Free	Komerční
<i>Typ aplikace</i>	Stand-alone	Součást IDRISI / doplněk do ArcGIS	Doplněk do QGIS	Součást IDRISI
<i>Stabilita</i>	Vysoká	Nízká	Velmi nízká	Střední
<i>Podporované formáty dat</i>	ASCII	Rastry - RST (<i>Idrisi formát</i>)	Rastry - GeoTIFF	Rastry - RST (<i>Idrisi formát</i>)
<i>Vývoj</i>	dlouhý, vlastní vývojový tým	dlouhý, vlastní vývojový tým	nahodilý	dlouhý, vlastní vývojový tým
<i>Vstupy LULC</i>	1x mapa	2x mapa	2x mapa	2x mapa
<i>Definování potenciálu přechodu</i>	Ručně, číselné hodnoty	Automaticky @sw	Automaticky @sw	Automaticky @sw
<i>Pracuje s historií území</i>	Velmi omezeně	Ano	Ano	Ano
<i>Definování faktorů</i>	Ano	Ano	Ano	Ano
<i>Hlavní účel</i>	Rozmístění jednotlivých pixelů LULC podle uživatelé zadaných hodnot na základě vhodnosti území	Identifikace změny a odvození trendů vývoje (počet a rozmístění) jednotlivých pixelů LULC na základě vhodnosti území	Stejně jako LCM – snaha o jeho Open Source variantu	Modelování změny 1 kategorie do budoucnosti.

Další srovnání horizontálních modelů je uvedeno v příloze.

6 VERTIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ

Vertikální modelování poskytuje informace o růstu a vývoji vegetačního krytu. Konkrétně se jedná o strukturu vegetace, neboť struktura výrazně ovlivňuje řadu fyzicko-biologických procesů v environmentálních aplikacích. Vegetační kryt plní mnoho funkcí a variabilita vertikálního rozložení může tyto funkce zásadně měnit, proto je vhodné hodnotit vegetační kryt v horizontálním i vertikální měřítku. Změna struktury ovlivňuje energetickou a uhlíkovou výměnu, příjem živin, půdní procesy, vodním režim, ochranu před erozí, atd. Výhodou je možnost vyjádření struktury řadou dílčích projevů, kterými jsou například množství biomasy, sekvestrace uhlíku, růstové hodnoty. Tyto projevy navíc mají vzájemnou závislost. Na druhou stranu modely, které spadají do této kategorie, se často vyznačují komplexností a sledují řadu jiných proměnných ovlivňující ekosystém, což se následně projeví na obsáhlosti vstupních dat, složitosti systému, často obsahují dílčí moduly, které slouží pro stanovení výstupních hodnot pro množství zájmových oblastí (Marek, 2011).

V následujících kapitolách jsou představeny komplexní modely, které vyjadřují uhlíkovou výměnu a vývoj vegetačního krytu. Častými vstupními daty jsou informace o využití území, tedy informace horizontálního vyjádření. Dále zde jsou prezentovány růstové modely, které mají v současnosti velké uplatnění v praxi, ačkoliv omezenou oblast zájmu.

6.1 Potřebná data

Modely zařaditelné do vertikálního modelování, tedy modelování struktury mají základ obdobný jako u horizontálního modelování. Jelikož se při vertikálním modelování specializujeme na vegetaci, tak základem jsou data prostorového rozmístění krajinného pokryvu (viz. kapitola 5.1). Pak už se požadavky na data orientují dle účelu a užitých nástrojů. V případě zjišťování stavu uhlíku je třeba mít k dispozici tabelární převodové hodnoty pro jednotlivé kategorie land use. Díky kombinaci land use a převodové tabulky lze získat hodnoty uloženého uhlíku s důrazem na prostorovou složku. Při modelování struktury lesních porostů pomocí růstových modelů a simulátorů jsou základem taxační veličiny a informace o typech lesního porostu. Datové požadavky stoupají se složitostí růstových modelů.

Obecně platí, že nástroje modelující strukturu a vertikální vývoj jsou datově velmi náročné a vyžadují obsáhlé a podrobné informace, které často vyžadují terénní sledování.

6.2 Sekvestrace uhlíku a InVEST

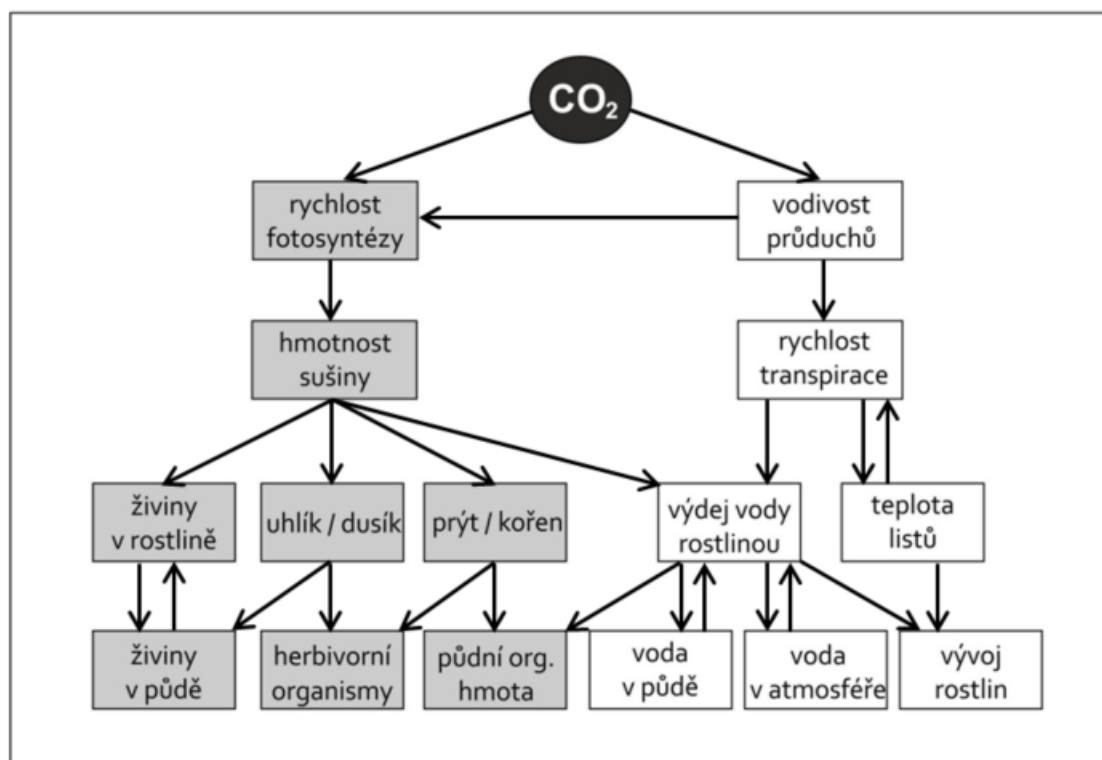
Uhlík je významný biologicko-růstový prvek, který je při fotosyntéze fixován ve vegetaci v rámci tzv. Calvinova cyklu a ovlivňuje strukturu a množství biomasy. Až padesát procent sušiny vegetace je tvořena právě uhlíkem atmosférického původu. Zvýšená koncentrace CO₂ vede ke zvýšení fixace ve vegetaci a tvorbě asimilátů, a tedy zrychlení růstu vegetace a produkce biomasy většiny uhlíkatých rostlin (Marek, 2011).

Jedním ze sledovatelných prvků pro vertikální modelování vegetačního krytu je právě biomasa. Biomasa vyjadřuje hmotnost sušiny organické hmoty, kterou vyprodukují rostliny a živočichové v určitém čase na jednotku plochy. Výsledky lze kvantifikovat na celkovou biomasu nebo na dílčí části – nadzemní/podzemní, živá/odumřelá. Vždy závisí na požadavcích vstupních dat výpočtového softwaru (Filella, 2004).

Řada studií poukazuje na růstovou reakci rostlin při zvýšení koncentrace CO_2 a na následný projev ve formě nárůstu listové plochy, počtu a tloušťky listů, což může být zapříčiněno potenciálním nedostatkem velikosti orgánů při příjmu živin (Marek, 2011).

Na základě této skutečnosti lze říci, že uhlík je významným faktorem, který vypovídá o vertikálním růstu vegetace. Jeho účinky je třeba sledovat v prostorovém i časovém měřítku, což umožňuje modelovat vývoj vegetačního krytu v horizontálním i vertikálním směru s důrazem na dynamiku.

V řádu desetiletí je v ekosystémech sledována tvorba biomasy a využití vody, v řádu staletí jsou analyzovány změny biodiverzity a druhového složení (Reich, 2001).



Obr. 6.1: Schématické znázornění účinků zvýšené koncentrace CO_2 (Nátr, 2000)

Vegetaci můžeme označit za důležitý zásobník uhlíku a různé změny v biomase ovlivňují celkový koloběh uhlíku, který probíhá ve všech rostlinných částech. Celý koloběh ovlivňují i vnější změny jako například změna ve využívání krajiny.

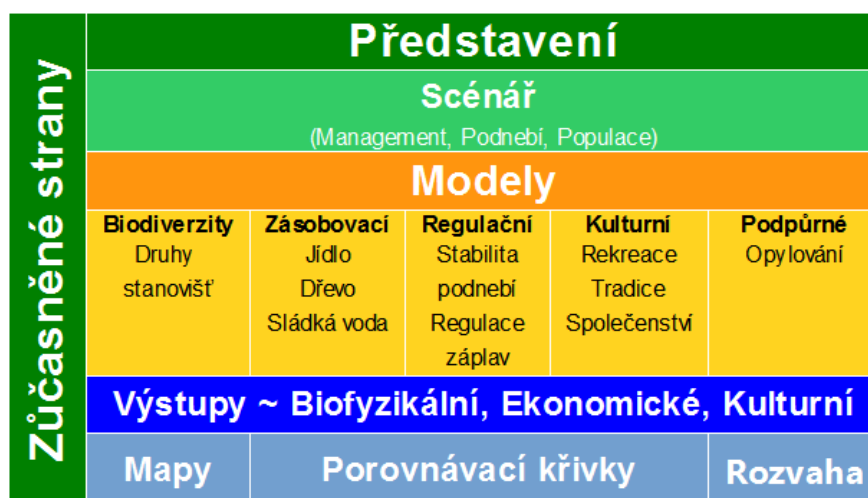
Změna vegetační biomasy v čase na jednotku plochy, tedy změna hustoty biomasy může být použita jako základní klimatická proměnná, neboť je přímým měřítkem sekvestrace, tedy poutání uhlíku mezi suchozemskými ekosystémy a atmosférou (T12 Biomass, 2008).

InVEST

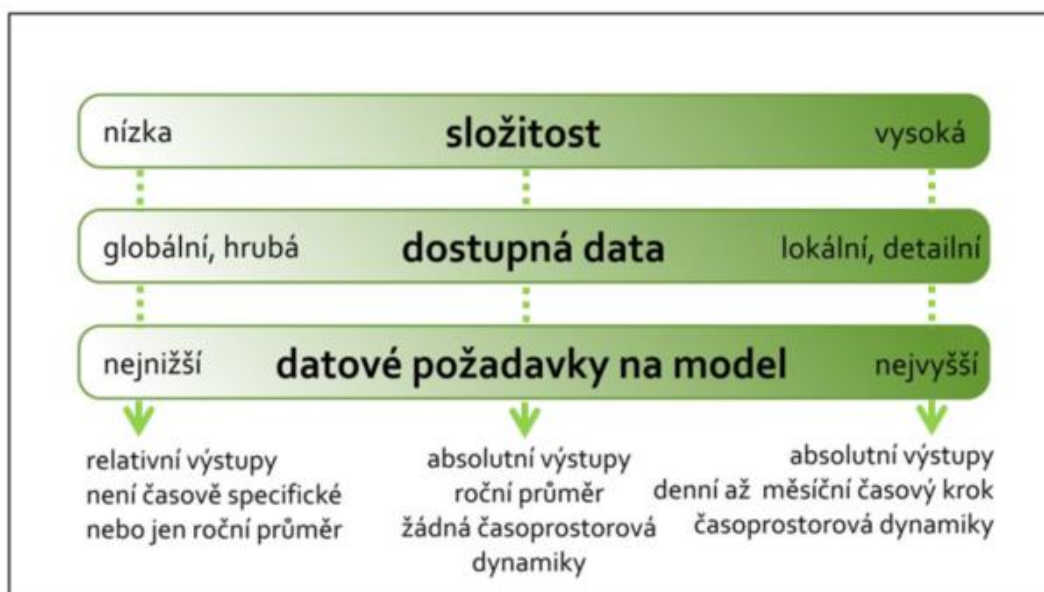
InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) je volně dostupná open-source sada modulárních modelovacích nástrojů určených pro mapování, měření a hodnocení environmentálních proměnných a různých služeb, které ovlivňují lidský život, zdraví, živobytí a ekonomiku. Jednotlivé moduly umožňují uživateli kvantifikovat, vizualizovat a porovnávat různé scénáře půdního, vegetačního či vodního prostředí. Výstupy z modulů jsou součástí různých ekosystémových služeb a napomáhají při rozhodovacích procesech v oblasti výroby zboží, podpory života, podmínek pro život, územní rozvoj, atd., a popisují vztahy přírodních zdrojů. Kombinováním scénářů lze stanovit predikci vývoje v dílčích oblastech a hledat alternativní řešení na zlepšení. Výhodou řady modulů v projektu InVEST je prostorové rozlišení, které umožňuje uživatelům zpracovávat analýzy na místní, regionální či globální úrovni. Moduly jsou založeny na produkčních funkcích, které počítají potenciál vývoje daného faktoru v ekosystému a využívají mapy jako informační zdroje. InVEST nabízí stupňovitý přístup k modelování v oblastech biologické rozmanitosti, ukládání uhlíku, koloběhu a čištění vody, eroze, produkce dřeva, opylování, pobřežní ochrana, pohyb živočichů, rybolov, rekreace a energie (InVEST User Guide, 2015).

Jednotlivé tematické moduly jsou výborně popsány v online dokumentaci, která je dostupná na webové stránce: http://data.naturalcapitalproject.org/invest-releases/documentation/current_release/. U každého modulu je uživateli k dispozici popis modulu, využití, definována vstupní data s popisem práce modulu, limity a využití algoritmy (Pechanec, In print A).

Schéma rozhodovacího procesu (obr. 6.2) zobrazuje několik částí. Zúčastněné strany vytvářejí scénáře, které v rámci dílčích modelů posuzují hodnoty ekosystémových služeb a vytváří biofyzikální, ekonomické, kulturní výstupy v různých formách (Pechanec, In print A).



Obr. 6.2: Schéma rozhodovacího procesu InVEST (Pechanec, In print A)



Obr. 6.3: Základní schéma InVEST

Pro sledování vertikálního vývoje vegetace je dále zpracován modul Carbon obsáhlého modelu InVEST, jelikož uložení uhlíku významně ovlivňuje další vývoj vegetačního krytu nejen ve vertikálním měřítku.

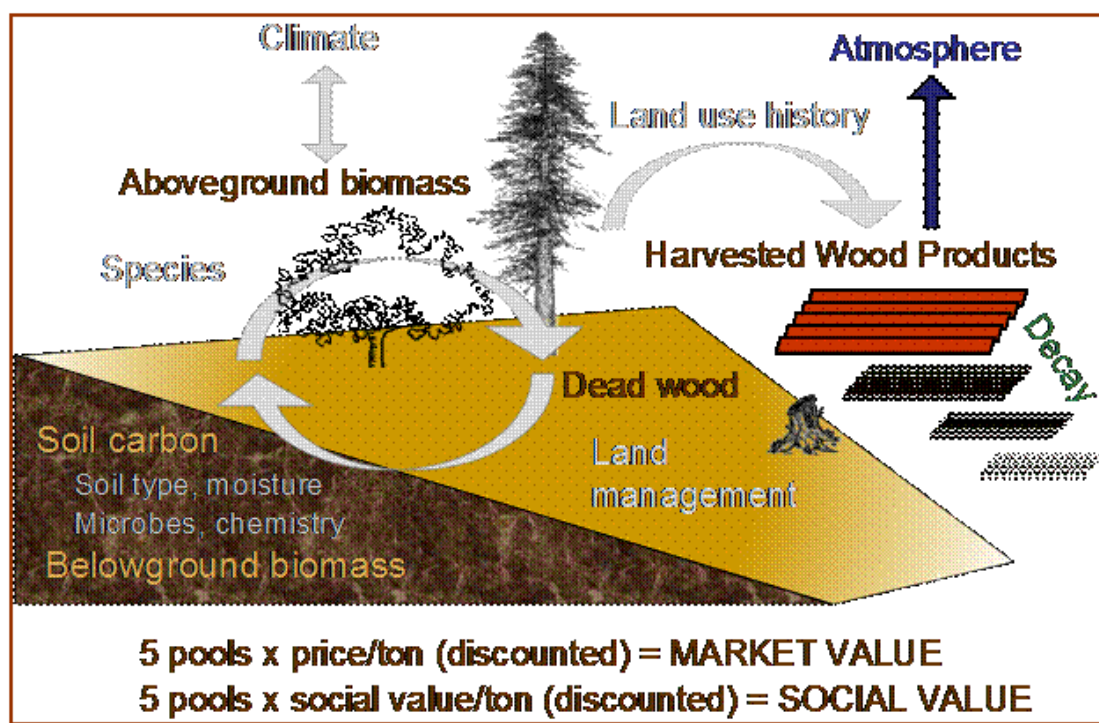
Modul se soustředí na ukládání uhlíku v různých typech vegetace. Jako i jiné přístupy pro vertikální modelování má modul Carbon řadu vstupních dat, kde povinnými jsou mapy land cover a údaje o pohlcování a zásobách uhlíku v nadzemní vegetační biomase, podzemní kořenové biomase, půdě a mrtvé organické hmotě. Prostorové rozlišení a kvalita odhadů závisí na vstupních datech, výsledek je interpretován na pixelové úrovni (McKenzie, 2012).

Modul Carbon není nutné kalibrovat, důležitá jsou kvalitní vstupní data. Nad aktuální verzí stále probíhá vývoj, neboť nyní poskytuje odhady na základě ročního průměru a nelze zohlednit dynamiku během jednoho roku. Dále modul počítá s lineární sekvestrací uhlíku v čase, což je zavádějící, neboť některé druhy vegetace vážou uhlík již v mladém věku. Dalším nedostatkem je nezohledňování biofyzikálních podmínek jako například hodnoty fotosyntézy a aktivních půdních organismů. Výsledné hodnoty z tohoto pohledu obsahují nejistotu. Cílem modulu Carbon je poskytnout informace o ukládání uhlíku (kolik a kde), ztrátách v průběhu času a vlivu změn ve využívání půdy na uhlíkovou výměnu. Na základě těchto informací mohou zainteresované subjekty rozhodovat a konat činnost v ochraně životního prostředí, zemědělství, územním rozvoji (InVEST User Guide, 2015).

Tab. 6.1: Přehled modulu Carbon (Pechanec, In print A)

Důležitost	Krok	Požadovaná data	Proces	Výstup
Potřebné	Služba	Landuse Uhlík v nadzemní biomase Uhlík v podzemní biomase Uhlík v mrtvé organické hmotě Uhlík v půdě	Vyhledá zásoby uhlíku na pixel	Celková zásoba uhlíku (Mg / pixel)
Volitelné	Služba	Uhlík odebírán při těžbě dřeva První rok těžby dřeva Frekvence těžby Půl životnosti produktů z vytěženého dřeva Přepočet expanzního faktoru biomasy	Vypočítá Uhlík uložený v produktech z vytěženého dřeva na pixel	Celková zásoba uhlíku, včetně toho v HWP (Mg / pixel)
		Budoucí využití půdy / půdního krytu	Vypočítá rozdíl mezi obsahem uhlíku	Sazby sekvestrace uhlíku (mg / pixel / rok)
Volitelné	Hodnota	Hodnota vázaného uhlíku Diskontní míra Časové rozpětí Roční tempo růstu cen uhlíku	Vypočítá hodnotu uhlíku	Hodnota vázaného uhlíku (Mg/pixel/rok)

Algoritmy v modulu Carbon jsou podrobně rozebrány v modulární dokumentaci nebo je uvádí ve studii Pechanec (In print A).



Obr. 6.4: Model sekvestrace uhlíku – parametry v barvách jsou zahrnuty do modelu InVEST (InVEST User Guide, 2015).

Pomocí aktuální a predikované mapy využití půdy v rastrové podobě a množství uloženého uhlíku Mg/ha se odhaduje čisté množství uhlíku a celkové množství biomasy pro pozemek. Nejdůležitější vstupní částí je tabelární hodnota pro čtyři základní typy uložení uhlíku - nadzemní (aboveground), podzemní (belowground), půdní (soil) uhlík a uhlík odumřelých organických částí (dead)(obr. 6.4). Jak je patrné z tab. 6.1, kromě povinných vstupních dat lze do modulu Carbon vložit doplňující informace jako typ a frekvence sklizně, a tím získat další informační zdroj pro správní rozhodování. Pomocí diskontních sazeb, což je také nepovinný atribut, lze odhadovat ekonomickou hodnotu sekvestrace, peněžní hodnotu každé jednotky uhlíku a změnu ceny v čase. Prostorové výstupy modul poskytuje v zadaných územních celcích jako parcely, politické jednotky nebo i povodí. Kromě toho modul Carbon poskytuje informaci o nejistotě v podobě směrodatné odchylky pro výstupní veličiny vypočtené pomocí simulace Monte Carlo (InVEST User Guide, 2015).

V současné ekonomické společnosti je kladen důraz na sledování výnosnosti, optimalizace a zvýšení finančního potenciálu. K těmto účelům jsou algoritmy modulu Carbon využívány v rámci projektu REDD+ (Mackey a kol., 2008). REDD+ neboli projekt snižování emisí z odlesňování a znehodnocování lesů je strategie zmírňování změny klimatu zavedena Organizací spojených národů (REDD, 2015).

V praktické části práce je představena aplikace modulu Carbon pro zájmové území povodí Dřevnice. Součástí je postup přípravy dat, vstupních požadavků a interpretace výstupních hodnot.

6.3 Další modely

EPIC

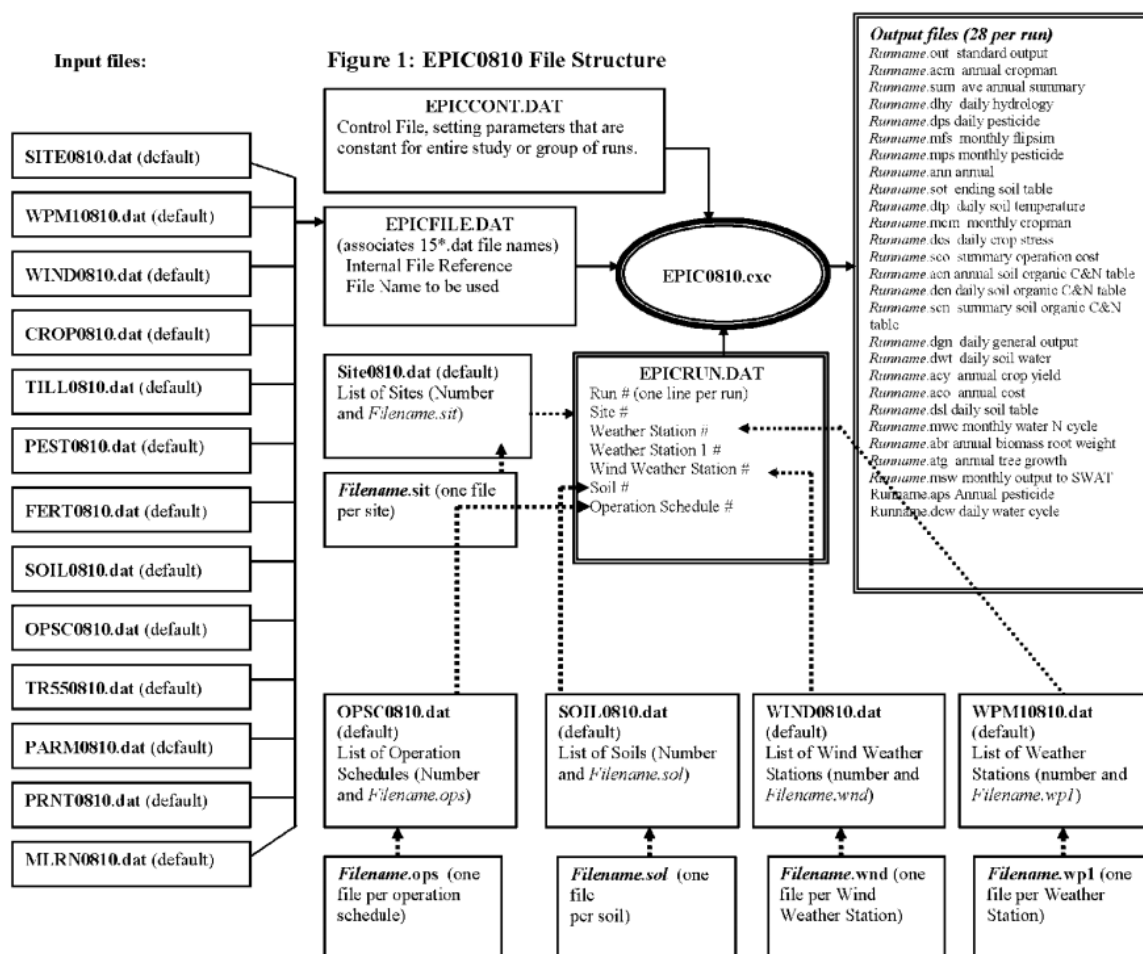
Model EPIC (Environmental Policy Integrated Climate, také Erosion Productivity Impact Calculator) původně vyvinula USDA, dnes je spravována společností Blacklands Research and Extension. EPIC byl vyvinut se záměrem odhadu produktivity a růstu vegetace na půdě postižené erozí a ovlivněného vnějšími faktory, které do modelu vstupují jako jedinečné parametrické hodnoty. Model je velmi flexibilní a díky variabilitě nastavení je použitelný pro velkou škálu aplikací. Uživatel ovlivňuje výběr a kombinování plodin, vegetativní a půdní systémy a strategii řízení. Využití modelu je v oblasti srovnání různých tříd půd při erozi, erozní ztráty a produktivity plodin, účinku výživových procedur a aplikací pesticidů, dopadu sucha na výnos plodin, ekonomicko-environmentální analýzy, atd. Model EPIC funguje na denním časovém kroku, lze ovšem simulovat i stovky let. Od počátečního vývoje byl EPIC neustále zlepšovaný prostřednictvím doplněných algoritmů simulující kvalitu vody, dusíku, změny klimatu a účinky atmosférického oxidu uhličitého. Simulační procesy zahrnují listové zachycení slunečního záření, konverzi biomasy, rozdělení biomasy od kořenů po nadzemní hmotu, hospodářský výnos, růst kořenů, využívání vody a příjem živin. Tento model může také posoudit náklady na erozi pro určení optimální strategie řízení (EPIC & APEX Models, 2015; Williams, 2005).

Model EPIC má své dvě počítačové podoby WinEPIC a i_EPIC, které jsou postaveny nad systémem Windows a základní modelový provoz vychází z databáze zemědělských oblastí USA. Vstupní a výstupní data jsou spravována v souladu s databází Microsoft Access. Součástí jsou diagnostické i editační nástroje. Oba softwary vyvinul CARD (Center for Agricultural and Rural Development). (CARD, 2014)

Díky svému rozsahu je tento model složitý a vstupovat do něj můžeš až 500 různých vstupních dat. Na druhou stranu má řadu dílčích modulů, které poskytují uživateli řadu informací o vertikálním i horizontálním rozložení vegetace, uhlíkovém koloběhu a součástí je i odhad ztráty půdy pomocí modelu USLE, kde vegetační C-faktor vstupuje jako tabelární hodnota.

Celý model je rozebrán v několika obsáhlých uživatelských manuálech:

- Williams, J.R., C.A. Jones, and P.T. Dyke. 1990. The EPIC model documentation. USDA-ARS Technical Bulletin No. 1768. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. pp. 3-9
- EPIC - User's manual: Version 0810 [online]. Blackland Research and Extension Center, 2013 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://epicapex.tamu.edu/files/2014/10/EPIC.0810-User-Manual.pdf>



Obr. 6.5: Souborová struktura modelu EPIC

APEX

Model APEX (Agricultural Policy/Environmental eXtender Model) vznikl pod vedením Blacklands Research and Extension a navazuje na starší model EPIC s cílem rozšířit simulace dopadů hospodaření na půdě pro středně velké povodí a heterogenní hospodářství. APEX je využitelný na problematiku ekologické udržitelnosti, eroze, zásobování a kvality vody, vývoj vegetace, změny klimatu a pohybu zvířat. Do modelu APEX je implementován i model RUSLE, což z modelu APEX vytváří zajímavý nástroj pro zemědělské aplikace. Počítačovou podobou modelu je WinAPEX postavený nad systémem Windows. Informace pro základní provoz modelu jsou organizovány v databázích dle zemědělských oblastí. Model APEX je k dispozici uživatelům i jako extenze pro ArcGIS 10 jako ArcAPEX 10.0.3 Beta (EPIC & APEX Models, 2015).

CENTURY

CENTURY vykonává v podstatě stejné funkce jako EPIC s důrazem na koloběh živin a uhlíku. Model vyvinula Natural Resource Ecology Laboratory z Colorado State University. Model je používán pro simulaci dynamiky uhlíku a živin pro různé typy ekosystémů, včetně travních porostů, zemědělských pozemků, lesů a savan. CENTURY byl speciálně vyvinut k řešení široké škály problémů v ekosystému, stanovení postupů pro účinné obdělávání půdy a určení globálních změn ovlivňující produktivitu a udržitelnost agroekosystémů.

Uživatelům je k dispozici online manuál s popisem všech submodelů. <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century/userguideframe.htm>.

BIOME

BIOME je model vyvinutý uskupením Numerical Terradynamic Simulation Group na univerzitě v Montaně, který ve své počítačové podobě (BIOME-BGC) odhaduje toky a skladování energie, vody, uhlíku a dusíku ve vegetačních a půdních suchozemských ekosystémech. Hlavním účelem modelu je sledování globálního i lokálního působení klimatu na biochemické cykly s důrazem na prostorové vazby. Dochází k modelování fyzicko-biologických procesů jako například opad a růst listů, pohlcování slunečního záření, hromadění a tání sněhu, odtok a shromažďování nadzemní i půdní vody, fotosyntetická fixace uhlíku, distribuce uhlíku a dusíku při růstu částí rostlin, atd. Důležitou součástí je časová složka, neboť model využívá denního časového kroku pro své simulace, což přirozeně klade větší důraz na kvalitu vstupních dat (Thornton, 2000).

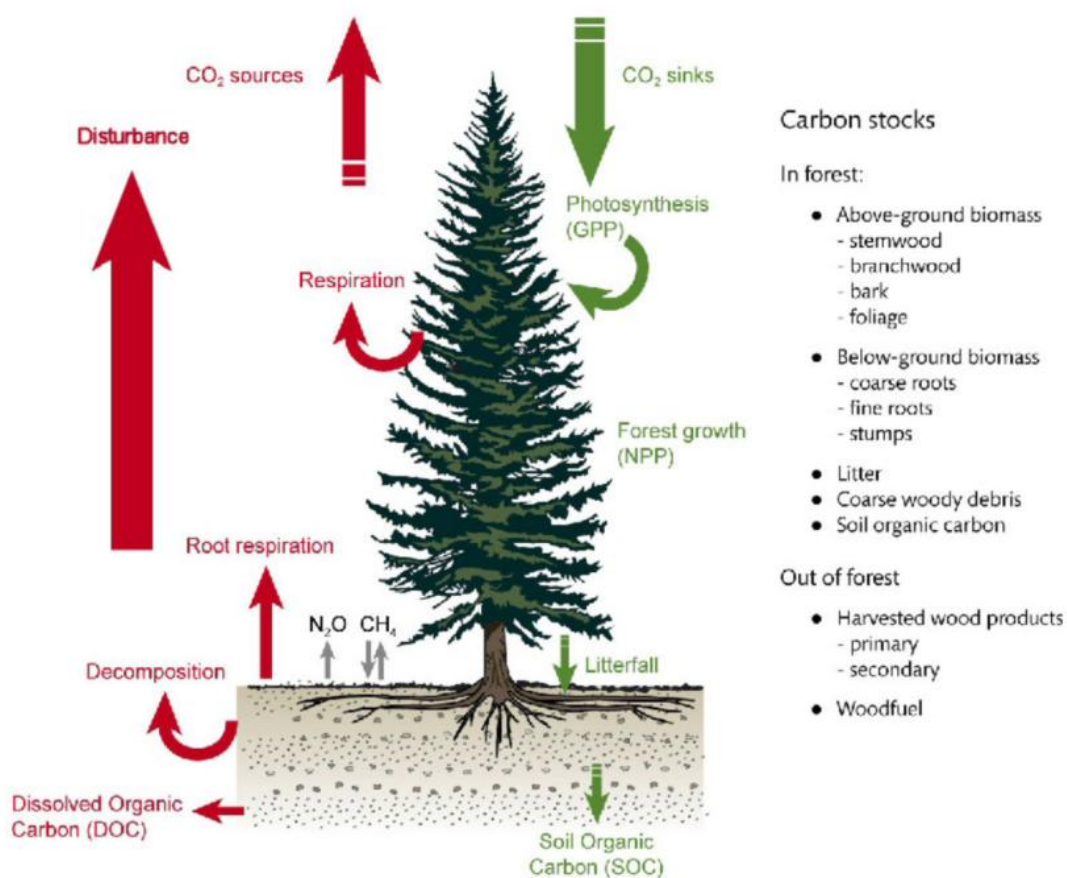
LandSFACTS

LandSFACTS (Landscape Scale Functional Allocation of Crops Temporally and Spatially) je mezi přehledem vertikálních modelů zařazen hlavně kvůli svému důrazu na časoprostorovou složku. To umožňuje sledovat vývoj vegetace a případné problémy z více pohledů a najít přijatelnější řešení k nápravě. LandSFACTS je také silným nástrojem pro horizontální modelování. Usnadňuje tvorbu vrstev využití území s důrazem na reálné prostorové rozmístění vegetace včetně doplnění restrikcí. Model je využíván převážně v zemědělských aplikacích a hlavním cílem je posuzovat fungování ekosystémových služeb jako například kvalitu vody, erozi půdy či vázání uhlíku (Pechanec, In print A).

Informace k modelu jsou na: <http://www.macauley.ac.uk/LandSFACTS/>

6.4 Land use, land use change and forestry

Land use, land use change and forestry (LULUCF) je evropská environmentální iniciativa pod záštitou Evropské komise a Joint Research Centre, která sleduje možnosti snižování emisí a ukládání uhlíku v závislosti na změnách vegetačního krytu. Také nabízí potenciální synergii mezi zmírňováním a přizpůsobováním biologické rozmanitosti. LULUCF by měla být klíčovým prvkem při debatách v oblasti změny klimatu. Jedná se o komplexní systém sledování vnitřní i vnějších faktorů výměny uhlíku a změny vegetace (Grassi, 2010; Eisbrenner, 2009).



Obr. 6.6: Grafické znázornění uhlíkové výměny (Grassi, 2010)

Výstupem jsou metodické pokyny pro zjišťování základní informací o výměně uhlíku na základě údajů o území, vegetaci, odhadu vývoje úložiště uhlíku (biomasa, mrtvá organická hmota, půda) a dalších faktorech (čas, nejistota,...). Národní výzkum výměny uhlíku by měl naplňovat základní standardy a pokyny z LULUCF (Grassi, 2010).

Hodnocením změn zásob uhlíku v České republice se zabývá Institute of Forest Ecosystem Research (IFER), příkladem může být studie týmu Cienciala, Henzlík, Zatloukal (2006), která je postavena na Good Practice Guidance v rámci LULUCF a využívá data z národní inventarizace lesů.

6.5 Růstové modely

Při zkoumání vertikálního rozložení vegetace jsou v současnosti v praxi využívány hlavně růstové modely, které vyjadřují růst hlavně lesního porostu. Hlavním důvodem jsou rozhodovací procesy při managementu lesní vegetace a lesohospodářském plánování. Lesní vegetace je důležitou zásobárnou biomasy, významným subjektem kyslíkového a uhlíkového koloběhu a ochranným prvkem zemského povrchu. Smyslem je stanovit základní lesní charakteristiky a predikovat další růst.

Dnešní růstové modely dokáží flexibilně reagovat na vnitřní i vnější faktory, které ovlivňují celý ekosystém a poskytnout tak komplexnější výsledky v produkční, ekonomické a ekologické oblasti s důrazem na časoprostorovou variabilitu. Růstové modely jsou zjednodušené zobrazení skutečnosti, jejichž koncept a konstrukce je řízena specifickými systémovými vlastnostmi struktury lesní vegetace (FABRIKA, PRETZSCH, 2011).

Existuje několik typů růstových modelů (přehled je součástí Přílohy), ale v základu jsou rozděleny na dva typy. První skupina využívá růstu lesa jako komplexního souboru stromů, který klade důraz na vazby mezi dílčími částmi. Druhá je postavena na modelování parametrů jednotlivých stromů s využitím růstových tabulek. Růstové tabulky jsou matematickým modelem, který s využitím soustav rovnic predikuje taxační veličiny (FABRIKA, PRETZSCH, 2011).

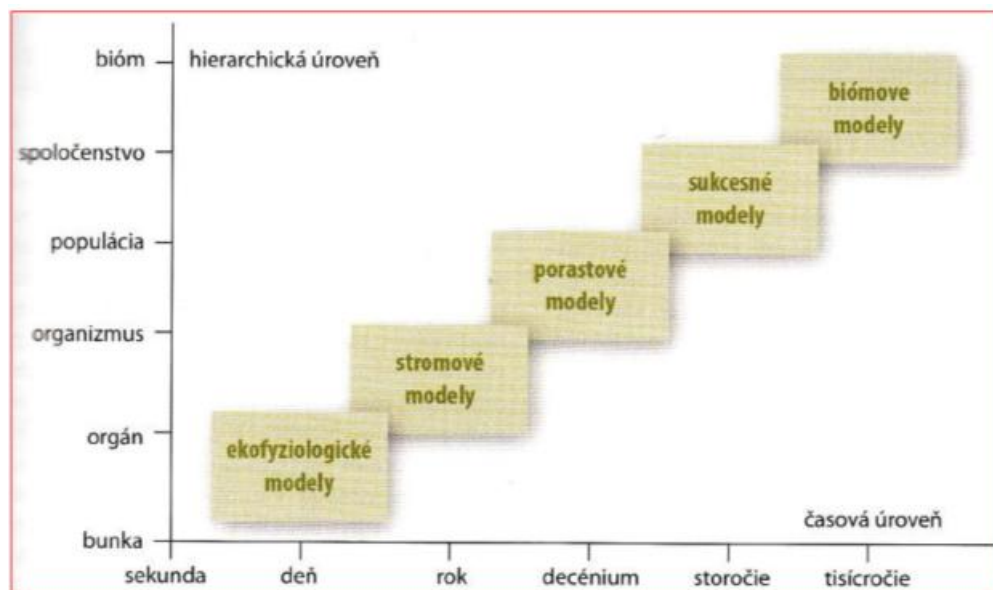
Tab. 6.2: Srovnání růstového simulátoru a růstové tabulky (FABRIKA, 2005)

Růstový simulátor	Růstové tabulky
napodobuje chování lesa	modeluje vývoj lesa
soustava složitých modelů a algoritmů	jednoduchý model
množství vstupních parametrů	jednoduché vstupné parametry
široká škála výstupů	výstupy orientované na produkční stránku
stochastický systém	deterministický systém
komplexnost a flexibilita	zjednodušenost a vázanost na pevně definovaný výchozí bod
ekologická (stanovištní) bonitace	porůstová bonitace
jen jako počítačový program	vystačí jako tabulky
složitě použití	jednoduchost použití
vhodné pro vědu, výzkum a vzdělávání	vhodné pro lesnickou praxi
prognostický charakter	normativní charakter

Převedením růstových tabulek do počítačového prostředí získáme tzv. růstové simulátory, které uživatelům poskytují nepodobení struktury a chování reálného systému. Využívají napodobování růstových procesů jednotlivých stromů v různém prostředí a s různými pěstebními opatřeními.

Přehled modelů

Jedním z možných dělení růstových modelů je dle časové a hierarchické struktury. Je to uživatelsky nepřijatelnější dělení vzhledem k systému výběru modelu (Fabrika, Pretzsch, 2011).



Obr. 6.7: Typy modelů dle časovo-hierarchické úrovně (Fabrika, Pretzsch, 2011)

Tab. 6.3: Přehled modelů dle časové a hierarchické úrovně (Fabrika, Pretzsch, 2011)

ekofyziologické	stromové	porostní	sukcesní	biomové
SPRUCE, BIOMASS, FOREST-BGC, TREEDYN3, 3-PG, FORSANAM GOTILWA, BALANCE, EFIMOD	SIBYLA, SILVA, SILVISIM, BWIN, PROGNAUS, STAND PROGNOSIS, POSES, SORTIE	DFIM, DFSIM, STAOET, LANDIS, růstové tabulky	4C, PICUS, JABOWA, FORCLIM	HOLDRIDGE, BIOME-BGC, BIOME, BIOME 2, MAPSS

Fabrika a Pretzsch (2011) uvádí ve své knize další způsob dělení, který je postaven na hierarchicko-prostorové úrovni. Jedná se o nejběžnější dělení v akademické sféře. Základem je hierarchické dělení (orgán -> společenstvo) rozděleno do skupin dle prostorového rozlišení (3D -> region). Jednotlivé modely spadají do více skupin, jelikož mají více forem využití. Pro skupiny je stanoveno označení, které vychází z funkce nebo vlastnosti modelu.

Tab. 6.4 představuje přehled růstových modelů dle hierarchicko-prostorového rozlišení, podrobný přehled včetně popisu je k dispozici v příloze této práce.

Tab. 6.4: Přehled modelů dle hierarchicko-prostorové úrovně (FABRIKA, PRETZSCH, 2011)

Typ modelu	Název modelu
Statický vegetační model	BIOME, HOLDRIDGE, MAPSS
Stromový ekofyziologický model	BALANCE, TRAGIC, SPRUCOM
Stromový funkčně-strukturální model	GROGRA, GROIMP, LIGNUM
Stromový empirický model závislý na pozicích stromů	MOSES, SIBYLA, SORTIE, SILVA
Stromový empirický model nezávislý na pozicích stromů	PROGNAUS, BWIN, STAND PROGNOSIS, SILVISIM
Stromové gap modely	FORMIND, JABOWA, ZELIG
Frekvenční gap modely	FORMIX, FLAM, 4C
Frekvenční populační modely	LANDIS
Populační a druhové modely	STAOET, DFIT, DFSIM
Modely funkčních typů	FORMIX, FORMIND, HYBRID
Modely dynamiky gap skupin	MOSAIC, ROPE
Ekofyziologické modely průměrného stromu	TREEDYN, GOTILWA, SPRUCE

SILVISIM

Model SILVISIM je počítačovou implementací růstových tabulek základních dřevin České republiky, kterou zpracoval IFER – Ústav pro výzkum lesních ekosystémů pro účely hospodářské úpravy lesů a další obory. SILVISIM má své místo v rámci vertikálních modelů mezi růstovými tabulkami a růstovými simulátory. Opírá se o dlouhodobá měření přibližně 2000 ploch a modeluje tedy stejnověké a stejnorodé lesní plochy. Na rozdíl od klasických růstových tabulek čerpá z podrobnějších analýz vývoje lesní vegetace, lépe reprezentuje realitu a je schopen pracovat s různým zakmeněním. Stanovení růstového modelu vychází z několika dílčích skutečností, které ovlivňují výsledek. Empirická data z výzkumných ploch sloužící k parametrizaci obsahují pouze hodnoty na úrovni porostu, jen část z nich je doplněna o tloušťkové rozložení. Silný antropogenní vliv na lesní vegetaci je v současnosti významným prvkem, který je třeba zohlednit při sestavování modelu. Tato proměnná je zastoupena v rámci výchovného zásahu, kde tento pojem vyjadřuje násilný zásah do systému vegetace, jehož cílem je změnit stav v pozitivním směru z lidského pohledu. Model ovšem nezahrnuje kalamitní stavy a některé těžko-modelovatelné antropogenní situace. Zde přichází prostor pro růstové simulátory (SILVISIM HELP, 2003).

Základním kamenem jsou již zmíněné růstové tabulky pro smrk, borovici, buk a dub, které byly v roce 1996 knižně publikovány v Růstových a taxačních tabulkách hlavních dřevin České republiky (Černý, Pařez, Malík). Tabulky obsahují základní porostní veličiny, údaje běžného přírůstu, celkovou produkce a odhadovanou predikci růstu porostu (Zeman, 2006).

Růstové tabulky hlavních dřevin se staly součástí vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 84/1996 Sb. o lesním hospodářském plánování. Tím se růstové modely a růstové tabulky staly i oficiálně nástrojem hospodářské úpravy lesů (SILVISIM HELP, 2003).

Pro modelování je zapotřebí mít informace o základních taxačních charakteristikách. Pro širší rozlišení je třeba lesnická odbornost, Silvisim Help (2003) představuje základní vlastnosti těchto charakteristik. Věk porostu v praxi udává průměrný věk stromů v porostu. Porostní výška (m) je charakterizována střední nebo horní porostní výškou. Horní výška udává horní výšku porostu, která je zjišťována jako průměrná výška 100 nejsilnějších stromů na 1 ha porostu. Horní výška je nezávislá nebo jen velmi málo závislá na výchovném režimu. Údaj střední porostní výšky je odvozen následně z výškového grafikonu porostu. Růstový model popisující vývoj střední nebo horní výšky porostu vychází z podrobné analýzy empirických dat získaných opakovaným měřením na výzkumných plochách. Model popisuje vývoj výšky charakterizovaný těmito daty a má proto dynamický charakter. To znamená, že konstrukce růstového modelu nevychází ze statického rozložení jednotlivých naměřených výšek, ale z růstových trendů zjištěných na výzkumných plochách. Počet stromů udává celkový počet stromů v porostu v přepočtu na 1 ha. Výčetní základna udává součet výčetní základny všech stromů na ploše 1 ha porostu. Výpočet porostní zásoby probíhá sumarizací zásoby v jednotlivých tloušťkových stupních. Střední tloušťka porostu udává střední kvadratický průměr tlouštěk stromů v porostu. Z těchto základních, konstrukčních veličin je potom možné odvodit další charakteristiky porostu.

Model SILVISIM byl v této práci zvolen jako vhodný zástupce pro modelování struktury vegetace, ačkoliv jeho oblast využití je jen v lesním hospodářství, navíc disponuje některými omezeními. V praktické části je podrobně představena práce se softwarem a interpretace spojena se sekvestrací uhlíku ze softwaru InVEST.

6.6 Další možnosti stanovení vertikálního vývoje

S postupným rozvojem technologií se nevyvíjí jen modely, ale i sběr dat. Vertikální struktura vegetačního krytu se v dnešních aplikacích sleduje i pomocí LiDAR a SAR. Zde se jedná převážně o lesní vegetaci, neboť jsou těmito systémy zaznamenávány generalizované výškové stupně vegetace (nízká, střední a vysoká vegetace). LiDAR disponuje metrickými odchylkami, nízká vegetace je do 3,5m a z toho důvodu lze jen složitě interpretovat různé typy vegetace (Benc, 2013).

Technologie SAR byla využita například pro generování prostorových map odhadů biomasy lesního porostu v rámci ekologických projektů na Sibiři. V projektech bylo využito tří radarových satelitů (ERS-1, ERS-2 a JERS-1) a byly zmapovány miliony km² sibiřského lesa ze dvou různých vlnových délek (C- a L-pásma), zpracováno metodou interferometrie (T9, 2008; T11, 2008).

Pro sledování vertikálního složení se užívá i klasických digitálních fotoaparátů a obrazových záznamů snímaných zespoda pomocí funkce Fisheye (Obr. 6.7). Tyto snímky jsou následně zpracovány (program ENVI) v doprovodu snímků leteckých/satelitních a užívány k výpočtu LAI či zahuštění vegetace, například již zmíněný index vrstevnatosti vegetačního krytu (C_s) v kapitole 3.2. Díky kontrastu koruny stromů/listí a oblohy lze dobře určit zahuštění dle pronikajícího světelného záření a získat tak frakční vegetační krytu každé fotky (Zhongwing, 2010).



Obr. 6.7: Snímek smíšeného lesa z digitálního fotoaparátu funkcí Fisheye (LAI, 2014).

7 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část diplomové práce se soustředí na tři základní oblasti: 1) testování variability NDVI pomocí senzoru SRS; 2) možnosti horizontálního modelování v LCM a Molusce pro povodí Dřevnice; 3) postup pro modelování sekvestrace uhlíku a růstových hodnot. V závěru jsou dílčí části zhodnoceny ve vazbě na stanovení C-faktoru pro model USLE a je navrženo optimální užití.

7.1 Hodnocení NDVI pomocí měření SRS

Benc (2013) uvedl v diskuzi, že hodnota NDVI může být ovlivněna řadou faktorů od zdroje dat až po stav vegetace a okolí. Zároveň nebyly k dispozici referenční hodnoty NDVI, se kterými by bylo možné srovnat hodnoty zjištěné z ADC kamery, Landsat 5 TM a Hyperionu. Jedním z cílů práce je zjištění variability hodnot NDVI a stanovení závěrů vhodnosti užití vegetačního indexu pro zjištění C-faktoru modelu USLE.

Pro získání referenčních hodnot bylo využito měřického přístroje Spectral Reflectance Sensor (SRS), jehož parametry a funkcionality byla představena v kapitole 4.1.1. Tento senzor se skládá ze dvou snímačů (hemisférického i field stop), které byly umístěny na dřevěný stativ v základním směřování dle uživatelského manuálu. V základním nastavení je hemisférický senzor směřován k nebi a snímá dopadající záření pro přesnější kalibraci, jeho záběr je v úhlu 180°. Field stop senzor je v základu směřován dolů pod maximálním úhlem 36° k vegetaci, který na základě uživatelských diskuzí byl nastaven i pro měření v rámci této práce. Součástí praktické části bylo testování obou senzorů a srovnání manuálního výpočtu výsledné NDVI hodnoty dle vzorce (4) v kapitole 4.1.1 a automatického výpočtu oběma senzory. Dále proběhlo měření se záměnou senzorů, což připouští uživatelský manuál. Výsledky těchto experimentů jsou součástí hodnocení vybraných faktorů nad hodnotu NDVI.

Samotné měření je poměrně jednoduché. SRS měřené hodnoty ukládá na datalogger, se kterým je vyžadováno během měření trvalé spojení z důvodu přísunu energie. Po spojení začíná okamžité měření v intervalu, který lze nastavit v řídicím softwaru (ECH2O Utility). Pokud je nastaven interval záznamu na více než jednu minutu, hlášené hodnoty jsou automaticky zprůměrovány pomocí dat ze senzoru v minutových intervalech. Uživatel musí být opatrný při výběru intervalu vzorkování NDVI ze SRS senzorů tak, aby průměrování nemělo za následek chybné měření. To se může projevit hlavně měřením v noční až ranní hodiny, jak je patrné i v testovacím měření celodenního průběhu NDVI.

V ECH2O Utility je možné nastavit metadata daného měření a stáhnout všechna uložená data v podobě excelovské tabulky (obr. 7.1), která obsahuje počet stažených záznamů, časový údaj, dílčí hodnoty odrazivosti pro červené viditelné a blízké infračervené pásmo zachycenou hemisférickým a field stop senzorem a výsledná korekčně upravená hodnota NDVI (poslední sloupec záznamu).

EM9397	Port 1	Port 1	Port 1	Port 2	Port 2	Port 2
756 records	SRS-Ni NDVI	SRS-Ni NDVI	SRS-Ni NDVI	SRS-Nr NDVI	SRS-Nr NDVI	SRS-Nr NDVI
Measurement Time	Hemispherical	Hemispherical	Hemispherical	Field Stop	Field Stop	Field Stop
	630 nm	800 nm	α for NDVI	630 nm	800 nm	NDVI
10. 4. 2015 7:03	0,0980	0,0760	1,289	0,0014	0,0052	0,654
10. 4. 2015 7:04	0,1230	0,0900	1,367	0,0014	0,0050	0,661
10. 4. 2015 7:05	0,1340	0,1000	1,340	0,0012	0,0055	0,718
10. 4. 2015 7:06	0,1350	0,1180	1,144	0,0013	0,0062	0,691

Obr. 7.1: Výřez tabelárního výstupu z měření NDVI pomocí SRS

Samotná data lze vizualizovat po minutovém záznamu, ale samotný uživatelský manuál poukazuje na vhodnost průměrování alespoň po 10 minutovém intervalu, aby došlo ke shlazení náhodných výkyvů.

Díličními cíli bylo porovnání hodnot NDVI pro různé typy krajinného pokryvu, sledování denního vývoje, sledování vlivu vybraných faktorů na hodnotu NDVI a vliv změny NDVI na hodnotu C- faktoru modelu USLE. Pro tyto účely byla určena měřická místa (tab. 7.1; obr. 7.1) na území města Olomouce, denní vývoj byl sledován v zahrádkářské kolonii na okraji města Svitavy. Místa, kde probíhalo více měření, byla opatřena kolíkem, aby bylo zajištěno měření stejného místa, zároveň na stativu SRS byla zaznačena výška měření, neboť dle uživatelského manuálu změna výšky ovlivňuje měření, což bylo terénním měřením také ověřováno. Vybraná měření sloužila i jako srovnávací hodnota pro porovnání SRS, Landsat a ADC, které je popsáno dále v této kapitole.

Tab. 7.1: Označení měřických míst na území města Olomouce

OZNAČENÍ	VYSVĚTLENÍ
T1-T6	Experimentální výsadba S. Místeckého u katedry geoinformatiky, Univerzity Palackého v Olomouci
PT	Posekaná tráva (10. 11. 2014) u katedry geoinformatiky, Univerzity Palackého v Olomouci
ZP	Zarostlý prostor – seschlá vegetace v blízkosti sídliště Povel
ZoP	Zoraná půda (7. 11. 2014, dříve kukuřice) v blízkosti sídliště Povel
TPL	Travní porost s opadáním listů na sídlišti Povel
Rybník	Rybník na okraji městské části Nové Sady
Řeka	Levá hrana koryta řeky Moravy mezi částí Povel a Nový svět
TŘ	Travní porost u řeky Moravy mezi částí Povel a Nový svět
TR	Travní porost ve Smetanových sadech
JK	Jehličnatý keř (juniperus) ve Smetanových sadech



Obr. 7.2: Přehled měřických míst na území města Olomouc (legenda v tab. 7.1)

Pro porovnání hodnot NDVI ze SRS, Landsat 7 a Landsat 8 je zapotřebí získat multispektrální snímky blízkého data snímání a na nich vybrat různé vegetační typy pro hodnocení. Snímky z Landsat 7 byly staženy pomocí služby GLOVIS a snímky z Landsat 8 pomocí služby LIBRA. Všechny snímky byly převedeny na hodnotu NDVI. Tento krok proběhl v softwaru Erdas Imagine 2011 pomocí nástroje *Indices (Raster -> Unsupervised -> Indices)*, kde je přímo ve volbě možnost NDVI. Je třeba si pohlídat, jaká pásma se dávají do vzájemné vazby pomocí vzorce NDVI (1). Následně byly zjištěny hodnoty NDVI pro kategorie ZoP, ZP, Řeka, Rybník, TŘ (viz. tab. 7.1), navíc vegetace ve Smetanových sadech a listnatý les u Grygova.

Pro testovací účely byly stejné snímky zpracovány nástrojem Image Analysis, který je součástí ArcGIS. Uživatelsky je postup zpracování velmi jednoduchý, nástroj obsahuje z vegetačních indexů jen funkci pro výpočet NDVI. Do nástroje se nahrají

pouze potřebná pásma a po stisknutí symbolu listu uživatel získá novou rastrovou vrstvu s hodnotami NDVI. Oba softwary poskytují stejný výsledek, proto v praktické části bylo užito primárně Image Analysis kvůli další vizualizaci a jednoduššímu zjišťování hodnoty pro konkrétní bodová měřická místa.

Dále bylo v praktické části navázáno na diskuzní poznámky uvedené Bencem (2013), kde bylo poukázáno na neproběhlé hodnocení NDVI pro ADC kameru, jelikož snímky nebyly georeferencované. Proto v rámci této práce byl sestaven experiment, kdy ve spolupráci se Svatoplukem Místeckým proběhlo měření SRS a snímkování ADC kamerou experimentální výsadby T1-T6 (viz. obr. 7.3) na pozemku Univerzity Palackého v Olomouci. Dále proběhlo snímkování a měření kalibrační destičky pro ADC kameru, bílého a černého papíru. Snímky z ADC kamery byly zpracovány a interpretovány dle postupu uvedeného Bencem (2013).



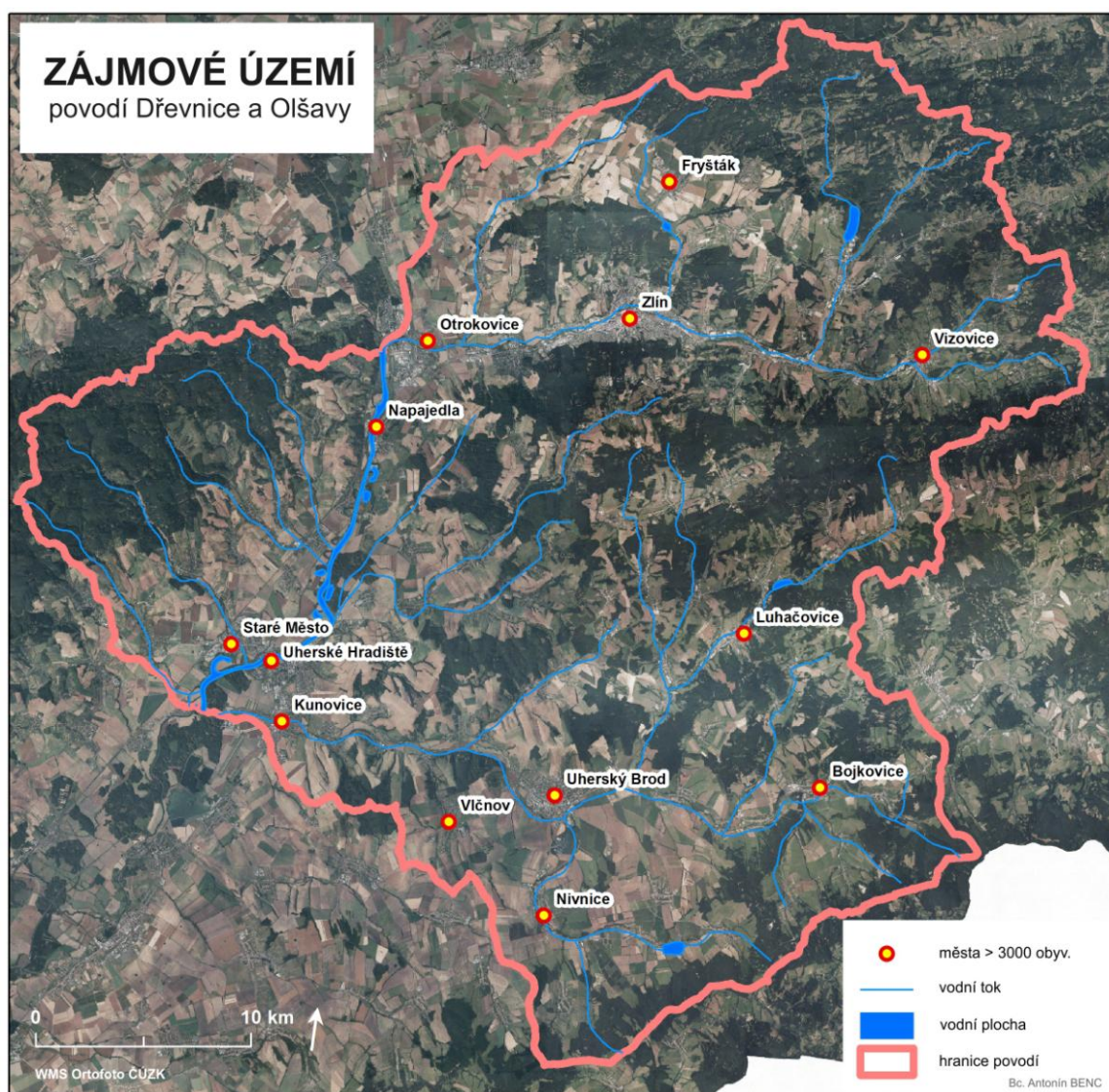
Obr. 7.3: Experimentální výsadba v rámci bakalářské práce S.Místecký – T1: zahradnický substrát + travní semeno; T2: zahradnický substrát + jetel; T3: zahradnický substrát + pšenice; T4: zemědělská půda, travní semeno; T5: zemědělská půda, jetel; T6: zemědělská půda, pšenice

Během měření se vyskytlo několik situací, které mohly způsobit chybu ve výsledcích. V prvé řadě je zapotřebí zohlednit při porovnávání hodnot NDVI pro určitý časový úsek, zda nedošlo ke změně zimního na letní čas a v datech tedy není hodinový posun. Je tedy nutné data optimalizovat pro jeden čas. Dále byl stažen bezoblačný snímek z Landsat 8 pro 20. březen 2015, ale hodnoty NDVI byly silně podhodnoceny. Snímek byl nepoužitelný, neboť ten den na území České republiky bylo částečné zatmění Slunce a Landsat zachytil území Olomouce ve stínu.

7.2 Horizontální vývoj vegetace v povodí Dřevnice a Olšavy

Druhou oblastí v praktické části diplomové práce je modelování horizontálního vývoje vegetace pomocí modulu Land Change Modeler v IDRISI Selva. Důraz je kladen na hodnocení přesnosti modelu pomocí porovnání skutečnosti a predikce, dále porovnání s open-source modulem Molusce z QGIS Wien.

Oproti zadání byla zvolena zájmová oblast na základě získaných dat, tedy oblast povodí Dřevnice a Olšavy (obr. 7.4). Tato oblast je velmi rozmanitá na typy krajinného pokryvu, jelikož obsahuje zemědělskou oblast, lesy, exponovanější terén a řadu větších měst.

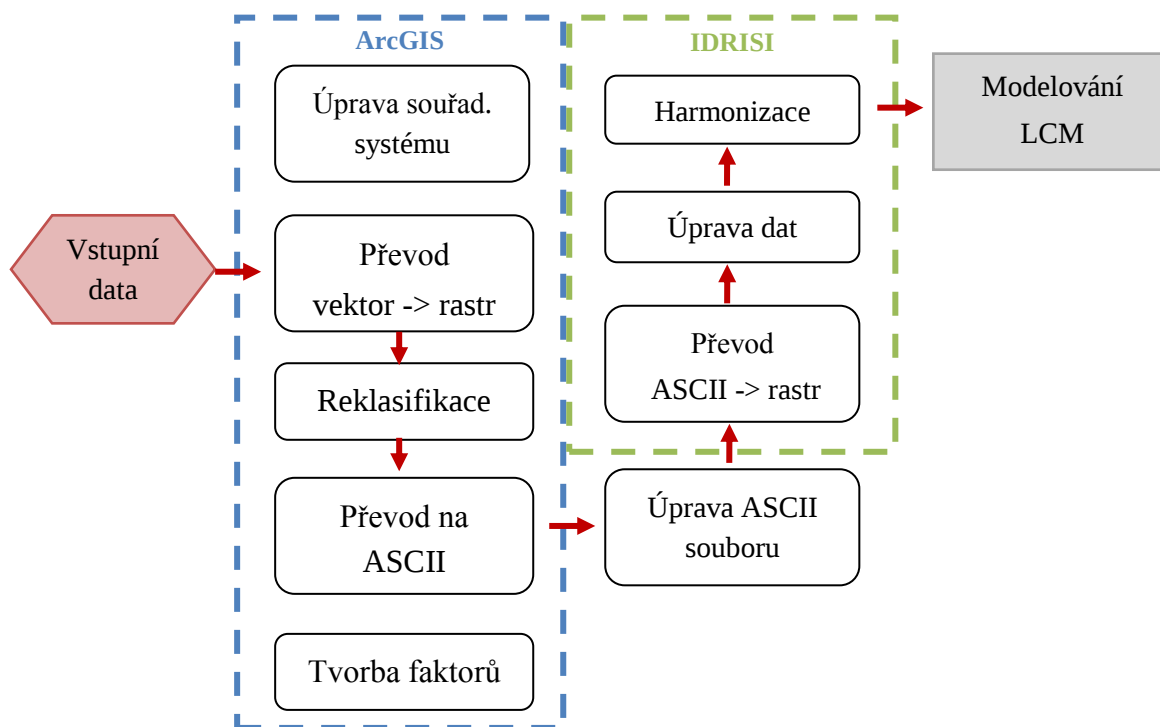


Obr. 7.4: Zájmové území pro horizontální a vertikální modelování

7.2.1 Příprava dat

Základem horizontálního modelování jsou data CORINE Land Cover pro roky 1990, 2000, 2006 a 2012. Data byla získána v upravené vektorové podobě, kde původní polygony byly rozřezány pomocí liniové silniční a železniční sítě, aby byla dostatečně

vyjádřena krajinná fragmentace. Samotná příprava dat pro Land Change Modeler je poměrně specifická (obr. 7.5) a při práci bylo vycházeno z postupu dle Nedbala (2014). Zároveň proběhla komunikace s autorem. Pro Molusce je zpracovatelský postup podobný, neboť modul vyžaduje také rastrová data.



Obr. 7.5: Schematické znázornění zpracování dat

Úvodní zpracovatelská práce probíhá v ArcGIS 10.1, kde je třeba převést vektorová data do ASCII podoby, aby následně přímo v IDRISI Selva mohlo dojít k převodu na rastr ve formátu *.rst, který IDRISI na vstupu vyžaduje. Rastry ve formátu *.rst mohou být vstupními daty i pro Molusce.

Úprava souřadnicového systému

Při převodu s ASCII do IDRISI formátu je třeba určit souřadnicový systém, který je závislý na souřadnicovém systému původních vektorových dat. Pokud byla vektorová data v souřadnicovém systému S-JTSK Krovak East North, je třeba vrstvu označit „plane“. V případě, že původní vrstva, což nebyl případ vstupních dat této práce, nese souřadnicový systém WGS 84 UTM zone 33N, umožňuje IDRISI určit souřadnicový systém označený UTM zone 33N i rastru. Pokud tedy uživatel chce mít souřadnicové prostorové určení, je třeba převést vektorová data na správný souřadnicový systém.

Převod vektoru na rastr

Nástrojem *Feature to Raster* z balíku Conversion tools dojde k převodu vektoru do rastrové podoby. Je důležité, aby převodním atributem byla kategorie LULC. Zároveň musí být kategorie ve formátu od 1 do x hodnoty, není možné využít nativní číselných kódů pro CORINE Land Cover. Zároveň některé kategorie byly spojeny, jelikož není

nutná podrobná klasifikace. Úprava je možná i s nově vytvořeným rastrem v rámci reklasifikace. V této práci byly využity následující kategorie s novým číselným kódem:

code 111 : Souvislá sídelní zástavba	1
code 112 : Nesouvislá sídelní zástavba	1
code 121 : Průmyslové a obchodní areály	2
code 132 : Haldy a skládky	2
code 141 : Městské zelené plochy	3
code 142 : Sportovní a rekreační plochy	3
code 211 : Nezavlažovaná orná půda	4
code 221 : Vinice	5
code 222 : Sady, chmelnice a zahradní plantáže	5
code 231 : Louky a pastviny	6
code 242 : Směsice polí, luk a trvalých plodin	6
code 243 : Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	6
code 311 : Listnaté lesy	7
code 312 : Jehličnaté lesy	8
code 313 : Smíšené lesy	9
code 321 : Přírodní louky	6
code 324 : Nízký porost v lese	10
code 512 : Vodní plochy	11
code 998 : Železnice	12
code 999 : Silnice	13

Co se týče velikosti buňky, tak závisí na podrobnosti. S vysokým rozlišením stoupá i náročnost výpočtů. Vzhledem k rozlišení fragmentovaných komunikací, byla nastavena velikost buňky 10 m, ačkoliv původní data jsou v menším měřítku. Důležité je, aby všechny vytvářené rastry měly stejnou velikost buňky. Stejně tak je důležité, aby byl shodný extend rastru.

Reklasifikace

V dalším kroku je nutné reklasifikovat nový rastr pomocí funkce *Reclassify* z balíku Spatial Analyst. Všechny hodnoty zůstanou původní, NoData je třeba změnit na 0.

Převod na ASCII

Posledním krokem v ArcGIS je všechny rastry převést do podoby ASCII, neboť jen tak lze vytvořit v IDRISI rastr ve formátu *.rst. Pro tyto účely je v ArcGIS nástroj *Raster to ASCII* v balíku Conversion tools.

Tvorba faktorů

K samotným LULC rastrům se do IDRISI či Molusce vkládají další doplňující informace, které ovlivňují modelování. Je to třeba vzdálenost od silniční a říční sítě, digitální model terénu, sklon a orientace. Je vhodné si všechna data připravit a následně je převést do rastrové, potažmo ASCII podoby a postupovat v dalších krocích. Opět je

důraz kladen na stejný extend a velikost pixelů, jinak by hrozil problém s integritou dat a nemohla by proběhnout modelace.

Úprava ASCII souboru

Všechny ASCII soubory je třeba otevřít v textovém editoru a zkontrolovat hodnoty. Desetinné čárky je třeba změnit na tečku, protože IDRISI desetinnou čárku nepodporuje.

Převod ASCII na rastr

Další kroky probíhají přímo v IDRISI, kde ASCII soubory jsou převedeny do rastrové podoby ve formátu *.rst. K tomu slouží funkce ArcRaster – ArcInfo Raster Exchange Format, kde uživatel určí převod s ASCII do IDRISI. Zde je třeba dávat pozor na volbu souřadnicového systému, který byl popsán v prvním kroku.

Úprava dat

Před načtením rastrů LULC do LCM musí být upravena hodnota flag value z hodnoty -9999 na 0. Dále v záložce Kategorie musí uživatel nadefinovat legendu pro jednotlivá čísla. Počet kategorií a názvosloví bez diakritiky musí ve všech porovnáváních rastrech LULC odpovídat. Legenda musí jít od 1 až po x, není možné použít číselné kategorie CORINE Land Cover. Legendu je také možné vložit přímo do souboru *.RDC, který je v adresáři spolu s vrstvou LULC, v následující podobě:

```
legend cats : 13
code    1 : Zastavba
code    2 : Prumyslove arealy
code    3 : Sportovni a rekreacni arealy
code    4 : Orna puda
code    5 : Sady vinice
...
```

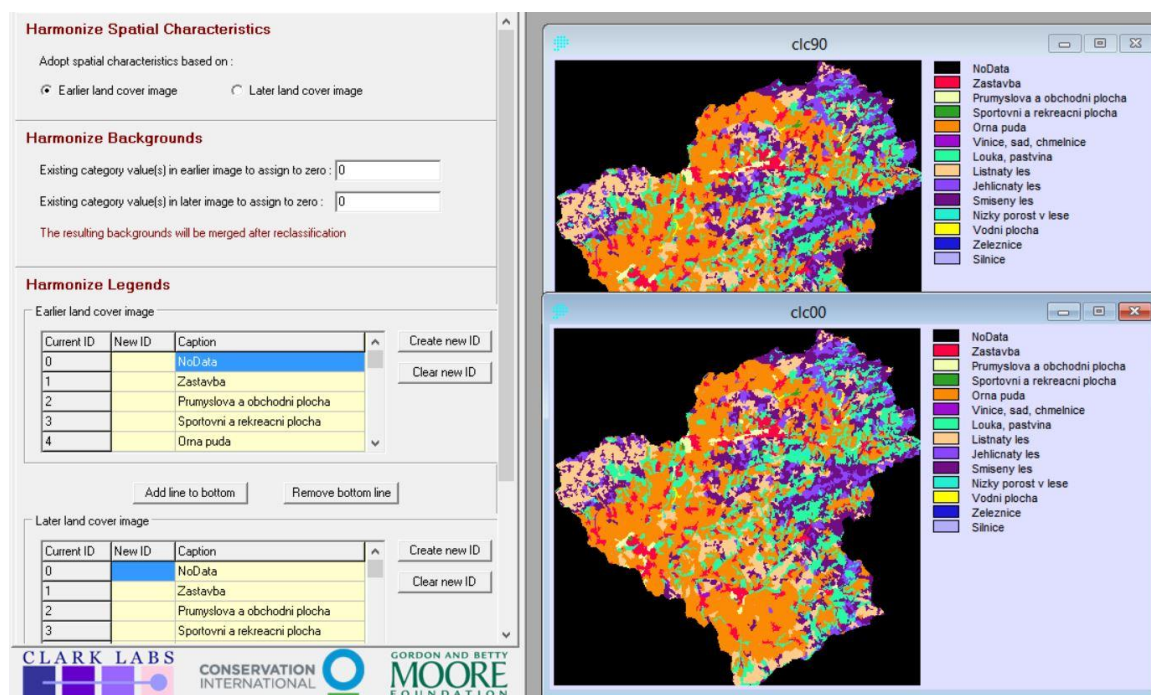
Alternativní příprava dat

Během práce nastala řada problému s funkčností softwaru ArcGIS, což ovšem otevřelo cestu v hledání nových metod přípravy dat pro horizontální modelování v LCM a Molusce. Nejjednodušší cestou se ukázalo zpracování dat přímo v QGIS Wien 2.8.1, který nabízí řadu nástrojů pro převod vektorů na rastr, práci se sjednocením extendu a co je nejzásadnější, je schopen tvořit a přímo pracovat s formátem *.rst, který vyžaduje IDRISI, potažmo Land Change Modeler. Při převodu z vektoru na rastr ovšem k souboru není vytvořen soubor *.RDC, který obsahuje metadata včetně souřadnicového systému a bez něj není možné načíst soubor *.rst do IDRISI. Řešení je jednoduché, stačí využít funkce *Převést na jiný formát* (Rastr/Převod), označit cílový SRS a přeložit vrstvu s formátem *.rst.

Při prvním testování modulu Molusce byl velký problém sjednotit data vytvářena v ArcGIS, při zpracování dat v QGISu problémy nenastaly.

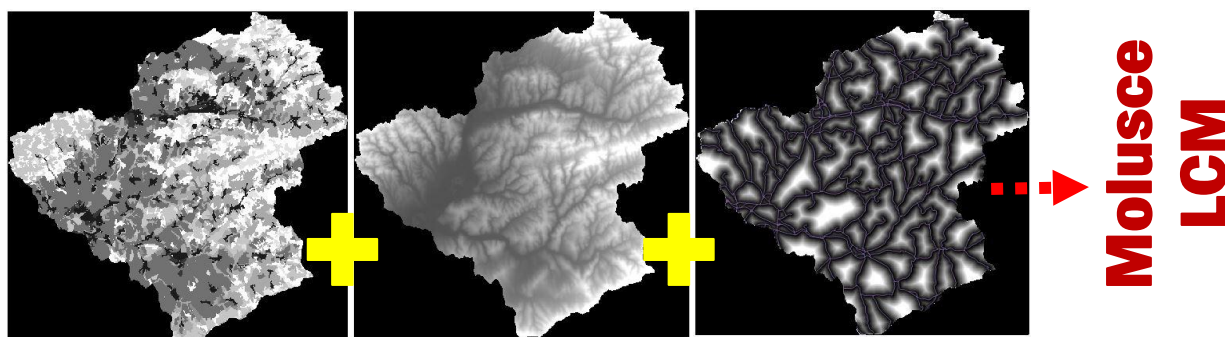
Harmonizace

Jedná se o ověření správnosti dvou srovnávacích rastrů po načtení do LCM. Pokud u obou vstupních datových zdrojů nejsou zásadní integritní chyby, otevře se okno (obr. 7.6), kde je popis a přímo i úprava drobných chyb, které by mohly způsobit potíže při modelování. Vždy je vhodné důkladně zkontrolovat posloupnost označení kategorií, hodnota mimo území musí být 0, legenda a počet kategorií u všech vrstev musí být totožný. Pokud vše proběhne v pořádku, může uživatel přistoupit k modelování.



Obr. 7.6: Okno pro harmonizaci vstupních dat v LCM

Horizontální modelování vývoje vegetačního krytu má výhodu v datové nenáročnosti. Pro vstup do modelu Land Change Modeler a Molusce je třeba mít připravené kvalitní vrstvy LULC pro dvě období a faktorové vrstvy (vzdálenost od silniční sítě, DEM, sklon), jak prezentuje schéma na Obr. 7.7.



Obr. 7.7: Ukázka vstupních dat do horizontálních modelů

7.2.2 Modelování v Land Change Modeler

V praktické části se postupovalo dle podrobného popisu uvedeného Nedbalem (2014). Proběhlo modelování změn mezi roky 1990 a 2000 s predikcí do roku 2006. Rok 2006 byl následně validován s CLC 2006. Následně proběhlo modelování změn mezi roky 2000 a 2012.

V prvním kroku i dle schématu na obr. 5.1 bylo získání informací o změně mezi dvěma vstupními datovými soubory. K těmto účelům slouží záložka **Analýza změn**. Pro uživatele jsou zde k dispozici grafické náhledy vzájemných vazeb a dále je zde generátor map (Obr. 7.8) jako například mapy změn, persistence nebo právě zmíněných kombinací vizualizovaných v prostoru. Z této záložky má uživatel možnost získat nejvíc informačních výstupů, jejichž ukázka a hodnocení je součástí Výsledků.

Change Maps ?

☒ Map changes ☐ Ignore transitions less than 1000 sq km

☐ Map persistence

☐ Map gains / losses in: Prumyslove arealy ☐ Include Persistence

☐ Map the transition from: Zastavba to: Prumyslove arealy

☐ Exchanges between: Prumyslove arealy and Prumyslove arealy

Output name (optional): ...

Obr. 7.8 Generátor mapových výstupů v LCM

Run Transition Sub-Model ?

☒ MLP Neural Network ☐ SimWeight ☐ Logistic Regression

Minimum cells that transitioned from 1990 to 2000 : 2911

Minimum cells that persisted from 1990 to 2000 : 48366

Sample size per class : 2911 (50% training / 50% testing)

MLP neural network parameters

Training parameters

☒ Use automatic training ☒ Use dynamic learning rate

Start learning rate : 0.01

End learning rate : 0.001

Momentum factor : 0.5

Sigmoid constant a : 1.0

Hidden layer nodes : 2

Error monitoring

— Training RMS — Testing RMS

0.67

0.62

0.57

0.52

0.47

0.42

0.37

4 8 12 16 20 24 28 32 36 40

Stopping criteria

RMS : 0.01

Iterations : 10000

Accuracy rate : 100 %

Running statistics

Iterations : 43 Learning rate : 0.0099

Training RMS : 0.3712 Testing RMS : 0.3718

Accuracy rate : 100.00% Skill measure : 1.0000

Change Demand Modeling ?

☒ Markov Chain Prediction Date : 2006

☐ External Model Matrix has been edited

Dynamic Road Development ?

Mode of end-point generation

☒ Stochastic highest transition potential ☐ Random Threshold : 0

Mode of route generation

☒ Minimum gradient route ☐ Highest transition potential route

Transitions to be considered for end-point generation

From :	To :	Include :
Zastavba	Silnice	Yes
Prumyslove arealy	Zastavba	Yes
Prumyslove arealy	Silnice	Yes

Road growth parameters

Road type :	Road length :	Road Spacing :	Unit :
0	0	0	Km
0	0	0	Km

Growth parameters represent the growth per dynamic stage

Skip factor : 1 Output Roads Layer : roads_predict_2006

☒ Change Allocation

☒ Validation

Obr. 7.9 Záložka pro potenciál změny (vlevo) a predikci (vpravo)

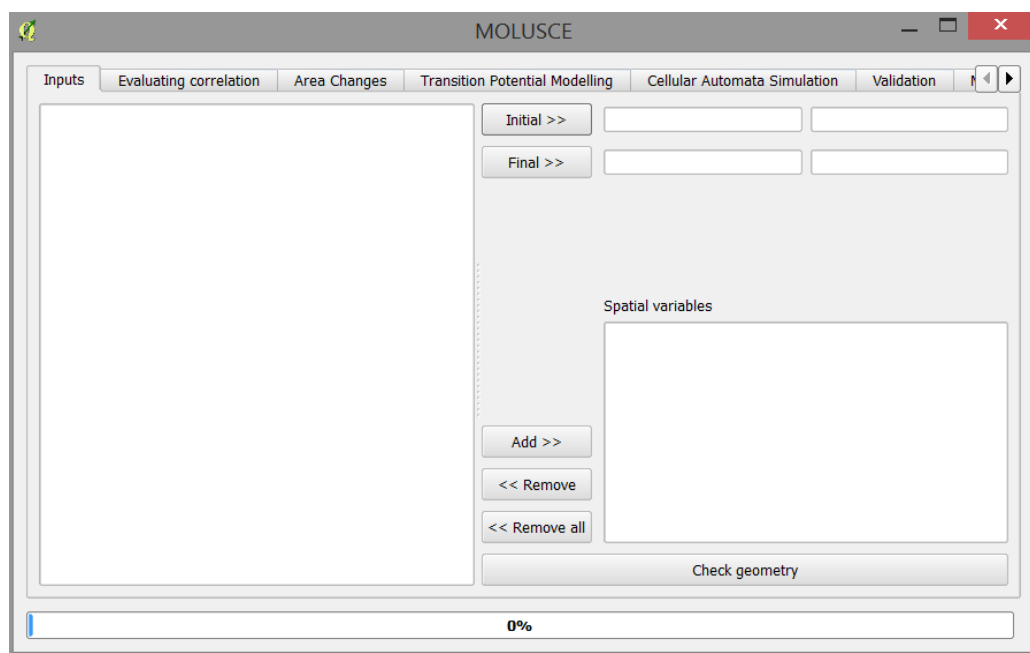
Další část práce se přesouvá do záložky **Potenciál přeměny** (levá grafika v Obr. 7.9), která slouží primárně k testování závislosti a vlivu různých faktorů na vazby mezi dvojicí typů krajinného pokryvu. Tyto dvojice tvoří submodel, který se pomocí 3 základních algoritmů testuje, hledají se společné vazby a vlivy proměnných na predikci vývoje. Výsledkem je mapa potenciálních přechodů, která vstupuje do predikčního modelu a bez této mapy by predikce nemohla proběhnout. Kromě toho je výstupem z této části html dokument s popisem proběhlého testování daného submodelu.

V třetí záložce označené **Predikce změn** (pravá grafika v Obr. 7.9) je dle dříve zjištěného potenciálu přechodů a analýzy dvou vstupních souborů sestavena přechodová matice pomocí modulu Markov, zároveň je k nahlédnutí i editaci. Je umožněno do této matice zasáhnout a ovlivnit výsledek predikce. Dále je třeba zadat rok predikce. V této části se nachází i doplňkový submodul, který slouží pro dynamické modelování silniční sítě. Nejdůležitějším výstupem z této části je predikovaná mapa pro zadaný rok.

Součástí záložky Predikce změn je ještě Validace, která slouží k ověření predikovaného stavu se skutečností. Užívá se hlavně pro situace, kdy predikce probíhá do současnosti a uživatel má k dispozici prostorové informace o současném stavu.

7.2.3 Modelování v Molusce

Molusce si uživatel musí stáhnout do QGIS jako plug-in, následně je modul k nalezení v nabídce Raster -> MOLUSCE nebo pod klávesovou zkratkou Shift +M. Hned úvodní okno (Obr. 7.10) působí jednoduše, což platí o celém produktu. Zde také do modulu vstupují všechna data, zastoupená párem obrazových záznamů vyjadřující využití půdy po dva různé roky a dále faktorové rastry ovlivňující změnu půdy (silniční síť, řeky, topografie). Modul je velmi striktní v ověření shodnosti prostorového určení vstupních dat, hlavně pak jeho extendu.



Obr. 7.10: Uživatelské rozhraní se vstupy pro data

V praktické části proběhlo modelování změn totožné s modelováním v LCM, neboť jedním z cílů bylo hodnocení těchto modelů. Výhodou bylo i stejné zpracování dat. Stejně jako u LCM i zde je záložka pro sledování změn označená jako Oblast změn. Po otevření této karty je nutné kliknout na Update tables a dojde k výpočtu změn. Na této kartě může uživatel vypočítat statistické údaje o počtu změn – kolik pixelů určité třídy bylo transformováno v pixely jiné třídy. Vypočítává se změna plochy využití půdy mezi počátečním a koncovým obrazem. Výslednou mapu změn je možné uložit jako GeoTIFF nebo vybrat jiný výstupní soubor.

Další část je věnována přechodovému potenciálu modelování a uživatel určuje, co chce použít za model pro posouzení. Vstupními údaji je mapa změn a faktory ovlivňující změnu. K dispozici jsou metody *Artificial Neural Network*, *Weights of Evidence* a *Multi Criteria Evaluation*. Všechny metody jsou dobře známé a široce používané v GIS. Výsledkem je váha ovlivňujícího faktoru.

Poslední dvě záložky jsou věnovány predikci a validaci. U predikce se nastavuje jen výstup a počet iterací. Jedna iterace se rovná jednomu roku. Kromě samotné predikce je možné uložit i další informace jako mapu potenciálu pro každý možnou transformační dvojici nebo mapu důvěry predikce, která procentuálně prezentuje nejistotu. Pro validaci predikovaného výstupu musí uživatel doložit srovnávací data, která musí mít formát *.tif

7.3 Vertikální vývoj vegetace

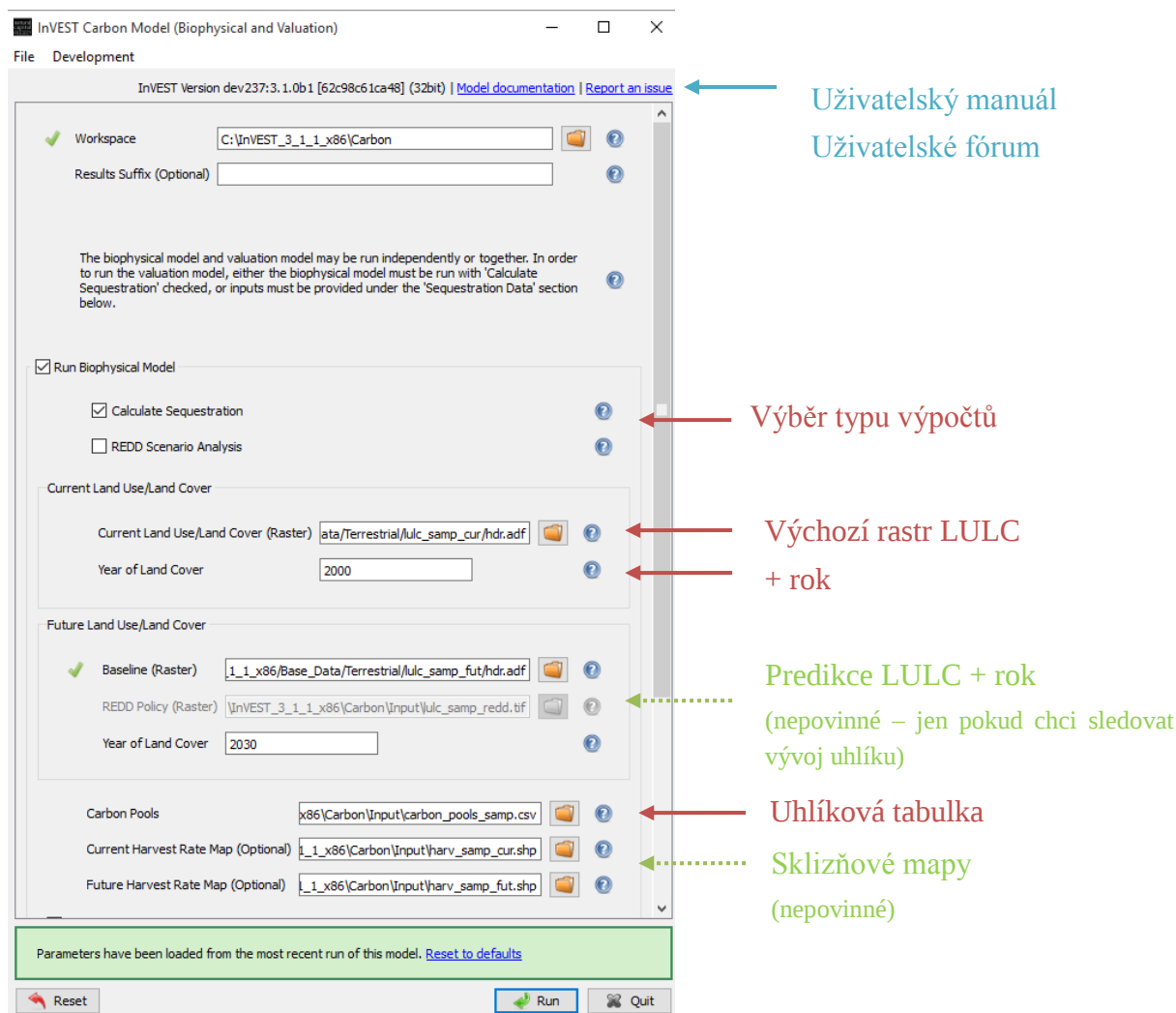
Pro modelování vertikálního vývoje vegetace existuje řada modelů s různým pozorovacím zájmem. Pro praktickou část práce bylo vybráno modelování sekvestrace uhlíku, neboť tento směr je v současném výzkumu, a to nejen v České republice (projekt CzechAdapt), velmi diskutovaný. Navíc tento přístup je aplikovatelný na více typů krajinného pokryvu oproti druhému zástupci vertikálního modelování, a to růstovým modelům. Ty jsou tradičním přístupem při sledování vertikální struktury s omezením na lesní porost. Pro sledování vertikálního vývoje je opět zájmovým územím povodí Dřevnice a Olšavy (obr. 7.4), neboť pro modelování uhlíku je třeba vstupních prostorových dat v podobě LULC, čímž dochází i k propojení modelování horizontálního a vertikálního rozložení vegetačního krytu.

7.3.1 Modelování sekvestrace uhlíku

Pro modelování sekvestrace uhlíku poslouží modul Carbon, který je jedním z mnoha nástrojů modelu InVEST. Původně v zadání práce bylo užítí Epic, nicméně trend od tohoto modelu upouští, hlavně kvůli datové náročnosti.

Celý model InVEST včetně všech modulů, vzorových dat a uživatelských návodů je volně ke stažení na webu (<http://www.naturalcapitalproject.org/download.html>). Po nainstalování celého balíku InVEST se modul Carbon spouští samostatně přes vyhledávání v nabídce Start systému Windows nebo se nachází přímo v adresáři invest-3-x86 spouštěcí soubor invest_carbon.exe. Uživatel se pustí rozhraní zastoupené jednoduchým oknem s popisem vstupních dat, proměnných a výstupem (obr. 7.11). Pro naše účely postačí výpočty sekvestrace, což je třeba zaznačit jako první možnost v okně,

následně jsou nám přizpůsobeny další položky. K dispozici je v rámci modulu Carbon ještě REDD Scenario Analysis, o čemž byla krátká zmínka v teoretické části práce.



Obr. 7.11: Popis uživatelského rozhraní modulu Carbon modelu InVEST

Než započne modelování sekvestrace uhlíku, je zapotřebí připravit všechna povinná vstupní data, která zahrnují mapy landuse a tabelární hodnoty uložení uhlíku (Tab. 7.2). Aktuální mapa LULC musí mít rastrovou podobu s kódem LULC pro každou buňku. Formát je standardní rastrový soubor podporovaný GDAL (např. ESRI GRID nebo IMG). Kódy LULC (označení i počet) se musí shodovat s dalšími tabulkami (hlavně s Tab. 7.2), aby mohlo dojít ke správnému výpočtu sekvestrace. Dále je třeba k souboru LULC doplnit rok, ke kterému se prostorová reprezentace váže. V případě, že uživatel chce sledovat vývoj sekvestrace uhlíku, je třeba na vstupu přidat rastrový soubor s predikcí LULC, opět se stejnými atributy jako má tab. 7.2.

Již zmiňovaná tabulka hodnot pro uložení uhlíku (Tab. 7.2) musí obsahovat hodnoty pro čtyři základní místa uložení ke každé třídě LULC v Mg/ha. Data užitá v této práci vznikla terénním průzkumem a měřením v experimentálních lokalitách v rámci

projektu CzechAdapt a stále probíhá jejich zpřesňování. V práci je využit stav z dubna 2015. Uživatelský manuál připouští i situaci, kdy nebude některá ze 4 hodnot známa. Poté automaticky software bere hodnotu jako 0. Název může mít tabulka libovolný, ale formát musí být .csv nebo .dbf. Každý řádek zastupuje jeden typ LULC a tabulka obsahuje atributy lcode pro kód LULC shodný s kódem v rastru, LC_name zastupující popisný název, který je doporučován bez diakritiky a 4 čtyři typy uložité C_above, C_below, C_soil, C_dead.

Tab. 7.2: Tabelární hodnoty čtyř typů uložité uhlíku pro kategorie landuse (zdroj: Cudlín, P., Pechanec, V., Štěrbová, L. (2015), orig., sestaven v rámci projektu EHF CzechAdapt)

lcode	LC_name	C_above	C_below	C_soil	C_dead
112	Mestská zastavba	0,05	0,05	0,01	0
121	Prumyslove nebo obchodni zony	0,05	0,05	0,01	0
142	Zarizeni pro sport a rekreaci	12	6	30	1
211	Orna puda mimo zavlazovanych ploch	3	1,5	80	0
231	Louky	4	6	90	1
243	Prevazne zemedelska uzemi s primesi prirodzene vegetace	5	3	80	1
311	Listnate lesy	100	20	110	15
312	Jehlicnate les	100	20	110	15
313	Smisene lesy	100	20	110	15
324	Prechodova stadia lesa a kroviny	22	8	70	1
998	Zeleznice	0	0	0	0
999	Silnice	0	0	0	0

Při vložení csv souboru s tabulkou, může být uživateli vrácena hláška o nenalezení atributu lcode. Doporučením je předělat vlastními daty vzorovou tabulku, která je k dispozici ve složce InVEST_3_1_1_x86/Carbon/Input jako soubor carbon_pools_samp.csv a následně smazat ze souboru všechny uvozovky a u čísel mít vždy desetinnou tečku. Správný formát představuje obr. 7.12.

C_above,C_below,C_soil,C_dead,lcode,LULC_Name
0.050000000000,0.050000000000,0.010000000000,0.000000000000,112,Mestska zastavba
0.050000000000,0.050000000000,0.010000000000,0.000000000000,121,Prumyslove nebo obchodni zony
12.0000000000,6.0000000000,30.0000000000,1.0000000000,142,Zarizeni pro sport a rekreaci
3.0000000000,1.5000000000,80.0000000000,0.0000000000,211,Orna puda
0.0000000000,0.0000000000,0.0000000000,0.0000000000,222,Sady chmelnice vinice
4.0000000000,6.0000000000,90.0000000000,1.0000000000,231,Louky a pastviny
5.0000000000,3.0000000000,80.0000000000,1.0000000000,243,Zemedelske uzemi s primesi prirodzene vegetace
100.0000000000,20.0000000000,110.0000000000,15.0000000000,311,Listnate lesy
100.0000000000,20.0000000000,110.0000000000,15.0000000000,312,Jehlicnate lesy
100.0000000000,20.0000000000,110.0000000000,15.0000000000,313,Smisene lesy
22.0000000000,8.0000000000,70.0000000000,1.0000000000,324,Prechodova stadia lesa a kroviny
0.0000000000,0.0000000000,0.0000000000,0.0000000000,512,Vodni plocha
0.0000000000,0.0000000000,0.0000000000,0.0000000000,998,Zeleznice
0.0000000000,0.0000000000,0.0000000000,0.0000000000,999,Silnice

Obr. 7.12: Přepřacovaná uhlíková tabulka pro modul Carbon modelu InVEST

Proces výpočtu je průběžně popisován v informačním okně, kde jsou uvedena chybová hlášení. Po úspěšném zpracování modelu se uživateli vytvoří v adresáři html stránka s popisem, výsledky a odkazy na výstupní prostorová data, která jsou uložena ve vzniklém výstupním adresáři. Prostorová data je následně možné zobrazit v jakémkoliv GIS nástroji. Bližší popis výstupu s konkrétním příkladem je ve výsledcích této práce.

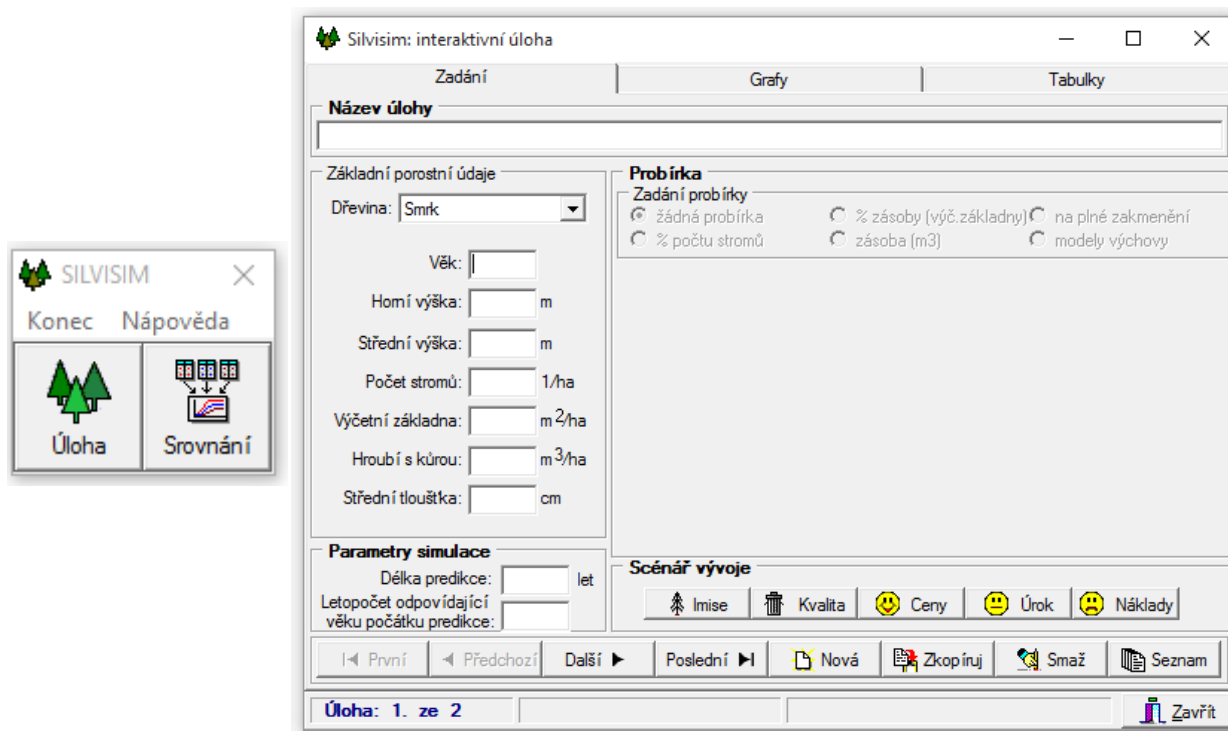
7.3.2 Modelování růstu lesního porostu

Další způsob zisku informací o vertikálním rozložení vegetace je užití růstových modelů, které nabízí bohatý informační zdroj a u lepších nástrojů řadu simulačních funkcí, ovšem to vše za cenu datové náročnosti a omezenosti na lesní prostředí. Pro účel seznámení se s funkcionalitou byl pro praktickou část této práce zvolen model Silvisim, který je již představen v kapitole 6.5 Růstové modely. Hlavním důvodem využití je jeho jednoduchost a spojitost s Českou republikou. Ač nevyžaduje množství vstupních dat, tak poskytuje zajímavé výstupy. Určitou nevýhodou jsou efektivnost zpracování, vizualizační schopnosti a lokálnost, s tím spojená neschopnost prostorového určení. Všechny tyto fakta jsou představena v praktické části. Další nevýhodou je dostupnost dat pro modelaci. Prvním zdrojem dat jsou lesní hospodářské plány, další lesnické mapy či Národní inventarizace lesů, ale všechny zmíněné mají neveřejný nebo licenčně omezený charakter. Druhou cestou je přímé terénní zjištění, které je ovšem omezeno rozsahem. Alternativním přístupem může být užití laserového skenování. Pro praktickou část práce byla zvolena cvičná data ze studijního předmětu GIT v environmentálních aplikacích na katedře Geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Jedná se o databázi hodnot pro základní taxační veličiny vybraných dřevin. Pro účely testování modelu byly vybrány 3 základní dřeviny – bříza, buk, smrk (tab. 7.3), pro které proběhla modelace vývoje do roku 2040 bez probírkového zásahu či vývojových scénářů.

Tab. 7.3: Vstupní data do modelu Silvisim

ZKRATKA	NÁZEV DŘEVINY	VĚK	HORNÍ VÝŠKA [m]	STŘEDNÍ TLOUŠŤKA [cm]	VÝČETNÍ ZÁKLADNA [m ² /ha]
BR	bříza bělokorá	6	16	14	1
BK	buk lesní	73	34	34	33
SM	smrk ztepilý	25	27	30	34

Po spuštění neinstalovatelného modelu Silvisim se uživateli otevře jednoduché okno se dvěma tlačítky – Úloha a Srovnání (Obr. 7.13 levá grafika). V prvním kroku je třeba zvolit možnost Úloha, kde probíhá vstup dat, samotné modelování a jsou zde k dispozici výstupy pro jeden případ. Po zadání několika Úloh, tedy po modelování minimálně dvou porostů, jsou k dispozici vzájemná porovnání pod tlačítkem Srovnání. Oproti uživatelskému manuálu zde chybí ikona pro dávkové zpracování, což je zároveň velkým nedostatkem tohoto modelu a silně mu ubírá z potenciálu. Při označení ikony Úloha se uživateli otevře nové okno, kde probíhá veškerá interakce (obr. 7.13 pravá grafika).



Obr. 7.13: Popis uživatelského rozhraní modelu Silvisim

Jak již bylo zmíněno, velkou slabinou je vstup dat, který probíhá manuálně na základě terénního šetření či lesních hospodářských plánů. Přesnost modelu se tedy odvíjí od kvality a aktuálnosti terénních dat. Vůbec se v modelu Silvisim neprojevuje prostorová reprezentace.

Na vstupu do modelu jsou základem taxační charakteristiky a pro základní popis vývoje porostu v čase jsou nutné minimálně 4 veličiny ze základních porostních údajů: věk (povinný vždy), horní a střední výška (m), výčetní základna (m^2/ha), počet stromů v porostu na hektar, střední porostní tloušťka (cm), hroubí s kůrou (m^3/ha). Modelování probíhá vždy pro jeden typ dřeviny s homogenními parametry. K dispozici jsou výpočty pro dřeviny: smrk, borovice, buk, dub, modřín, jedle, jasan, bříza, olše, topol, habr, akát a douglaska.

Aplikace růstového modelu Silvisim umožňuje rozšíření zejména v souvislosti s chřadnutím a potřebou zavedení vlivu imisí, resp. dalších faktorů zásadním způsobem ovlivňujících růst lesních porostů a hospodaření na nich. Dále disponuje volitelným nastavením probírkového režimu určující, jakým způsobem bude prorost při modelování vývoje vychováván.

Pomocí příkazů ve spodní liště je možné založit nový soubor interaktivních úloh nebo otevřít jiný už existující. Zároveň je úloze automaticky přiděleno pořadové číslo, podle kterého je úloha následně zařazena do seznamu úloh.

Po zadání povinných atributů (minimálně 4 veličiny, parametry simulace) lze otevřít grafické a tabelární přehledy v horní liště, čímž dojde k modelování. Interpretace je součástí výsledků.

8 VÝSLEDKY

8.1 Hodnocení NDVI pomocí měření SRS

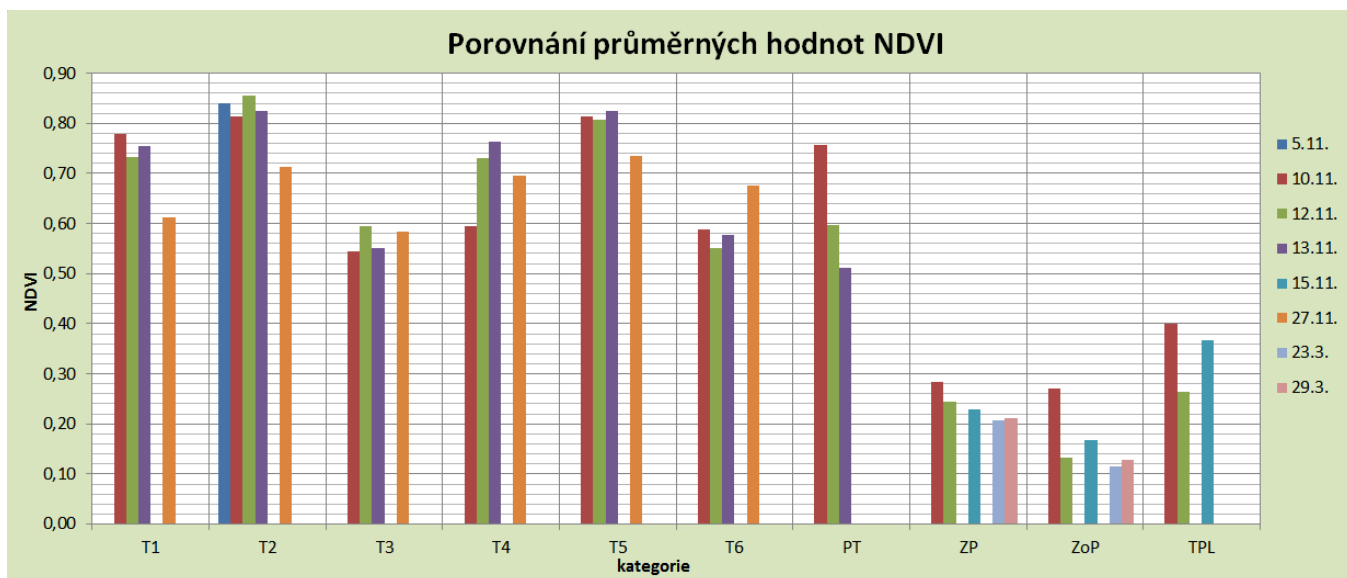
Na podzim 2014 a jaře 2015 proběhlo měření hodnot NDVI pro různé typy vegetačního krytu pomocí senzoru SRS. Hlavním cílem bylo zjistit variabilitu a projev vegetační dynamiky, zároveň formulovat vhodnost užití NDVI pro geoinformatické přístupy stanovení C-faktoru pro model USLE, jak představil Benc (2013).

Porovnání hodnot NDVI pro různé typy krajinného pokryvu

Pro porovnání a zároveň přehled hodnot bylo zvoleno několik zástupců krajinného pokryvu. Hodnoty uvedené v tab. 8.1 a na obr. 8.1 jsou průměrem desetiminutového měření po minutovém intervalu. T1-T6 zastupuje experimentální výsadbu S. Místeckého a lze sledovat nepravidelné výkyvy hodnot NDVI, které nedisponují pravidlem a mají charakter spíše nahodilý. Velký výkyv je patrný u prvního měření T4 ve srovnání s dalšími, kde rozdíl je 0,135. U kategorie Posekaná tráva je krásně zachycen vliv struktury vegetačního krytu, neboť tráva byla sekána 10. 11. 2014 po měření a následující měření je znatelný pokles hodnoty NDVI, zároveň následně došlo k vizuálnímu sesychání, což mohlo mít za důsledek další pokles hodnoty. U Zarostlého prostoru Povel, kde vegetačním krytem je seschlá vysoká tráva, byly na podzim i na jaře měřeny velmi podobné hodnoty a ačkoliv se jednalo o vzrostlý porost, hodnoty NDVI jsou nízké, neboť zdravotní stav vegetace byl špatný a obsah chlorofylu byl nízký. U Zoraného pole jsou při prvním měření patrné vegetační kukuřičné zbytky před úplným zaoráním, v dalších měření byla půda již holá, což představují i hodnoty NDVI blízké k nule.

Tab. 8.1: Přehled měřených hodnot NDVI pro různé typy krajinného pokryvu

	5.11.	10.11.	12.11.	13.11.	15.11.	27.11.	23.3.	24.3.	29.3.	31.3.
čas	14:30	14:00	9:00	15:00	15:00	13:15	14:30	13:50	11:10	16:00
T1	none	0,778	0,733	0,755	none	0,612	none	none	none	none
T2	0,841	0,814	0,856	0,824	none	0,712	none	none	none	none
T3	none	0,544	0,594	0,55	none	0,583	none	none	none	none
T4	none	0,595	0,73	0,764	none	0,695	none	none	none	none
T5	none	0,814	0,808	0,824	none	0,735	none	none	none	none
T6	none	0,588	0,55	0,578	none	0,676	none	none	none	none
Posekaná tráva	none	0,756	0,597	0,511	none	none	none	none	none	none
Zarostlý prostor Povel	none	0,284	0,244	none	0,23	none	0,208	none	0,212	0,222
Zorané pole	none	0,27	0,132	none	0,168	none	0,114	none	0,128	0,15
Travní porost s listím	none	0,4	0,265	none	0,367	none	none	none	none	none
Rybník	none	none	none	none	none	none	-0,121	none	-0,076	none
Řeka	none	none	none	none	none	none	-0,293	none	-0,255	none
Travní porost u řeky	none	none	none	none	none	none	0,589	none	0,599	none
Travní porost v parku	none	none	none	none	none	none	none	0,722	0,776	none
Jehličnatý keř	none	none	none	none	none	none	none	0,829	0,809	none

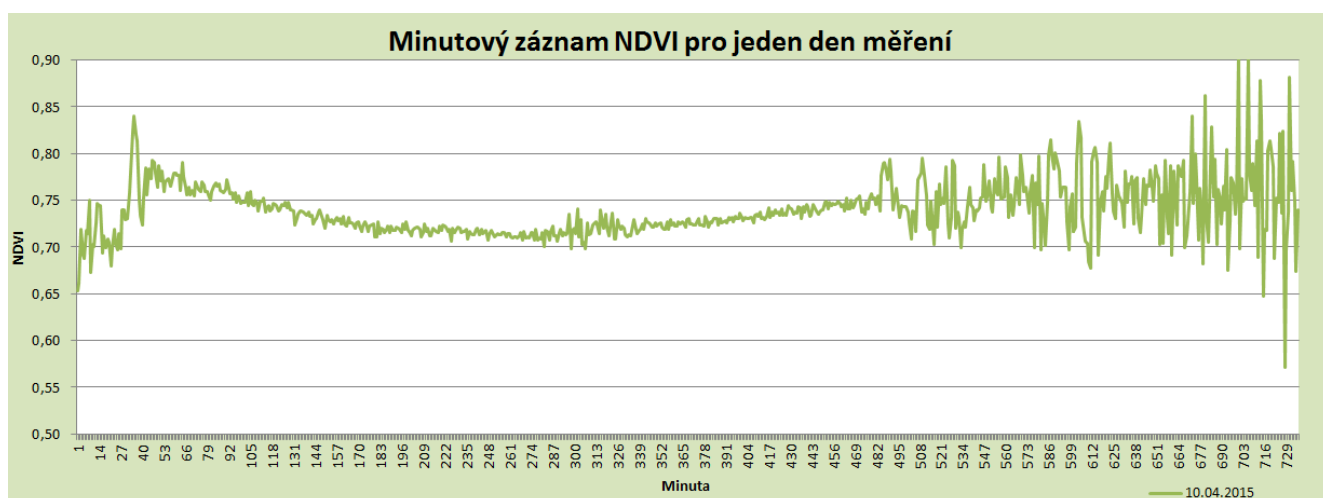


Obr. 8.1: Grafický vývoj hodnot pro vybraného typu krajinného pokryvu

Měření senzorem SRS podpořilo teoretický základ NDVI, že hodnoty se pohybují v rozmezí -1 a 1, konkrétně vegetace 0,5 až 1, holá půda v blízkosti nuly a záporné hodnoty zastupují vodní plochy, což je opět patrné z tab. 8.1, kde řeka i rybník mají záporné hodnoty. Rybník při měření se blížil k nule, což může být spojeno s biotickými prvky v něm. Grafická podoba k tab. 8.1 a obr. 8.1 je součástí přílohy.

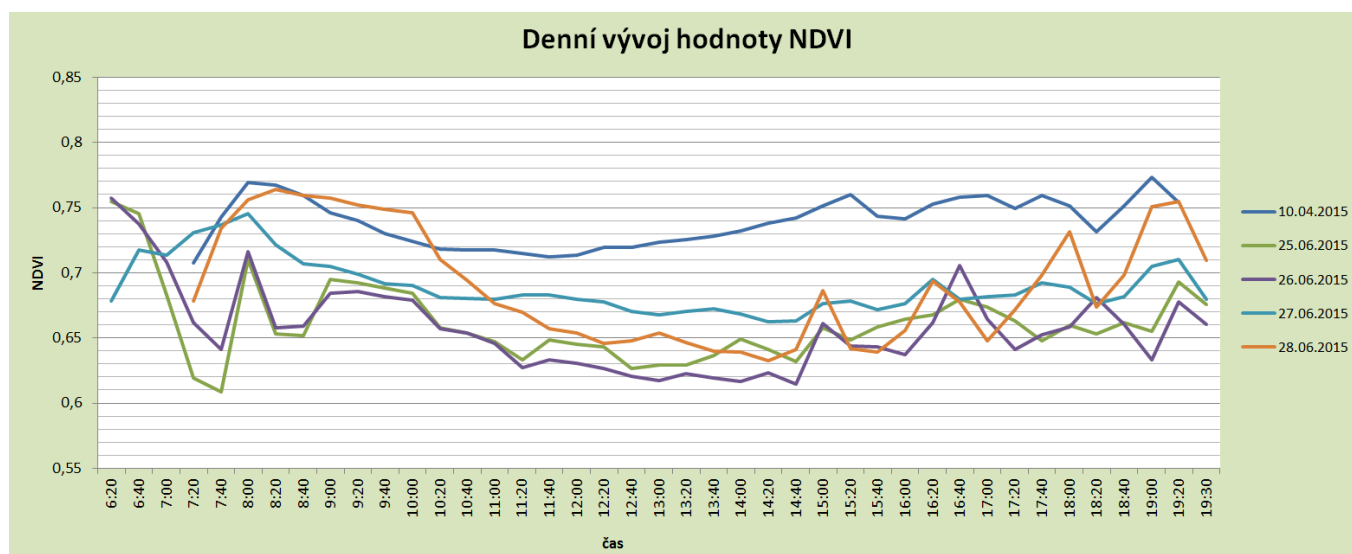
Sledování denního vývoje hodnoty NDVI

Tab. 8.1 dobře zastupuje jednotlivé krajinné typy, ale jedná se o průměrovanou hodnotu v konkrétní denní okamžik. Další měření bylo zaměřeno na sledování denního vývoje, tedy dynamiky hodnoty NDVI. Obr. 8.2 vyjadřuje minutový záznam hodnoty NDVI pro pravidelně sekaný travní porost v zahrádkářské kolonii ve Svitavách 10. 4. 2015 v čase 7:03 až 19:20 hod. V den měření nedocházelo ke změně počasí a bylo jasno. V ranních a večerních hodinách je znatelné velké kolísání hodnoty NDVI, které se pohybuje kolem hodnoty 0,1, což už je významný projev. Nejnižší hodnota NDVI je v poledním čase.



Obr. 8.2: Minutový záznam denního vývoje hodnoty NDVI

Uživatelský manuál k SRS doporučuje průměrování hodnot, kde dojde ke shlazení výkyvů, zároveň 20 minutové intervaly stále jsou schopny popsat vegetační dynamiku. Obr. 8.3 popisuje 5 měření a opět zachycuje denní vývoj. Pro všechny měření platí, že minimální hodnoty se pohybují v poledním čase. 25. - 26. 6. 2015 bylo počasí jasné a hodnoty jsou si velmi podobné. Velké výkyvy jsou patrné hlavně v ranních hodinách, kdy byla jinovatka a mohla hodnoty ovlivnit. Ve dnech 27. -28. 6. 2015 bylo počasí velmi deštivé, což patrně způsobilo navýšení hodnoty NDVI, neboť NDVI vyjadřuje i vliv vodního stavu.

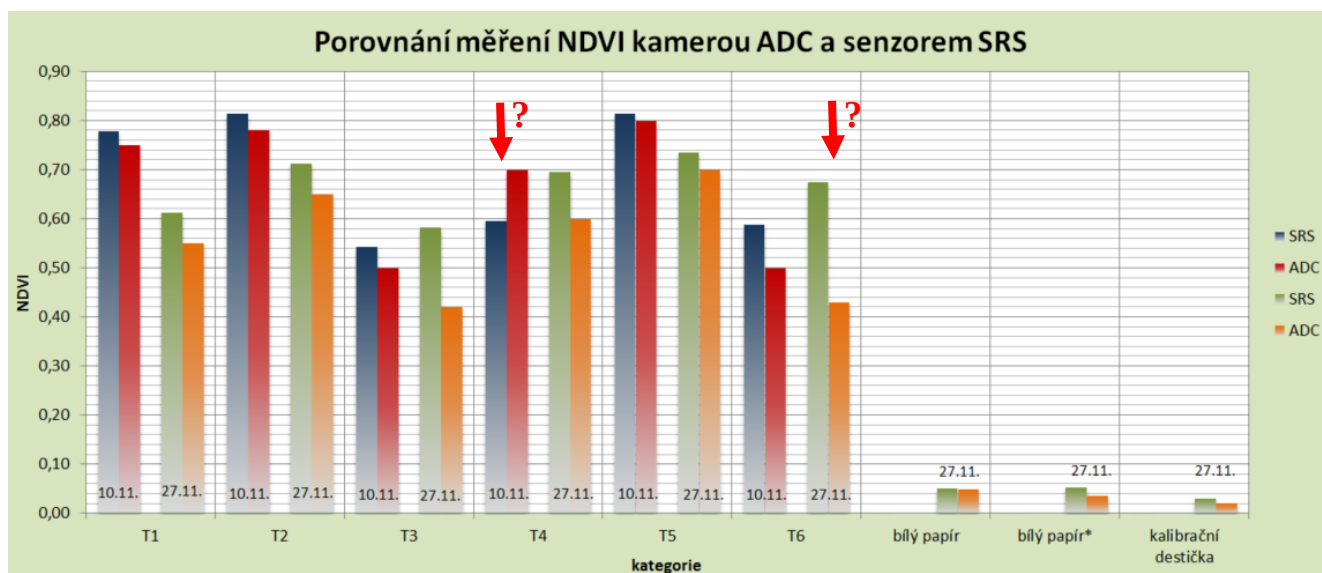


Obr. 8.3: Průměrovaný záznam denního vývoje hodnoty NDVI

Porovnání hodnot NDVI ze SRS, ADC a LANDSAT

Kromě SRS je možné získat hodnotu NDVI z kamery ADC nebo snímků Landsat. V praktické části této práce byly sledovány rozdíly hodnot ze všech třech zdrojů. Kromě SRS je možné získat hodnotu NDVI z kamery ADC nebo snímků Landsat. V praktické části této práce byly sledovány rozdíly hodnot ze všech třech zdrojů. Pro testování ADC bylo užito experimentální výsadby, kdy ve stejný okamžik proběhlo měření SRS a ADC kamery.

Jak je z obr. 8.4 patrné, při většině měření experimentální výsadby byla hodnota NDVI u ADC kamery nižší než ze SRS. Rozdíl většinou nebyl větší než 0,1 a tedy lze říci, že ADC kamera je srovnatelným zdrojem informace o hodnotě NDVI jako SRS. Tuto skutečnost by bylo jistě vhodné doložit dalšími měřeními, neboť jak si lze všimnout z obr. 8.4, opět se objevily nejasné projevy u T4 a T6. Podrobná tabulka s hodnotami je v příloze 4. Při měření hodnoty NDVI pro černý papír, byla pomocí ADC zjištěna hodnota -0,9, zatímco SRS naměřilo hodnotu -0,008 i po opakovaném měření. Jelikož černá plocha má mít hodnotu takřka rovnou -1, tak SRS měření bylo chybné a tedy vhodné další testování.



(* jiná expozice ADC kamery)

Obr. 8.4: Srovnání měření SRS a snímkování ADC

Dalším cílem bylo srovnání měření SRS a hlavně hodnotu získaných z multispektrálních snímků z Landsat 7 a Landsat 8. Vybrané výsledky prezentuje tab. 8.2, podrobně jsou hodnoty uvedeny v příloze. Po porovnání hodnot NDVI lze konstatovat, že snímky z Landsat poskytují pro Zorané pole a Zarostlou plochu podobné hodnoty jako SRS, ovšem pro další prvky je hodnota výrazně odlišná. Lze usuzovat, že tento fakt je zapříčiněn prostorovým rozlišením snímků Landsat, které je 30 m, a tedy do hodnoty NDVI vstupuje více ovlivňujících faktorů. Vhodné pro hodnocení budou větší homogenní plochy, proto je užití snímků Landsat vhodné pro regionální měřítko s opatrností v interpretaci výsledků. Dále je z tab. 8.2 patrný vztah mezi výsledky z Landsat 7 TM+ a Landsat 8 OLI, kdy u Landsat 8 je většina hodnot nižších. Po hledání příčiny byla zjištěna skutečnost, že Landsat 8 OLI má jiný rozsah pásma NIR (http://landsat.usgs.gov/ldcm_vs_previous.php) a dle komentářů odborníků USGS nemusí si tedy hodnoty odpovídat.

Tab. 8.2: Hodnoty NDVI zjištěné z Landsat 7, Landsat 8 a SRS.

	L7	L8	SRS	L7	L8	L7	L8
	9.3.2014	10.3.2014	23.3.2015	9.8.2014	8.8.2014	PRŮMĚR	PRŮMĚR
ZoP	0,16	0,144	0,114	0,138	0,122	0,197	0,225
ZP	0,24	0,213	0,208	0,378	0,345	0,274	0,249
Řeka	-0,107	-0,044	-0,293	-0,02	-0,051	-0,167	-0,038
Rybník	-0,179	-0,065	-0,121	-0,059	-0,01	-0,078	-0,041
Tráva u řeky	0,269	0,222	0,589	0,339	0,3	0,292	0,272
Park	0,24	0,185		0,485	0,415	0,345	0,294
Les listnatý	0,21	0,225		0,615	0,53	0,401	0,376

Sledování vlivu vybraných faktorů na hodnotu NDVI

Při samotném měření byly sledovány faktory, které mohou ovlivnit výslednou hodnotu NDVI. Lze je rozdělit na faktory senzorové a vnější.

Jak bylo uvedeno v teoretické části, může nastat situace, kdy neproběhne výsledný výpočet NDVI nebo není přímo měřeno dopadajícího záření, což následně ovlivňuje výslednou kalibraci. K těmto účelům je k dispozici vzorec (4), který může hemisférický senzor nahradit v případě, že znám hodnotu dopadajícího záření a lze dopočítat hodnotu NDVI. Výsledky prezentuje tab. 8.3. Pokud ovšem nemám vůbec hodnoty dopadajícího záření, tak zkušební výpočty ukázaly, že není vhodná v našich podmínkách užívat zástupnou hodnotu α , jelikož hodnoty neodpovídají skutečnosti.

Tab. 8.3: Výpočet NDVI s užitím vzorce (4)

	Tráva - deštivo	Tráva - jasno	Řeka	Zorané pole	Tráva Místecký
Rn	0,0118	0,0280	0,001	0,021	0,009
Rr	0,0029	0,0090	0,002	0,022	0,002
In	0,1310	0,3660	0,075	0,510	0,116
Ir	0,1730	0,4690	0,093	0,668	0,146
výsledek	0,686	0,600	-0,350	0,115	0,746
SRS	0,687	0,600	-0,351	0,117	0,747
výsledek s α	0,767	0,706	-0,161	0,283	0,821

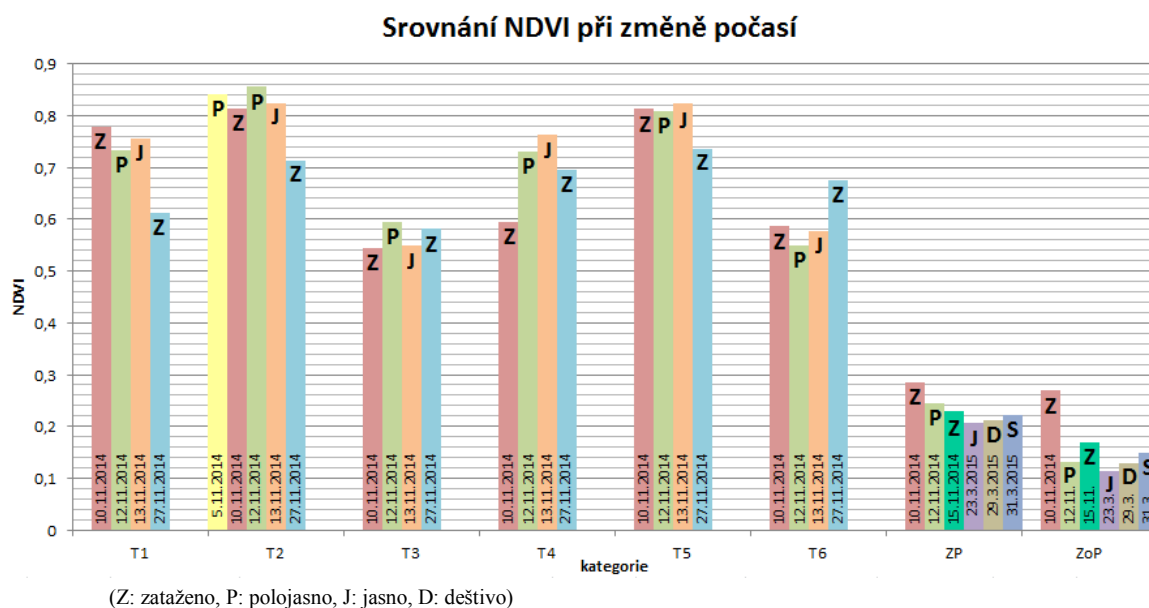
Dále uživatelský manuál připouští užití hemisférického senzoru SRS na měření odraženého záření od vegetace (SRS, 2014). K tomuto experimentu bylo zařazeno měření NDVI bez hemisférického senzoru, tedy následně bez kalibrace. Výsledky jsou prezentovány v tab. 8.4, kde měření hemisférickým senzorem SRS způsobí snížení výsledné hodnoty, neboť snímá senzor z 180°. V druhém případě měření bez hemisférického senzoru způsobuje navýšení výsledných hodnot NDVI oproti referenčním hodnotám.

Tab. 8.4: Výpočty NDVI se záměnou senzorů

Travní porost u řeky Moravy		Travní porost v parku Flóra	
klasické 30 cm nad vegetací	0,589	klasické 30 cm nad vegetací	0,706
hemisférické pohledem dolů	0,463	hemisférické pohledem dolů	0,538
field-stop bez hemisférického	0,726	field-stop bez hemisférického	0,795

Posledním senzorovým faktorem je výška field-stop senzoru při měření NDVI. Jak bylo v teoretické části naznačeno, výsledná hodnota NDVI je vypočítána průměrem hodnot z celého záběrového pole (GIFOV). Při testování senzoru se tato skutečnost potvrdila, protože hodnota byla variabilní dle typu vegetace (viz. Příloha).

Kromě technických parametrů byly sledovány i faktory přírodní, jako vlhkost vzduchu a teplota vzduchu. Ani u jednoho faktoru se neprojevil zásadní vliv, což může být zkresleno časovým hlediskem. Faktory nebyly pozorovány v rámci jednoho dne. Tabelární hodnoty teploty a vlhkosti vzduchu jsou k dispozici na CD. Vliv počasí prezentuje obr. 8.5, kde sice není znatelná závislost mezi hodnotou NDVI a typem aktuálního počasí, na druhou stranu sledování denního vývoje hodnoty NDVI ukázalo navýšení hodnoty při deštivém počasí.



Obr. 8:5 Srovnání NDVI při změně počasí (Z: zataženo, P: polojasno, J: jasno, D: deštivo)

Vliv změny NDVI na hodnotu C-faktoru modelu USLE

Benc (2013) poukazoval na řadu metod, které využívaly hodnotu NDVI pro výpočet vegetačního faktoru pro model USLE. Zároveň poukazoval na nedostatky spojené s tímto vegetačním indexem. Vegetační index byl tedy podroben experimentům a nejvýznamnějším projevem je jeho variabilita a ovlivnitelnost řadou projevů. Z měření lze tedy usuzovat, že NDVI může dobře sloužit k popisu denního chodu a dynamiky vegetačního vývoje, ale pro přepočítání na C-faktor v konkrétním časovém bodě může být informačně zavádějící. Je nutné jeho dlouhodobé průměrování za cenu ztráty dynamického projevu, což koresponduje s požadavkem metody USLE, která se počítá pro roční průměry.

Pokud by se využilo dynamického projevu NDVI a hodnoty NDVI 0,6 a 0,65 se převedly na C-faktor podle přístupu dle Knijff (Benc, 2013), následně vložily do rovnice USLE (3) s ostatními hodnotami $K=0,4$, $R=40$, $LS=0,1$, $P=1$, tak by změna hodnoty NDVI o 0,05 znamenala ztrátu půdy při vodní erozi 40 kg/ha/rok. Otázkou zůstává, jestli je dynamika NDVI žádoucí.

8.2 Horizontální vývoj vegetace v povodí Dřevnice a Olšavy

Cílem praktické části v horizontálním modelování bylo zhodnotit změny vegetačního krytu pomocí modelu LCM a Molusce, zhodnotit přesnost predikce a porovnat oba modely. Základem je sledovat změnu mezi lety 1990 a 2000, 2000 a 2012, dále predikovat rok 2006 a porovnat ho s CLC 2006.

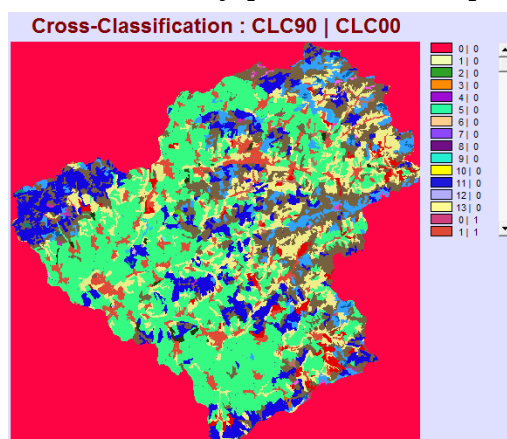
Hodnocení změn v LCM a Molusce

Jelikož LCM při analýze změn neprodukuje tabelární data, tab. 8.5 porovnává vypočtené km² daného typu LULC mezi vektorovou původní vrstvou CLC a tabelárním výstupem z modulu Molusce (označené Molusce+rok). Většina hodnot se liší jen v desetinných. Odlišnost hodnot může být způsobena rasterizací původních vektorových dat. Co se týče interpretace, tak za posledních 12 let je viditelný nárůst zástavby a průmyslových areálů, hlavně v období 2000-2012. Významně narostla rozloha luk a pastvin, což je způsobeno poklesem rozlohy orné půdy, jehličnatých lesů.

Tab. 8.5: Porovnání hodnot pro různé typy [km²]

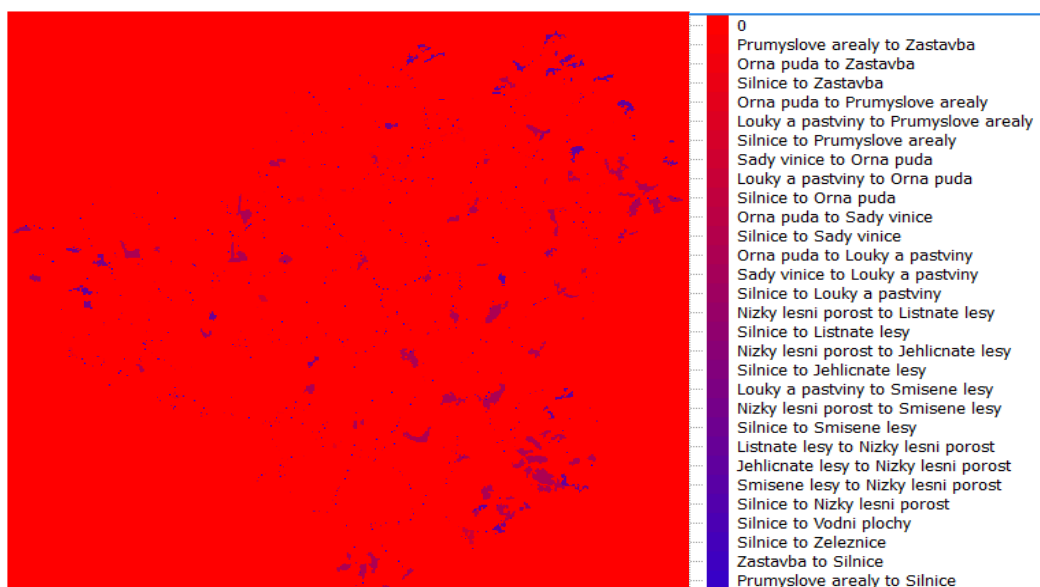
	Popis	1990	Molusca90	2000	Molusce00	2006	2012	Molusce12
1	Sídelní zástavba	92,31	92,31	92,72	92,6	93,82	94,66	94,78
2	Průmyslové areály	15,75	15,5	15,79	15,61	17,38	17,34	17,16
3	Sportovní a rekreační areály	2,73	2,75	2,73	2,72	2,57	2,81	2,82
4	Orná půda	516,12	515,91	485,59	485,66	431,67	411,38	411,34
5	Sady, vinice, chmelnice	5,14	5,58	5,34	5,34	5,36	7,80	7,84
6	Louky a pastviny	194,76	194,7	223,44	223,56	274,96	290,58	290,51
7	Listnaté lesy	165,53	165,56	166,18	166,21	166,61	167,44	167,55
8	Jehličnaté lesy	80,77	80,59	77,38	77,22	77,98	76,89	76,73
9	Smíšené lesy	227,19	227,1	227,65	227,63	229,37	229,96	229,88
10	Nízký lesní porost	10,82	10,99	12,95	13,08	9,83	10,34	10,45
11	Vodní plochy	2,37	2,29	2,37	2,3	2,59	2,59	2,54
12	Železnice	0,32	0,39	0,32	0,4	0,32	0,32	0,40
13	Silnice	2,87	2,95	4,22	4,29	4,22	4,57	4,62

Výstupem pro hodnocení změny v LCM jsou převážně prostorové reprezentace, se kterými je možná dále pracovat a analyzovat. Základem je křížová klasifikace, která porovnává všechny kombinace a má i svojí prostorovou interpretaci (obr. 8.6).

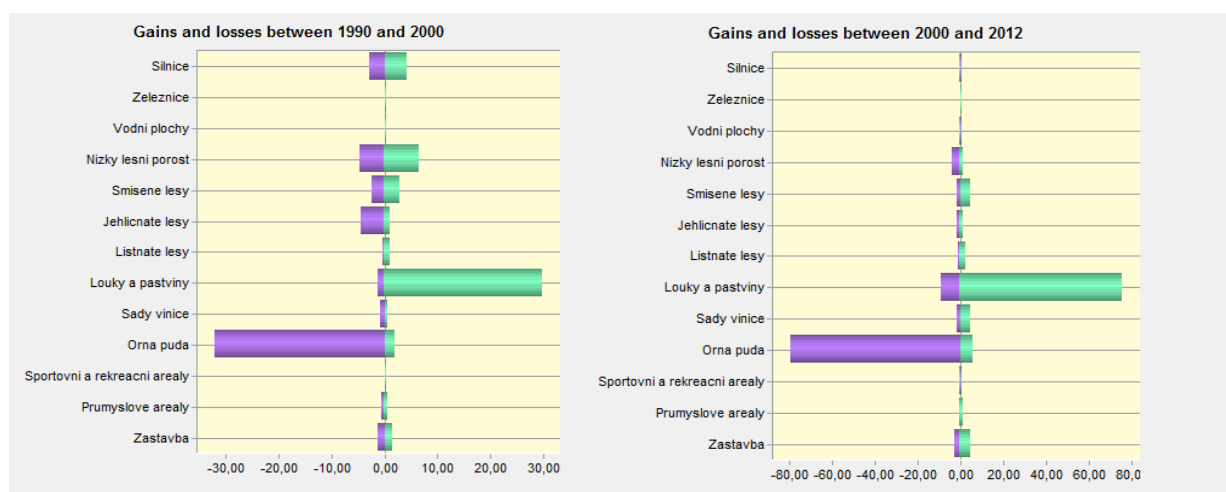


Obr. 8.6: Křížová klasifikace pro analýzu změny v LCM

Použitelnějším výstupem z LCM je mapa změny (Obr. 8.7), kde jsou zvýrazněny dvojice proběhlých změn. Problém nastává s interpretací legendy, ale je možné mapu analyticky zpracovat převodem na kategorizované hodnoty a získat tak jasnější informace. Podobný výstup by měl produkovat i Molusce, ale vyskytl se problém s naplněním barev do legendy a tedy výstup není interpretovatelný. Uživatelské fórum pouze reagovalo, že problém je v řešení.



Obr. 8.7: Mapa změny dle LCM pro období 1990-2000



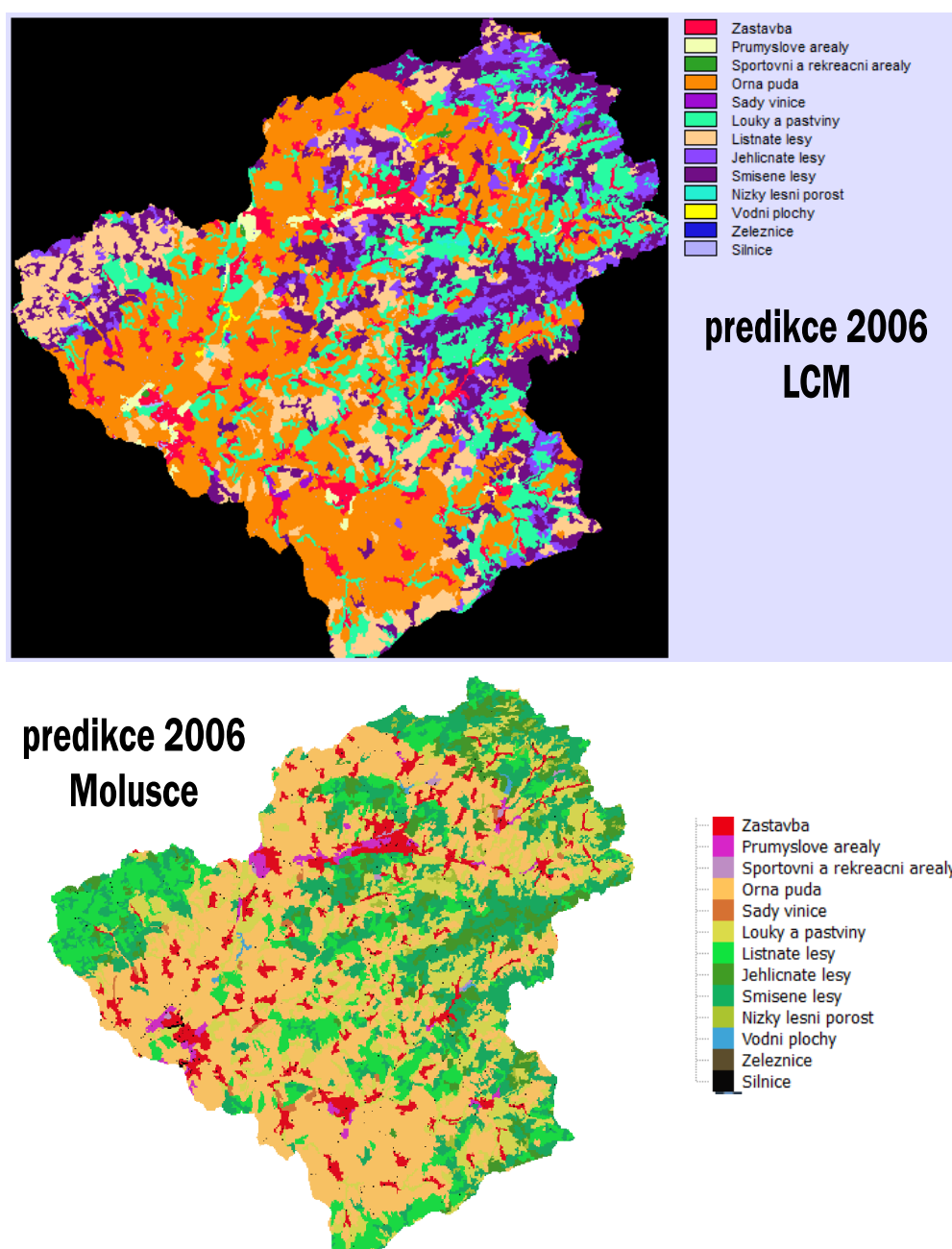
Obr. 8.8: Grafický výstup z LCM vyjadřující ztrátu a zisk pro obě sledovaná období

LCM svojí výstupní hodnotu zvyšuje grafickými vizualizacemi, které prezentují ztrátu a zisk pro všechny kategorie (Obr. 8.8), včetně určení rozlohy v jednotkách, které si může uživatel zvolit. Pro povodí Dřevnice a Olšavy jsou nevýznamnější změny mezi ornou půdou a loukou, pastvinami. Při hodnocení vegetace je důležité sledovat i lesní porost, zde jsou patrné změny u nízkého lesního porostu a v 90. letech úbytky jehličnatých stromů. Je třeba upozornit na zisky a ztráty u silnice v období 1990-2000, což je ovšem způsobenou chybou u vstupních dat. Pro fragmentaci CLC 1990 bylo užito silniční síť z datového zdroje ARCČR 500, kde jsou data v menším měřítku a

generalizována oproti vrstvě silnic z Data 200, která byla užita pro ostatní vrstvy. Původním záměrem bylo přiblížit se skutečnosti v rozšíření silniční sítě v 90. letech, ale pro hodnocení změn landuse je to nešťastné řešení. Detailní zisky a ztráty pro jednotlivé typy včetně prostorové interpretace je uvedena v příloze 6.

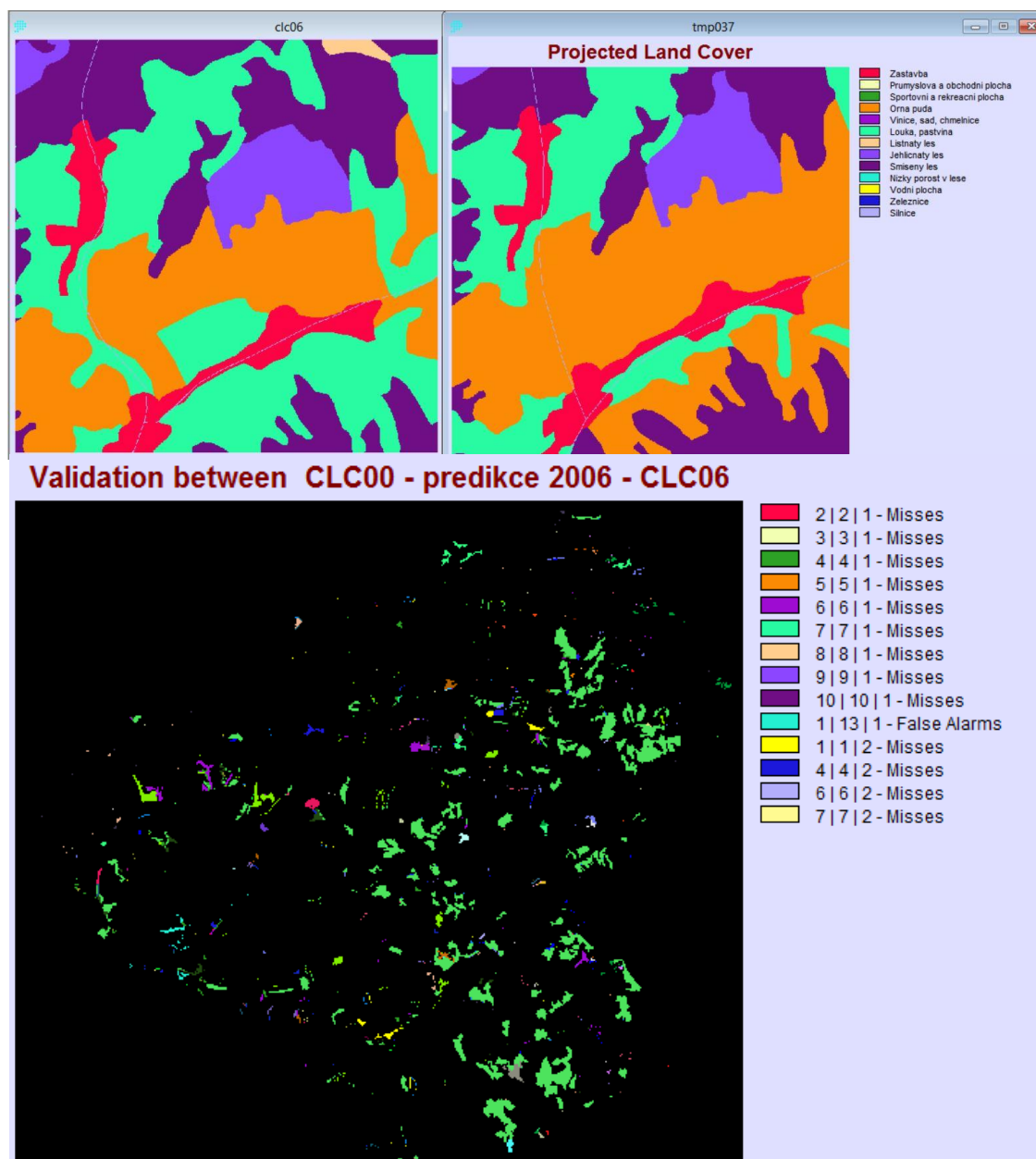
Predikce a validace

Druhou částí byla predikce pro rok 2006 v obou modelech a následně možnosti ověření kvality výstupu. Pro tyto účely byl zvolen rok 2006, pro který jsou referenční data v podobě CLC 2006. V obou produktech je výstupem predikce mapa (Obr. 8.9). Rozdíl v doplňujících informacích a při validaci.



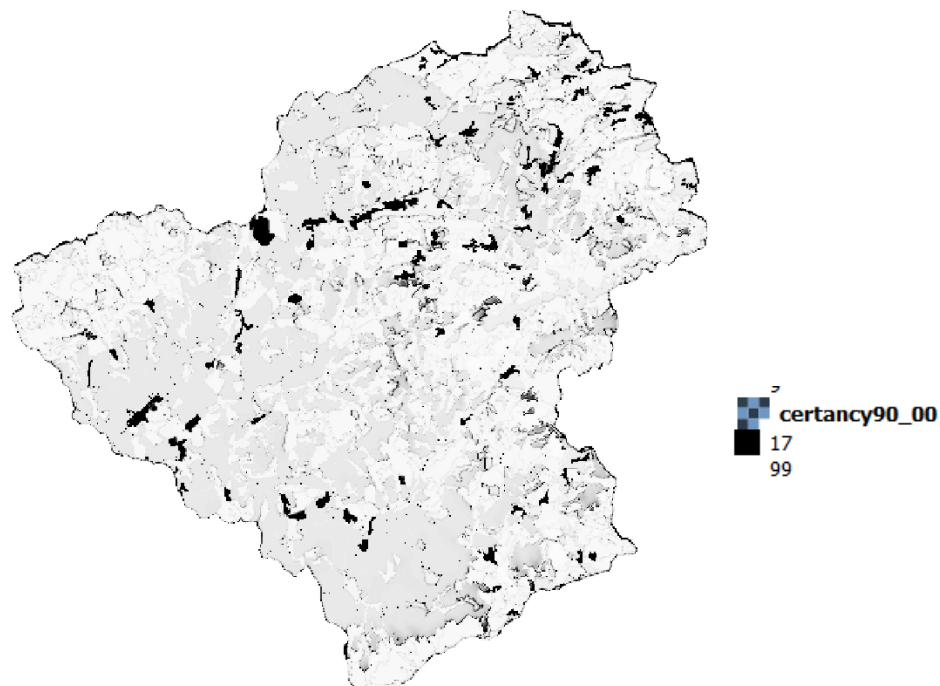
Obr. 8.9: Datové náhledy predikce pro 2006 z LCM a Molusce

V LCM jsou interpretační nástroje validace opět postaveny na vizuálním srovnávání a znázornění prostorovou reprezentací. Jak je patrné na Obr. 8.10 existují rozdíly mezi predikovanou mapou a CLC 2006. Validační mapy znázorňují vazby a změny mezi novější vstupní vrstvou, predikcí a referenční vrstvou. Na validační mapě na obr. 8.10 si lze všimnout více chyb, které mohly být způsobeny prací se submodely a kvalitou dat.



Obr. 8.10: Predikce a validace v LCM

Molusce disponuje validačním nástrojem, který má spíše číselný charakter. Je v něm vyjádřen KAPPA koeficient a procentuální správnost. Pro predikci 2006 byla dle referenční vrstvy vypočtena 96,7 % správnost. Zajímavý je doplňující výstup v podobě mapy důvěry predikce (Obr. 8.11), která představuje prostorovou procentuální nejistotu, že byl pixel vyjádřen chybně. Tmavé plochy vyjadřují oblasti s nejistotou.



Obr. 8.11: Mapa důvěry predikce

Porovnání modelů

Molusce je oproti LCM jednodušší a uživatelsky přehlednější. Výhodou je otevřenost, kde stále probíhá vývoj a je k dispozici uživatelské fórum. Dále je výhodou provázanost s QGIS, kde lze pracovat s řadou formátů a připravit tak korektní data pro Molusce. Navíc Molusce dovoluje vstup více typů formátů, což z něj dělá přístupnější nástroj. Díky dobé užívaní a uživatelské základně, Molusce obsahuje množství nedostatků. Při chybovém hlášení na vstupu není znám typ chyby, což může hned na úvod odradit uživatele. Aktuálně se vyskytuje problém s legendou pro mapu změny. Díky vývoji je občas nástroj postižen chybou, kterou uživatelské fórum následně řeší za běhu. Velkým nedostatkem je užití a řízení proměnných, které je i dle hodnocení uživatelů podprůměrné a nesrovnatelné s LCM. To ovšem může ovlivnit výslednou predikci, která je na faktorech závislá. Molusce má i nedostatky v prostorových vizualizačních schopnostech. Řada těchto nedostatků může mít za příčinu, že aktuálně nejsou ve velké míře známy studie, které by užívaly Molusce.

LCM je robustním nástrojem, který má mnoho funkcí a již vyžaduje přesná a podrobná data a čas na zpracování. Výhodou je jeho nepřehledné množství prostorových a grafických výstupů pro všechny dílčí části modelu. Velkou výhodou je i přes komerčnost velká využívanost mezi uživateli a s tím spojená i řada popisných dokumentací a studií, které mohou usnadnit orientaci na úvodu a řešení nedostatků tak, aby výsledky byly co nejpřesnější. Nedostatek je citelný v tabelárních výstupech, které by mohly sloužit k rychlé interpretaci a přehledu. Dále může zastaralé působit interface a nastavení kartografických a vizualizačních pravidel. Další nevýhodou může být formátová omezenost.

Na závěr jsou na Obr. 8.12 k porovnání přechodové matice z Molusce a LCM, které obsahují nesrovnalosti, což může odrážet výše prezentované odlišnosti.

Transition matrix 1990 - 2000 pro Molusce														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.986892	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.013108
3	0.000000	0.027097	0.961935	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.010968
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.989091	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.010909
5	0.000000	0.001105	0.000930	0.000000	0.937489	0.001008	0.056425	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.003043
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.059140	0.862007	0.077061	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001792
7	0.000000	0.000000	0.000360	0.000000	0.003082	0.000000	0.993580	0.000000	0.000000	0.000360	0.000000	0.000000	0.000000	0.002619
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.997040	0.000000	0.000000	0.001631	0.000000	0.000000	0.001329
9	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.944038	0.000000	0.054846	0.000000	0.000000	0.001117
10	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.988904	0.009247	0.000000	0.000000	0.001849
11	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.092812	0.094631	0.239308	0.570519	0.000000	0.000000	0.002730
12	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000
14	0.000000	0.172881	0.050847	0.000000	0.362712	0.003390	0.193220	0.040678	0.033898	0.118644	0.006780	0.003390	0.003390	0.010169

Given : Probability of changing to :

	Zastavba	Prumyslova a obchodni plocha	Sportovni a rekreacni plocha	Orna puda	Vinice, sad, chmelnice	Louka, pastvina	Listnaty les	Jehlicnaty les	Smisery les	Nizky porost v lese	Vodni plocha	Zeleznice	Silnice
Zastavba	0.9906	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094
Prumyslova a obchodni plocha	0.0145	0.9768	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0088
Sportovni a rekreacni plocha	0.0000	0.0000	0.9978	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0022
Orna puda	0.0006	0.0006	0.0000	0.9562	0.0007	0.0389	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030
Vinice, sad, chmelnice	0.0000	0.0000	0.0000	0.0382	0.9160	0.0422	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036
Louka, pastvina	0.0000	0.0001	0.0000	0.0012	0.0000	0.9956	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030
Listnaty les	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9983	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0008
Jehlicnaty les	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9648	0.0000	0.0338	0.0000	0.0000	0.0013
Smisery les	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9927	0.0057	0.0000	0.0000	0.0016
Nizky porost v lese	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0629	0.0673	0.1701	0.6982	0.0000	0.0000	0.0015
Vodni plocha	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9997	0.0000	0.0000	0.0003
Zeleznice	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9985	0.0015
Silnice	0.2126	0.0311	0.0016	0.3712	0.0017	0.1796	0.0449	0.0281	0.1075	0.0043	0.0011	0.0004	0.0160

Obr. 8.12: Porovnání přechodových matic z Molusce (horní) a LCM (dolní)

8.3 Vertikální vývoj vegetace v povodí Dřevnice

Modelování sekvestrace uhlíku

Pro modelování sekvestrace uhlíku bylo využito dat CORINE Land Cover pro povodí řeky Dřevnice a Olšavy, tedy data užitá i v horizontálním modelování. V tomto případě dochází k propojení horizontálního a vertikálního modelování, neboť v případě predikce sekvestrace uhlíku do budoucích let je třeba v prvním kroku vytvořit predikci horizontálního vývoje. Pro účely seznámení se s modulem Carbon modelu InVEST, bylo užitó dat CORINE Land Cover 1990 a CORINE Land Cover 2012 a krom výpočtu sekvestrace pro dané roky je sledován i vývoj a změna. Jelikož k dispozici byly omezené datové zdroje, práce probíhala jen se základními funkcemi a do výpočtu nevstupovaly doplňující informace, které jsou blíže představeny v kapitole 6.2. Zároveň číselné hodnoty sekvestrace uhlíku byly vypočteny pro celé povodí.

Základním výstupem modulu Carbon je html stránka označená summary.html, která představuje souhrn všech dat vypočtených modelem. Obsahuje popis všech ostatních výstupních souborů a slouží tedy k porozumění modelových výsledků. Náhled výstupu je na obr. 8.13. Nejdůležitější je tabelární hodnota sekvestrace uhlíku, která je k dispozici jen v tomto souboru, ostatní jsou prostorová data. Jak je na Obr. 8.13 uvedeno, pro rok 1990 bylo v povodí řeky Dřevnice a Olšavy uloženo 17 884 259,86 Mg uhlíku. O 12 let později došlo ke změnám landuse (viz. výsledky horizontálního modelování), a to se projevilo i v uložení uhlíku, který vzrostl o 79 629 Mg. Na základě teoretický poznatků této práce, lze tvrdit, že zvýšení sekvestrace uhlíku značí i nárůst biomasy, a tedy pozitivní vývoje vegetačního krytu.

InVEST Carbon Model Results

This document summarizes the results from running the InVEST carbon model. This run of the model involved the biophysical model.

Table of Contents

- [Biophysical Results](#)
- [Output Files](#)

Biophysical Results

Scenario	Total carbon (Mg of carbon)	Sequestered carbon (compared to current scenario) (Mg of carbon)
Current	17 884 259,86	n/a
Future	17 963 889,18	79 629,31

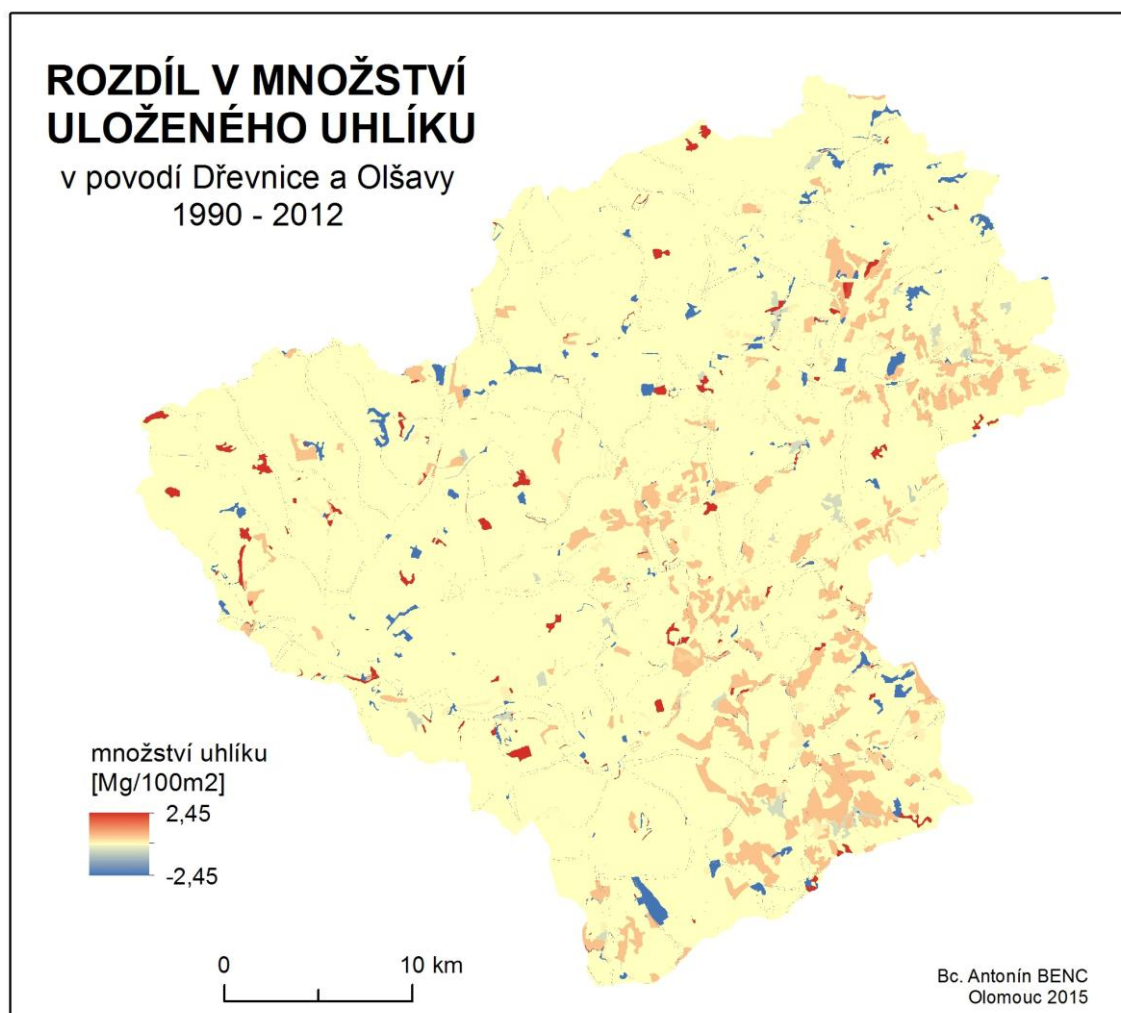
Obr. 8.13: Tabelární výsledek modelování v rámci výstupní html stránky

Dalším výstupem modelu je textový soubor `carbon_combined_log+čas.txt`, který obsahuje parametry a hodnoty zadané uživatelem a celý záznam z průběhu modelu. Jedná se o významný zdroj informací při opakovaném užití nebo při vzniku nečekané chybové události.

Pro oblast geoinformatiky jsou nejdůležitějšími výstupy modulu Carbon prostorové informace v podobě tří datových záznamů v souřadnicovém systému ve formátu *.tif.

První výstup nese označení `tot_C_cur.tif` a popisuje na prvním landuse (většinou se jedná o aktuální) prostorové rozložení množství uloženého uhlíku v Mg na každou buňku sítě zvoleného měřítka, v našem případě má buňka 10x10m. Vždy se jedná o součet všech čtyř typů úložišť. Nejnižší možná hodnota je 0, kde se většinou jedná o zpevněné plochy bez půdy. Maximální hodnota je závislá na uhlíkové tabulce, pro území povodí Dřevnice a Olšavy to je 2,45 Mg/100m². Druhý výstup je označen `tot_C_fut.tif` a vyjadřuje množství uloženého uhlíku pro druhý vstupní rastr. InVEST se obvykle užívá pro modelování budoucího stavu, proto druhý rastr bývá predikcí. Popis hodnot je shodný s prvním rastrem. Oba výstupy jsou součástí mapy Množství uloženého uhlíku v povodí Dřevnice a Olšavy, která je umístěna v příloze práce.

Třetím grafickým výstupem modulu Carbon je soubor pojmenovaný `sequest.tif` (Obr. 8.14). Ten představuje rozdíl uhlíku uloženého nebo pohlceného mezi dvěma obdobími. Opět hodnoty jsou vyjádřeny v Mg na buňku. Hodnoty se pohybují v záporných a kladných číslech dle ztráty či zisku uhlíku. Oblasti s největší ztrátou či přírůstkem vyjadřují velké změny LULC. Také hodnotu může ovlivnit sklizeň, pokud máme při modelování k dispozici data, která do modelu vstupují jako doplňující. Modul Carbon nezohlední emise uhlíku při spalování, doplňkové hnojení, atd.



Obr. 8.14: Rozdíl v množství uloženého uhlíku v období 1990-2012

Pokud se zaměříme na interpretaci obr. 8.14, žlutá barva na mapě vyjadřuje plochy, kde neproběhla mezi lety 1990 a 2012 změna v množství uloženého uhlíku. Zato u většiny oranžových ploch, které značí pozitivní přírůstek uhlíku, došlo ke změně z orné půdy na louky a pastviny, které disponují větším potenciálem pro dlouhodobé uložení uhlíku. Červené plochy, které signalizují pozitivní extrém, zastupují většinou vývoj z přechodového stádia křovin do podoby lesního společenství, které přirozeně disponuje největším množstvím biomasy a tedy i uložištěm uhlíku. Dále v pozitivním extrému jsou zařazeny změny ze sadů na louky, což je považováno za chybu, neboť pro sady nebyly převodové hodnoty. Světle modré plochy se vyznačují jako slabý negativní výsledek a většinou se jedná o opačný projev k oranžové barvě, konkrétně jde o převod louky na zemědělskou plochu s příměsí přirozené vegetace. Negativní modrý extrém, kdy došlo k významnému úbytku množství uloženého uhlíku, zastupuje hlavně plochy změněné na městskou zástavbu či průmyslové areály nebo změnu lesního porostu na jinou kategorii. V mapě jsou dále patrné jemné pixely, které nesou extrémní modrou i červenou barvu. V tomto případě se jedná o chybu vycházející ze zdroje dat a již komentovanou u horizontálního modelování.

Všechny tři grafické výstupy lze dále analyticky zpracovávat pomocí GIS a získávat tak další analytické a syntetické informace, například kombinací s dalšími zdroji informací o vertikálním vývoji vegetačního krytu.

Modelování růstových hodnot

Jak vyplývá z výsledků modelování sekvestrace uhlíku, je lesní porost významný uložištěm uhlíku, obsahuje velké množství biomasy a má potenciál v ochranných funkcích. Z tohoto důvodu je vhodné mít podrobnější informace o vývoji lesního porostu, a tím mít možnost řídit a ovlivnit jeho funkce na okolní ekosystém. Informačně zajímavé jsou výstupy z modelu Silvisim, které sice nemají prostorovou složku, ale významné jsou tabelární výstupy, které je možné napojit na prostorové informace.

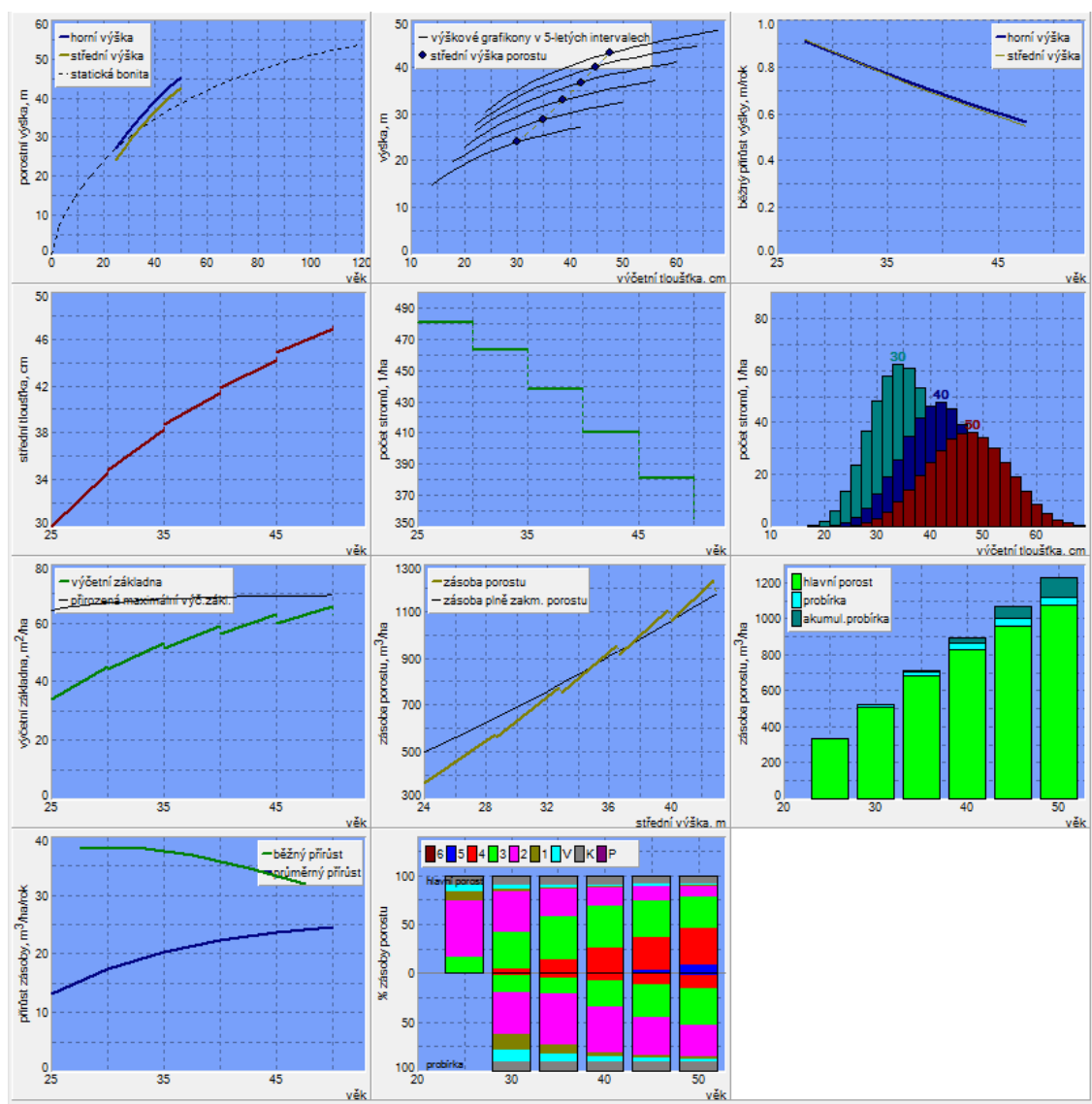
Základním typem výstupu jsou růstové hodnoty pro řadu veličin v tabelární (Tab. 8.6) a grafické podobě (8.15). K interpretaci byl zvolen smrk ztepilý, který patří mezi nejčastější lesní porost na území České republiky. Tabulka 8.6 prezentuje hodnoty v pětiletém intervalu. Pro tento konkrétní smrkový porost lze vyčíst, že za dalších 25 let se horní výška zdvojnásobí a stromový objem vzroste z 387 m³/ha na 1413 m³/ha. Řada údajů z tabulky má i svojí grafickou podobu, kde dochází ke srovnávání a vazbám mezi údaji. Každý z grafů lze stáhnout v lepším rozlišení. Pro ilustraci je doložen celkový přehled. Tento kompletní přehled je tvořen jen pro čtyři základní dřeviny – buk, dub, smrk a borovice. Pro ostatní dřeviny chybí výčetní tloušťka ve vazbě na výšku a výčetní tloušťka ve vazbě na počet stromů na ha.

Tab. 8.6: Tabelární růstové hodnoty pro smrk ztepilý do roku 2040

základní porostní údaje																		
		hlavní porost							podružný porost						celková produkce			
test	horní výška m	střední výška m	střední tloušťka cm	počet stromů 1/ha	výčetní základna m ² /ha	zásoba hroubí m ³ /ha	zásoba kmenová m ³ /ha	zásoba stromová m ³ /ha	počet stromů 1/ha	výč. zákl. m ² /ha	zás. hroubí m ³ /ha	zás. kmen. m ³ /ha	zás. strom. m ³ /ha	objem štěpky m ³ /ha	objem hroubí m ³ /ha	objem kmen. m ³ /ha	objem strom. m ³ /ha	
25	27.0	24.0	30.0	481	34.0	365	368	387							365	368	387	
30	31.5	28.7	34.8	463	44.0	561	564	592	18	1.0	12	12	12	0	573	575	604	
35	35.6	32.9	38.7	438	51.4	748	750	786	25	1.7	23	23	25	0	783	785	823	
40	39.2	36.7	41.9	410	56.5	913	915	957	28	2.4	37	37	39	0	985	988	1033	
45	42.4	40.0	44.8	381	60.1	1056	1058	1105	29	2.8	47	47	49	0	1175	1177	1231	
50	45.3	42.9	47.5	354	62.6	1178	1180	1232	27	3.0	53	53	56	0	1350	1352	1413	

Silvisim umožňuje dále srovnání několika modelovaných dřevin v attributech horní výška, střední výška, výčetní základna, počet stromů, střední tloušťka, zásoba, celkové prod. štěpky a zisk. Celkové prod. štěpky a zisk je k dispozici jen při zadání doplňujících informací při modelování. Všechna srovnání jsou pouze v grafické podobě. Pro ilustraci Obr. 8.16 představuje vývoj hodnoty horní výšky v závislosti na věku dřeviny. Výchozí pozice je aktuální věk zadáný v modelu a je modelován 25 letý růst do roku 2040.

Se svými nástroji má Silvisim potenciál být zajímavým informačním doplňkem o vertikálním rozložení lesního porostu. Nevýhodou je ruční přepisování dat do modelu a následně z modelu do prostorové podoby pro lepší vizuální podobu a případně další analytické zpracování.



Obr. 8.15: Grafická reprezentace růstových hodnot pro smrk ztepilý do roku 2040



Obr. 8.16: Porovnání růstu břízy, buku a smrku do roku 2040

8.4 Využitelnost přístupů pro C-faktor modelu (R)USLE

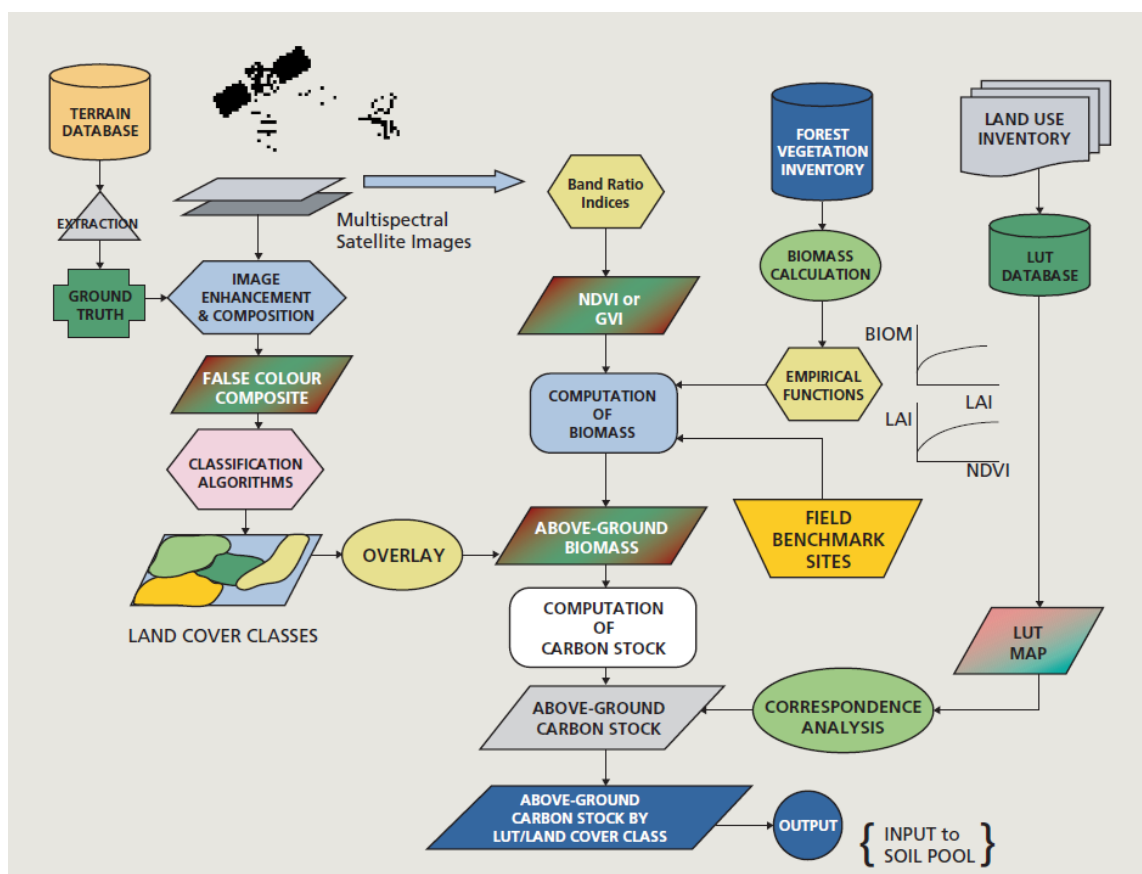
Všechny tři prakticky naznačené směry, tedy výběr kvalitních dat či užití NDVI, horizontální modelování a vertikální modelování, mají mezi sebou úzkou vazbu a jejich užitím jsme schopni získat hodnotnější informace o vegetačním krytu, což se následně může odrazit v lepším hospodaření s krajinnými prvky, a tedy i ve zvyšování ochranného potenciálu krajiny nejen před vodní erozí.

V práci byla představena sada datových zdrojů pozemního i vzdušného segmentu, ze kterých je možné získat informace o vegetačním krytu a velké využití mají i při modelování změn v horizontálním a vertikálním směru. Dále proběhlo testování NDVI, na který byla navázána řada metod pro zjištění C-faktoru, ale zároveň Benc (2013) poukazoval na jeho nedostatky. Po všech hodnocení se NDVI ukázalo jako dostačující pro průměrování hodnot za delší období, což zároveň splňuje filozofii USLE. Hodnocení dynamiky vegetace pomocí NDVI lze obtížně, neboť je NDVI ovlivnitelné více faktory a v rámci dne dochází ke kolísání měřené hodnoty, což ovšem nevypovídá o zásadní změně struktury vegetace, která by pro nás z pohledu ochrany půdy byla důležitá. Správné určení vegetačního krytu a vzájemných vazeb může kladně ovlivnit i další systémy.

V zadání práce bylo dále sledování horizontální změny, neboť rozloha a prostorové určení krajinného pokryvu jsou zásadní atributy pro vzájemné vazby v ekosystému a obecně pro ochranu funkcí. Díky dostupnosti dlouhodobě sbíraných dat a pravidelnému snímkování z leteckých či satelitních senzorů můžeme sledovat změny ve využívání půdy i v závislosti na ochraně půdy. Zároveň nám horizontální modely umožňují predikovat vývoj krajinného pokryvu a z jejich výsledků těží odborníci při sestavování vhodných scénářů v řadě environmentálních aplikací. Významným nástrojem je Land Change Modeler, který spolu s Molusce byl testován a jejich výsledky jsou v práci představeny. Zároveň byla komentována jejich přesnost, která je vedle kvality dat významným faktorem.

Třetí oblastí s významnou a těsnou vazbou na datové zdroje a horizontální modelování je sledování vertikálního členění, které významně může ovlivnit intenzitu ochrany před vodní erozí. Jak bylo v diplomové práci naznačeno, tak vertikální modelování vyžaduje velké množství přesných a obsáhlých datových zdrojů. Významným zástupcem je model InVEST s modulem Carbon, který umožňuje modelování sekvestrace uhlíku. Pokud známe množství uhlíku, tak můžeme určit množství biomasy a dle převodových vztahů, kterými se zabývá například Hernandez (2004), můžeme určit hodnotu C-faktoru.

Vzniká nám tak obsáhlý systém na sebe navazujících procesů či vzájemné se doplňujících funkcí a datových balíků, díky kterým lze určit C-faktor nebo alespoň se mu přiblížit při získání bližších informací o vegetačním krytu. Vzájemné provázání je patrné z Obr. 8.17, kde právě Hernandez hledá cestu pro odhad biomasy a uhlíku v nadzemním uložení z dat současného využívání půdy s užitím geoinformatiky a DPZ.



Obr. 8.17: Odhad biomasy a uhlí v nadzemním uložišti ze současného využívání půdy (Hernandez, 2004)

Zde tedy vzniká prostor pro další výzkum a hlavně sestavení případových studií pro hledání optimálního procesu složeného ze zde uvedených tří přístupů - datového, horizontálního a vertikálního. V obecné rovině je provázanost vyplývající z teoretického rozboru a praktického testování. V první řadě je třeba zajistit kvalitní a podrobná data, se kterými budeme pracovat při odhadu C-faktoru (dle Bence, 2013), při modelování změn a modelování uhlíku pro stanovení struktury a biomasy. Je třeba rozlišit mezi prezentací sezónnosti nebo určováním výsledného C-faktoru. Pro sezónnost je třeba opatrnosti v interpretaci, jelikož hodnotím moment z konkrétního bodu v čase ve vazbě na další, ale tento bod může být ovlivněn řadou faktorů. Pokud určí výsledný C-faktor, tak je vhodné využít průměrování hodnot za delší období, čímž shladuji sezónnost. Samozřejmě při hodnocení sezónnosti lze sledovat trend při vynesení do grafu a pokusit se určit, zda se jedná o vývojový nebo jen aktuální dynamický projev. Díky kvalitním datům můžeme sestavovat scénáře pomocí horizontálních modelů, které prezentují prostorovou distribuci, změny a vzájemný vliv s výhledem do budoucna. V rámci C-faktoru jde tedy o metody sledování dalšího vývoje. Vertikální modelování, konkrétně modelování sekvestrace uhlíku můžeme označit za další geoinformatickou alternativu stanovení C-faktoru pro model USLE, neboť umožňuje určení krajinného pokryvu jeho hustoty. Významnost je patrná ze současného zájmu o tuto oblast. Každopádně konkrétní užití pro C-faktor a hledání správné cesty je již dalším způsobem, jak obohatit toto obsáhlé téma.

9 DISKUZE

Při zpracování diplomové práce, hlavně její praktické části vyvstala řada otázek a omezení, které stojí za zmínění a v lepším případě zařazení do výzkumu v některých dalších odborných pracích. Zároveň by tato kapitola mohla být námětová, jakým dalším směrem se vydat.

V praktické části bylo hodnoceno NDVI v závislosti na různých faktorech. Vzhledem ke zjištěnému dynamickému projevu by bylo vhodné tato měření doplnit, minimálně o měření vlhkosti půdy a jeho vlivu na NDVI. Ačkoliv měl být při interpretaci brán důraz na dynamiku vegetace, tak dokud nebude pro zjišťování NDVI jasně stanovena významnost faktorů a měření doplněno o další senzory, tak vždy je třeba brát interpretaci NDVI s určitou rezervou. Problematika NDVI se v této práci posunula dál, ale stále existuje řada nejasností a nedostatků, které by šly potenciálně eliminovat. Bylo představeno několik měření a hodnot NDVI pro typy krajinného pokryvu, ale i vzhledem k obsáhlosti práce a času, kdy byl senzor SRS získán, považuji měření za nedostatečné. Pokud je žádoucí sledovat dynamiku vývoje vegetačního krytu, tak je třeba více měření, která budou mít pravidelný a celoroční charakter. Zvlášť pro určení C-faktoru by bylo zajímavé experimentální měření vybraných plodin a porovnání s užívanou tabelární metodou od Janečka (2012). Dynamika se projevila i při celodenním měření, kdy docházelo ke kolísání hodnoty. Nelze jasně určit důvod, proto by bylo vhodné komplexní měření několika senzorů po dobu celého dne a následně hledání vzájemných vztahů a závislostí. V této práci je vše jen naznačeno. Díky projevené dynamice při měření NDVI nelze jasně určit vhodnost užití této geoinformatické alternativy stanovení C-faktoru. Stále chybí konkrétní případová studia, která by hodnotila vhodnost NDVI pro stanovení C-faktoru v konkrétním dopadu na USLE, včetně analýzy sensitivity. Z experimentu uvedeného v diplomové práci nelze jednoznačně říci, zda úbytek půdy je významný, chybí odborný pohled. Je tedy na uvažení, jestli nezkusit složitější cestu přes jiný vegetační index či užití některé specializovaného, v současnosti se jich začíná objevovat více (například stratified vegetation cover index). To platí i pro nedostatečnou analýzu zdrojových dat a jejich vazby na určení C-faktoru. V práci bylo hodnoceno NDVI z pohledu pozemního měření a satelitního snímkování, ale zatím nebylo podrobnější hodnocení s leteckými snímky či UAV, kde lze zachytit celou parcelu. Navíc tento směr má užitek i v praxi.

Od NDVI se následně praktická část přesunula na horizontální modelování. Významným nedostatkem bylo nekompletní porovnání výsledků z Land Change Modeler a Molusce, neboť oba modely mají odlišné výstupy a bylo by časově náročné je optimalizovat na porovnatelnou úroveň. Na druhou stranu nelze nyní určit vhodnější přístup založený na vzájemném porovnání pomocí výstupních hodnot, ale pouze díky uživatelskému subjektivnímu pohledu. Jelikož bylo postupováno při praktické části s LCM dle Nedbala (2014), tak se řada nedostatků uvedených v diskuzi jeho bakalářské práce opakovala. Pro Molusce chybí rozsáhlejší případová studie, která by ukázala blíže nedostatky, část je prezentována v této práci ve Výsledcích.

Třetí oblast se věnovala modelování sekvestrace uhlíku a modelování růstu lesního prorostu. Zde je třeba poukázat u modelu InVEST modulu Carbon na užití poměrně malého množství informací (i proti jiným podobným modelům) a nedoplnění informací o proměnných. Lze tedy usuzovat, že, model poskytuje povrchnější a generalizované výsledky. Toto tvrzení ovšem není podloženo testováním s jiným obdobným zástupcem, což přivádí na myšlenku nového směřování v této oblasti. Dále modul Carbon sice vypočítá sekvestraci uhlíku pro současný a predikovaný stav, ale nijak nezohledňuje změny v horizontálním vývoji. S tím úzce souvisí i lineárnost uložení při hodnocení časového měřítka. Nelze sledovat nějaké výkyvy, dynamiku v ukládání uhlíku. Výstup je nutné brát jako stav k jednomu a druhému vstupnímu rastru. Druhým nedostatkem je závislost na kvalitě a přesnosti vstupních LULC, protože na nich a uhlíkové tabulce závisí, pro jaké krajinné typy se bude počítat sekvestrace uhlíku. Může tak docházet ke generalizaci a zkreslování skutečnosti. V diplomové práci navíc byla představena jen základní funkcionality a postup pro modul Carbon, nebyly k dispozici obsáhlejší data, které by obohatili výstupy o další informační složky. Další nedostatek plyne ze Silvisim, který má nedorozumění prostorové určení. Původní autorův záměr spojení modelovaných růstových hodnot se sekvestrací uhlíku a hledání vhodné vizualizační metody nebyl z časových důvodů naplněn. V užití růstových simulátorů ve vazbě na C-faktor je potenciál, ačkoliv v erozní ochraně nejsou obecně zařazovány lesní porosty.

Poslední kapitola se věnuje užití všech přístupů v určení vegetačního indexu a další rozvoj geoinformatických alternativ stanovení C-faktoru pro model USLE. Zde je pouze naznačen možný další vývoj bez bližšího určení či případové studie. Vzhledem k obsáhlosti celé diplomové práce je tato kapitola pojata pouze jako námět dalšího vývoje. Současně s tím, ale je do diskuze, zda prezentované přístupy a směry se dají promítnout do stanovení C-faktoru. Dále nikterak není v geoinformatických alternativách zohledněn agrotechnický postup, který by dle původní metodiky měl být promítnut do C-faktoru a tabelární hodnoty pro ČR jsou tak nastaveny. A v neposlední řadě, co vlastně lze u C-faktoru modelovat – trend, vliv klimatických vlastností? Všechny diskuzní poznámky mohou sloužit jako náměty pro další směřování problematiky vegetačního indexu a jeho stanovení pomocí

Na závěr bych rád zhodnotil základní úvodní myšlenku, zda existuje přístup, který by zpřesnil informace o vývoji vegetačního krytu pro následné erozní odhady. Pokud získáme kvalitní data nebo využijeme měření NDVI v terénu, tak splníme prvním krok ke kvalitnímu výstupu. Informace z horizontálního a vertikálního modelování nám mohou dokreslit současnou či budoucí situaci a dle nich mohou odborníci konat správné závěry. Bohužel neproběhlo sestavení komplexního přístupu, kde by výsledkem byl zpřesnění C faktor, takže nelze jednoznačně říci, zda existuje přístup, který by vedl k celkovému zlepšení. Po sestavení této odborné práce, ale můžeme říci, že potenciál je vysoký.

10 ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo rozvíjet alternativní metody stanovení C faktoru pro model USLE v návaznosti na bakalářskou práci stejného autora, která toto téma započala. Obohacení tématu mělo nastat hlavně z pohledu vývoje vegetace v čase a v horizontálním a vertikálním směru, posouzení alternativních přístupů, dostupnosti dat a přesnosti modelů. V korespondenci se zadáním byla práce rozčleněna na tři směry, které přinesly poměrně detailní analýzy. Všechny sledovaly jeden hlavní účel, jak získat podrobná a vypovídající data o vegetačním pokryvu, což predikovala práci velkého rozsahu.

První směrem bylo zpřesnění dat či získání více kvalitních informací o krajinném pokryvu. Jednak součástí byla analýza možných zdrojů včetně popisu, ale také měření NDVI pomocí senzor SRS a následné analýzy a hodnocení vhodnosti. Vše vycházelo z diskuzních poznámek k NDVI z bakalářské práce autora.

Druhý směr se věnoval horizontálnímu modelování jako jednomu z významných způsobů při možném určování vegetačního krytu, jeho změn a predikování. Součástí bylo zpracování a analýza vrstev CORINE Land Cover pro povodí Dřevnice a Olšavy pomocí modelu Land Change Modeler a Molusce. Tyto modely následně byly vzájemně srovnány a výsledky interpretovány.

Poslední oblastí možného získání informací o vegetačním krytu bylo užití vertikálního modelování, konkrétně modelování sekvestrace uhlíku, která má přímé vazby na biomasu a modelování růstu lesního porostu. Výsledkem jsou postupy a seznámení se metodami.

Na závěr byly dílčí směry zhodnoceny z pohledu C-faktoru modelu USLE.

Celá práce tvoří náhledy do jednotlivých oblastí informací o vegetaci s řadou popisných, grafických a tabelárních částí. Díky svému rozsahu předčila očekávání autora, a vytváří dobré náměty na další výzkum.

POUŽITÁ LITERATURA

BENC, A. *Geoinformatické alternativy stanovení C-faktoru modelu RUSLE*. Olomouc, 2013. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.

DOBROVOLNÝ, Petr. *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1998, 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

DOSTÁL, Tomáš. *Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO: metodika*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2014, 69 s. ISBN 978-80-87361-30-6.

RUSCH, M., U. DEL BELLO, S. CARLIER, O. COLIN, V. FERNANDEZ, F. GASCON, B. HOERSCH, C. ISOLA, P. LABERINTI, P. MARTIMORT, A. MEYGRET, F. SPOTO, O. SY, F. MARCHESE a P. BARGELLINI. *Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*. Remote Sensing of Environment. 2012, vol. 120, s. 25-36. DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.026. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425712000636>

CIENCIALA, E., HENŽLÍK, V., ZATLOUKAL, V. (2006). *Assessment of carbon stock change in forests - adopting IPCC LULUCF Good Practice Guidance in the Czech Republic*. Lesnický časopis - Forestry Journal 52, 17-28.

FABRIKA, M., (2005): *Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA, koncepcia, konštrukcia a programové riešenie*. Habilitačná práca. Technická univerzita vo Zvolene, 238 s.

FABRIKA, M., PRETZSCH, H., *Analýza a modelovanie lesných ekosystémov*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. ISBN 978-80-228-2181-0.

FILELLA, I. *Reflectance assessment of seasonal and annual changes in biomass and CO₂ uptake of a Mediterranean shrubland submitted to experimental warming and drought*. Remote Sensing of Environment. 2004-04-15, vol. 90, issue 3, s. 308-318. DOI: 10.1016/j.rse.2004.01.010. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425704000112>

FRANK, A. B., and J. F. KARN. "Vegetation indices, CO₂ flux, and biomass for Northern Plains grasslands." Journal of range management (2003): 382-387.

GLOSER, J. *Fyziologie rostlin: RŮST A VÝVOJ* [online]. Brno, 1998 [cit. 2015-08-05]. Dostupné z: http://www.sci.muni.cz/~fyzrost/part_03.pdf. Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta.

GRASSI, Giacomo. *Overview of Land Use, Land Use Change and Forestry sector (LULUCF) in EU* [online]. 2010 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/clima/events/docs/0029/overview_en.pdf

GUTH, Jiří; KUČERA, Tomáš. Monitorování změn krajinného pokryvu s využitím DPZ a GIS. *Příroda* [online]. 1997, (10): 13 [cit. 2015-08-06]. Dostupné z: <http://users.prf.jcu.cz/kucert00/LE/TEXTY/landcov.pdf>

HERNANDEZ, R.P. *Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes*. 2004. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2004.

HONKOVÁ, Monika. *Mapování vegetace s využitím spektrálních indexů* [online]. Brno, 2008 [cit. 2015-07-07]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/106116/prif_m/DP_-_Mapovani_vegetace_s_vyuzitim_spektralnich_indexu.pdf. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav. Vedoucí práce Doc. RNDr. Petr Dobrovolný, CSc.

INDROVÁ, Magdaléna. *Srovnání možností software Dyna-Clue a Land Change modeler pro predikční modelování suburbánního rozvoje modelového území v zázemí Prahy*. Praha 2012. Diplomová práce. Katedra apl. geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze.

JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. 1. vyd. Praha: Powerprint, 2012, 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.

JOSKA, M. *MODELOVÁNÍ VYUŽITÍ ZEMĚ POMOCÍ NÁSTROJŮ MARXAN A CLUE*. Olomouc, 2014. Dostupné z: http://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/bakalarske/joska14/download/joska_bcp.pdf. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.

KADLEC, Václav. *Navrhování technických protierozních opatření: metodika*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2014, 101 s. ISBN 978-80-87361-29-0.

KUROWSKÁ, Naděžda. *Růst a vývoj rostlin* [online]. [cit. 2015-08-05]. Dostupné z: <http://www.gsos.cz/man/biola/pk.Z-P11-1-R%C5%AFst%20a%20v%C3%BDvoj%20rostlin.pdf>

KŘEN, J. a kol., *Possibilities of cereal canopy assessment by using the NDVI*. In Precision agriculture '09. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2009, s. 151--158. ISBN 978-90-8686-113-2..

LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KŘEN. *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. 34 s. ISBN 978-80-7375-562-1.

LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KŘEN. *Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. 45 s. ISBN 978-80-7375-686-4.

MACOUNOVÁ, Kristina. *Vztah asimilační plochy lesních porostů k intercepci ve vybraných povodích* [online]. Praha, 2014 [cit. 2015-07-07]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/66919/?lang=en>. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie. Vedoucí práce Mgr. Lukáš Vlček.

MAREK, Michal V. *Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2011, 253 s. Živá příroda. ISBN 978-80-904351-1-7.

MAS, Jean-François; KOLB, Melanie; PAEGELOW, Martin; OLMEDO, Maria Camacho; HOUET, Thomas. *Modelling Land use / cover changes: a comparison of conceptual approaches and softwares*. Environmental Modelling and Software, Elsevier, 2014, 51, pp.94-111. <10.1016/j.envsoft.2013.09.010>. <halshs-00905375>

McKENZIE, E., A. ROSENTHAL et al. (2012). *Developing scenarios to assess ecosystem service tradeoffs: Guidance and case studies for InVEST users*. World Wildlife Fund, Washington, D.C.

MIKITA, Tomáš; PATOČKA, Zdeněk; SOBOL, Jan. *Výpočet indexu listové plochy (LAI) v lesních porostech na základě dat leteckého laserového skenování v podmínkách České republiky*. Zprávy lesnického výzkumu [online]. 2014, (59) [cit. 2015-07-07]. Dostupné z: <http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/364.pdf>

MISTR, Martin, Hana KRISTENOVÁ a Jana SMOLÍKOVÁ. *Protierozní kalkulačka: nástroj pro posouzení erozní ohroženosti půd na základě prostorových dat*. VÚMOP, v.v.i., 2014. Dostupné také z: http://geoportal.vumop.cz/poster/pdf/kalkulacka_2014.pdf

NÁTR L: *Koncentrace CO₂ a rostliny*. Nakladatelství ISV. Praha. 2000. ISBN 80-85866-62-5.

NEDBAL, R. *MODELOVÁNÍ VYUŽITÍ ZEMĚ POMOCÍ NÁSTROJŮ GEOMOD A LAND CHANGE MODELER*. Olomouc, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.

PAVLENDOVÁ, Hana. *Odvozenie indexu listovej plochy (LAI) z MODISu a možnosti využitia v modelovaní vybraných procesov v lesných ekosystémoch* [online]. In: . Národné lesnícke centrum Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2007 [cit. 2015-07-07]. Dostupné z: <http://www.nlcsk.sk/files/1677.pdf>

PECHANEC, Vilém. *Rozbor stávajících modelů pro ekosystémové funkce a služby*. In: Metody vytváření scénářů dopadů globální změny na využití území a modelování funkčního vztahu mezi změnami ve využití území a poskytováním ekosystémových služeb. In print A.

PECHANEC, Vilém. *Rozbor možností a nástrojů pro modelování budoucího využití země*. Metody vytváření scénářů dopadů globální změny na využití území a modelování funkčního vztahu mezi změnami ve využití území a poskytováním ekosystémových služeb. In print B.

PECHANEC, Vilém. *Senzorové systémy a jejich integrace s GIS v environmentálních aplikacích*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014a. ISBN 978-80-244-3944-0.

PECHANEC, Vilém. *LULC*. 2014b. Olomouc. Učební texty k předmětu GIT v environmentálních aplikacích, katedra Geoinformatiky, Univerzita Palackého v Olomouci

RECKLEBEN, Y. (2011): *N-Sensoren seit zwölf Jahren im praktischen Einsatz: Optimierung der Stickstoffdüngung auf gutem Weg*. Baurenblatt, pp. 46-49.

SKIDMOR, Andrew. *Environmental modelling with GIS and remote sensing*. London: Taylor & Francis, 2002, xviii, 268 s. ISBN 0415241707.

SKIPALOVÁ, Adéla. *EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ BIOLOGICKÉHO OŽIVENÍ VODY Z MULTISPEKTRÁLNÍCH DAT*. Olomouc, 2013. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouc. Vedoucí práce RNDr. Jakub Miřijovský.

STAGAKIS, S., MARKOS, N., SYKIOTI, O., KYPARISSIS, A. (2010): *Monitoring canopy biophysical and biochemical parameters in ecosystem scale using satellite hyperspectral imagery: An application on a Phlomis fruticosa Mediterranean ecosystem using multiangular CHRIS/PROBA observations*. Remote Sensing of Environment 114: 977-994.

T9 Land cover. *Assessment of the status of the development of the standards for the terrestrial essential climate variables*. 2008. GTOS 64.
<http://www.fao.org/gtos/doc/ECVs/T09/T09.pdf>

T11 LAI. *Assessment of the status of the development of the standards for the terrestrial essential climate variables*. 2009. GTOS 66.
<http://www.fao.org/gtos/doc/ECVs/T11/T11.pdf>

T12 Biomass. *Assessment of the status of the development of standards for the terrestrial essential climate variables*. 2008. GTOS 67.
<http://www.fao.org/gtos/doc/ECVs/T12/T12.pdf>

THORNTON, P.E. *User's Guide for Biome-BGC, Version 4.1.1* [online]. 2000 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
ftp://daac.ornl.gov/data/model_archive/BIOME_BGC/biome_bgc_4.1.1/comp/bgc_users_guide_411.pdf

VOŽENÍLEK, V.: *Diplomové práce z geoinformatiky*. Olomouc, UP, 2002, 61 s

WILLIAMS, J.R., C.A. Jones, and P.T. Dyke. 1990. *The EPIC model documentation*. USDA-ARS Technical Bulletin No. 1768. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. pp. 3-9

WILLIAMS, J.R. a kol. *Historical Development and Applications of the EPIC and APEX Models*. [online]. 2005 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
<http://www.card.iastate.edu/publications/synopsis.aspx?id=763>

WYLIE, B.K. a kol. 2003. *Calibration of remotely sensed, coarse resolution NDVI to CO₂ fluxes in a sagebrush-steppe ecosystem*. Remote Sens. Environ. [online]. (85): 243–255

ZACHAR, Dušan.: *Erózia pôdy*. 1. vydání. Bratislava: Vydavateľ'stvo Slovenskej akadémie vied v Bratislave, 1960 (ve slovenštině).

ZEMAN, M. *Tvorba růstových tabulek* [online]. 2006 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://oryx.mendelu.cz/honza/nop/images/stories/nopka/9/RT.pdf>. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta.

ZHONGMING, Wen, et al. *Stratified vegetation cover index: A new way to assess vegetation impact on soil erosion*. Catena, 2010, 83.1: 87-93.

INTERNETOVÉ ZDROJE

ARCDATA Praha: Geografické informační systémy (GIS) [online]. 2015 [cit. 2015-0-04]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz>

CARD: Interactive Software Programs [online]. 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: http://www.card.iastate.edu/environment/interactive_programs.aspx

Corine Land Cover: Copernicus Programme [online]. 2015 [cit. 2015-07-18]. Dostupné z: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

ECH2O Utility [online]. 2015. [cit. 2015-07-04]. Dostupné z: <http://www.decagon.com/products/data-management/software/ech2o-utility/>

EISBRENNE, Katja. Land use, land use change and forestry [online]. 2009 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.ecofys.com/files/files/serpec_lulucf_report.pdf

EoPortal DIRECTORY: Satellite Missions Database [online]. 2015 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>

EPIC & APEX Models [online]. Texas A&M AgriLife Research, 2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://epicapex.tamu.edu/>

EPIC - User's manual: Version 0810 [online]. Blackland Research and Extension Center, 2013 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://epicapex.tamu.edu/files/2014/10/EPIC.0810-User-Manual.pdf>

Erdas IMAGINE [online]. 2015. [cit. 2015-07-04]. Dostupné z:
<http://www.hexagongeospatial.com/products/remote-sensing/erdas-imagine/overview>

ESA - Copernicus [online]. 2015 [cit. 2015-03-29]. Dostupné
z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

Forest Growth Models [online]. 2004-2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné
z: <http://models.etiennethomassen.com/>

Idrisi [online]. 2015. [cit. 2015-07-04]. Dostupné z:
<http://www.clarklabs.org/products/terrset.cfm>

InVEST User Guide [online]. 2015 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z:
http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/release_default/release_default/documentation/#

InVEST WEB [online]. 2015. [cit. 2015-07-04]. Dostupné z:
<http://www.naturalcapitalproject.org/models/models.html>

LAI: Theory and Practice [online]. 2014. USA: Decagon Devices, Inc. [cit. 2015-05-07].
Dostupné z:
http://manuals.decagon.com/Application%20Guides/Leaf%20Area%20Index_Web.pdf

LANDSAT missions [online]. 2015 [cit. 2015-03-29]. Dostupné
z: <http://landsat.usgs.gov/index.php>

MODIS [online]. 2015 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

MOLUSCE help [online]. 2014 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z:
<https://hub.qgis.org/projects/molusce/wiki>

PixelWRENCH 2: Tetracam, Inc. [online]. 2011. [cit. 2015-07-04]. Dostupné z:
<http://www.naturalcapitalproject.org/models/models.html>

QGIS: Wikipedie [online]. 2015. [cit. 2015-07-04]. Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/QGIS>

REDD: WildLife Works [online]. 2015 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z:
<http://www.wildlifeworks.com/redd/>

Sentinel-2: The Optical Imaging Mission for Land Services [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2>

Sensors [online]. Belgian Earth Observation Platform, 2013 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://eo.belspo.be/Directory/Sensors.aspx>

SILVISIM HELP. Institute of Forest Ecosystem Research Ltd., 2003 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.ifer.cz/page/?verze=cz&page=downloads&id=>

SPOT VEGETATION [online]. 20.1.2015 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.spot-vegetation.com>

SRS: Spectral Reflectance Sensor- Operator's Manual. In: [online]. 2014. vyd. [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: http://manuals.decagon.com/Manuals/14597_SRS_Web.pdf

SRS WEB [online]. 2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.decagon.com/products/canopy-atmosphere/canopy-measurements/srs-spectral-reflectance-sensor-ndvi-pri/>

Tetracam - ADC. [online]. 2011 [cit. 2015-07-07]. Dostupné z: <http://www.tetracam.com/Products-ADC.htm>

PŘÍLOHY

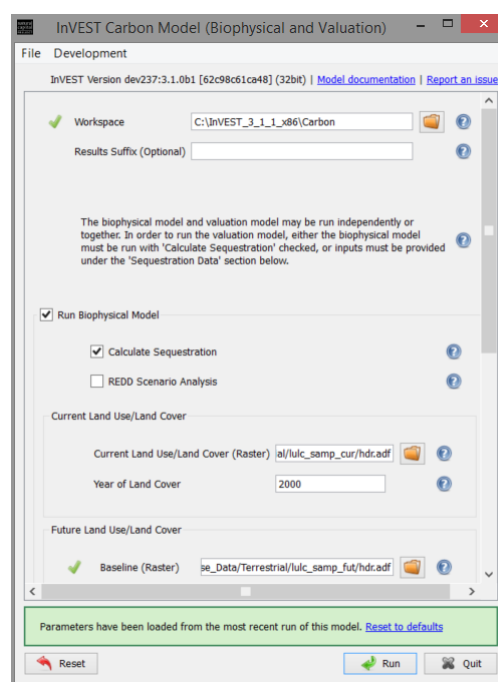
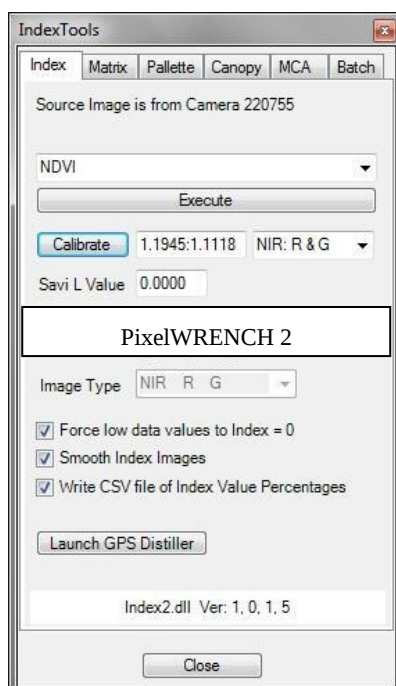
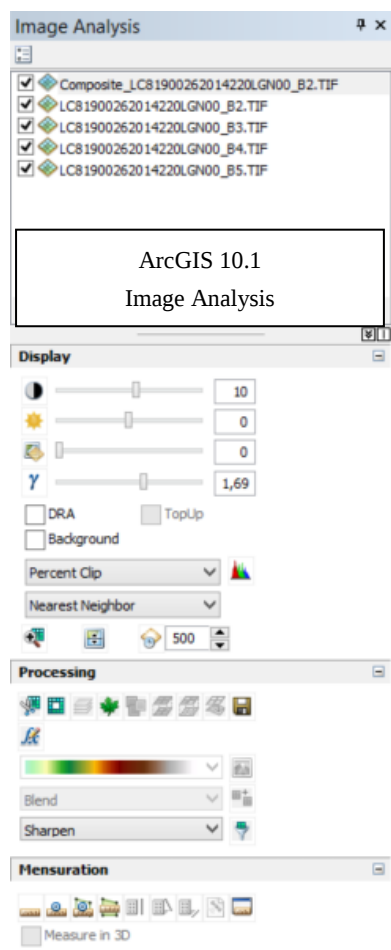
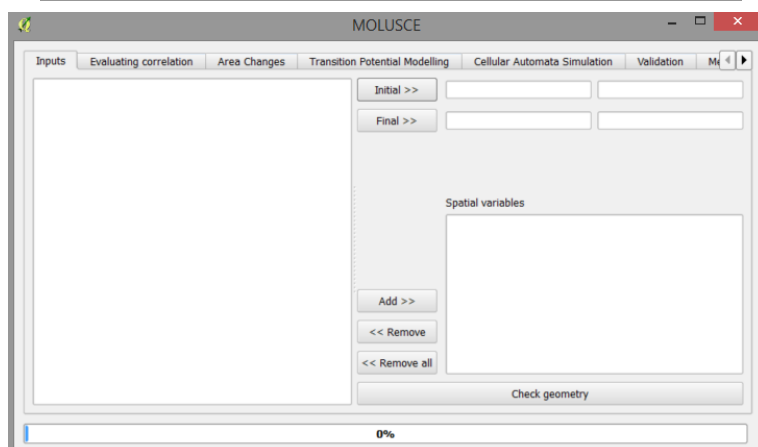
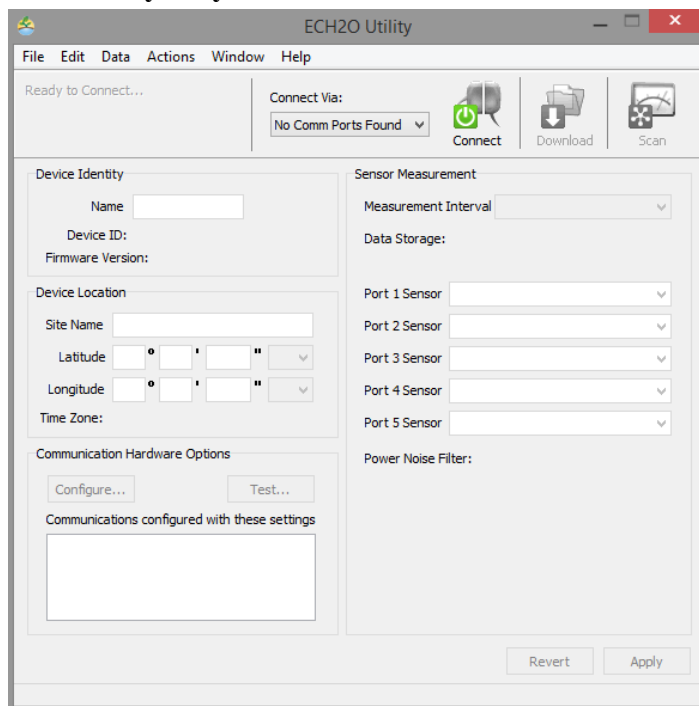
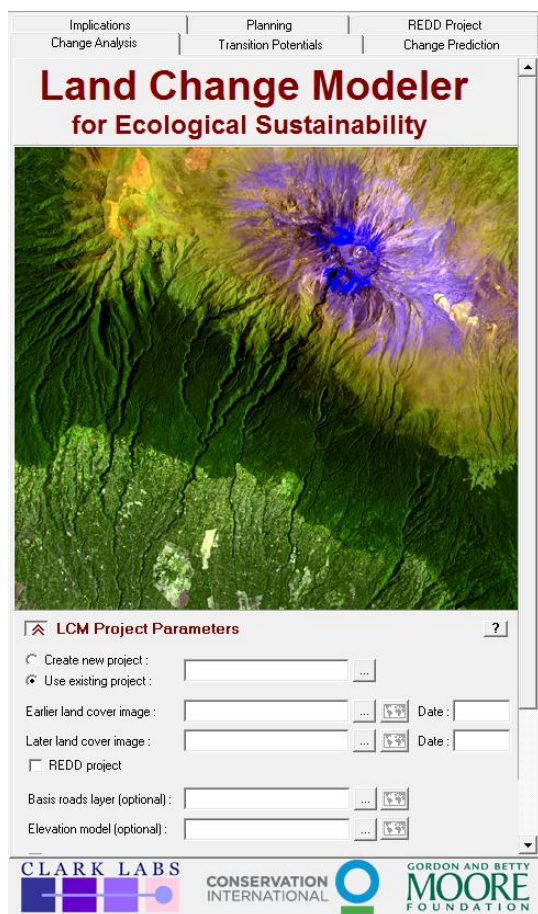
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Přehled uživatelských rozhraní využitých softwarů
- Příloha 2 Popis a náhled uživatelského rozhraní pro vybrané stahovací služby
- Příloha 3 Srovnání horizontálních modelů
- Příloha 4 Přehled měření NDVI pro vybrané typy
- Příloha 5 Tabelární a grafické výstupy měření NDVI pomocí SRS dle různých faktorů
- Příloha 6 Detailní výsledky změn po horizontálním modelování LCM

Volné přílohy

- Příloha 7 Přehled senzorů pro obrazové multispektrální snímkování
- Příloha 8 Přehled růstových modelů
- Příloha 9 mapa: Množství uloženého uhlíku v povodí Dřevnice a Olšavy
- Příloha 10 CD

PŘÍLOHA 1 – Přehled uživatelských rozhraní využitých softwarů



PŘÍLOHA 2 - Popis a náhled uživatelského rozhraní pro vybrané stahovací služby

CARTERRA – GeoEye

- prostředí pro stahování snímků ze satelitu Ikonos 1, OrbView 3, IRS 1C/1D, atd.
- <http://carterraonline.spaceimaging.com> – aktuálně mimo provoz (duben 2015)

DataPool – USGS

- DataPool je online archiv satelitních snímků družicového systému ASTER (pro USA) a MODIS (globální), ke kterému se přistupuje pomocí FTP v rámci služby LP DAAC. Všechna obsažená data jsou dostupná pro uživatele zdarma. K dispozici je i jednoduchá prohlížečka LP DAAC2Disk, díky které lze lépe vyhledávat zájmové snímky.
- https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool

DESCW – ESA

- DESCW je offlinový katalog obsahující snímky z ERS, Envisat a jiných misí Evropské vesmírné agentury. Služba poskytuje uživatelům informace o dostupnosti dat v daném časovém intervalu a pro určité místo. Přes DESCW je možné formulovat objednávku dat.

DigitalGlobe Image Librabry – DigitalGlobe

- Archiv snímků pro QuickBird. Služba umožňuje výběr snímků a vytvoření objednávky. Snímky přes tuto službu nejsou zdarma. DigitalGlobe provozuje dva podarchívy – ImageFinder pro QuickBird, WorldView, GeoEye-1 a GeoFUSE pro Ikonos.
- <https://www.digitalglobe.com/>

DLR EoWeb – DLR (German Aerospace Center)

- Uživatelské rozhraní umožňuje vyhledávat data, procházet jednotlivé snímky z pozorování Země, objednávat data a načítat je online. V současnosti probíhá oprava ne geoportal.
- <http://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-8799/>

DGI/INPE's Image Database – National Institute of Space Research

- Uživatelům databáze poskytuje snímky ze satelitů Landsat-1-7, ResourceSat 1-2 a CBERS2 (China-Brazil Environment Resources Satellite). Stahování snímků je možné pro registrované.
- <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

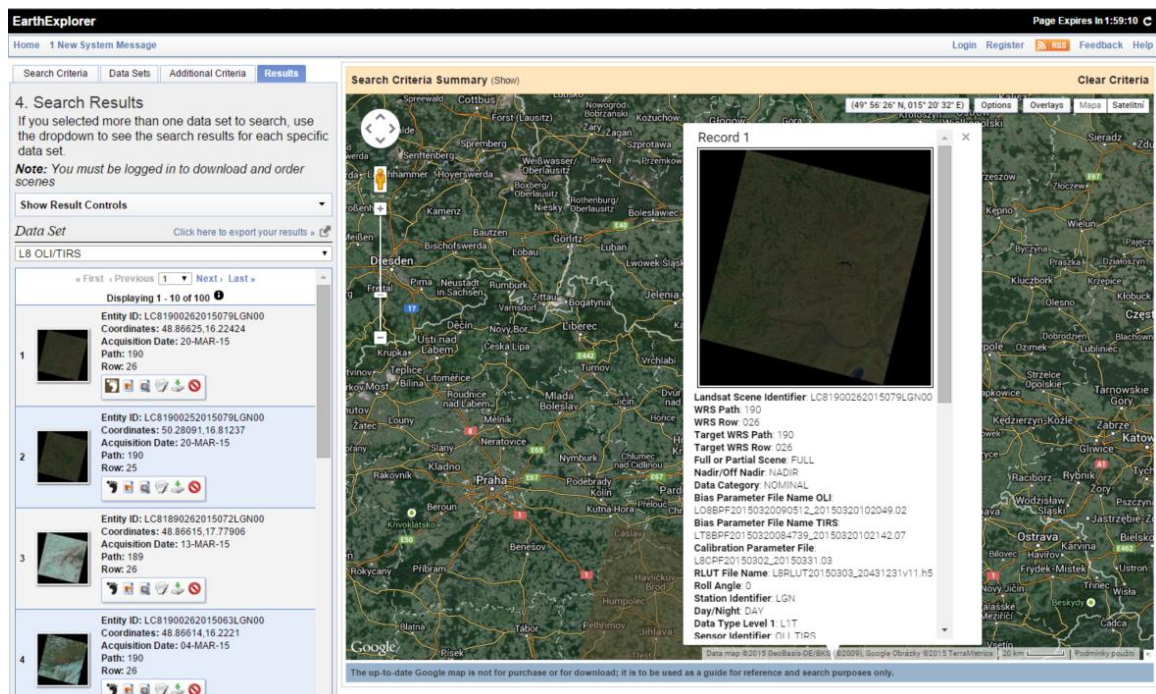
The form is titled 'INPE' and contains several sections for searching satellite data:

- Basic Parameters:** Includes dropdowns for Satellite and Instrument, a checkbox for Seasonal, date pickers for From (29/05/1973) and To (23/03/2015), and dropdowns for Maximum Cloud Cover (Q1, Q2, Q3, Q4). There are also radio buttons for Quick Look (Small, Big).
- Passage Mosaic:** Includes date pickers, a Path input, and dropdowns for City and State, each with an 'Execute' button.
- By Region:** Includes input fields for North, South, West, and East coordinates, each with an 'Execute' button.
- Map Interface:** Includes input fields for Latitude (Lat -17) and Longitude (Lon -48), with a 'Navigate' button.

Obr. 11.1: Formulář pro vyhledávání v DGI/INPE's Image Database

Earth Explorer – USGS

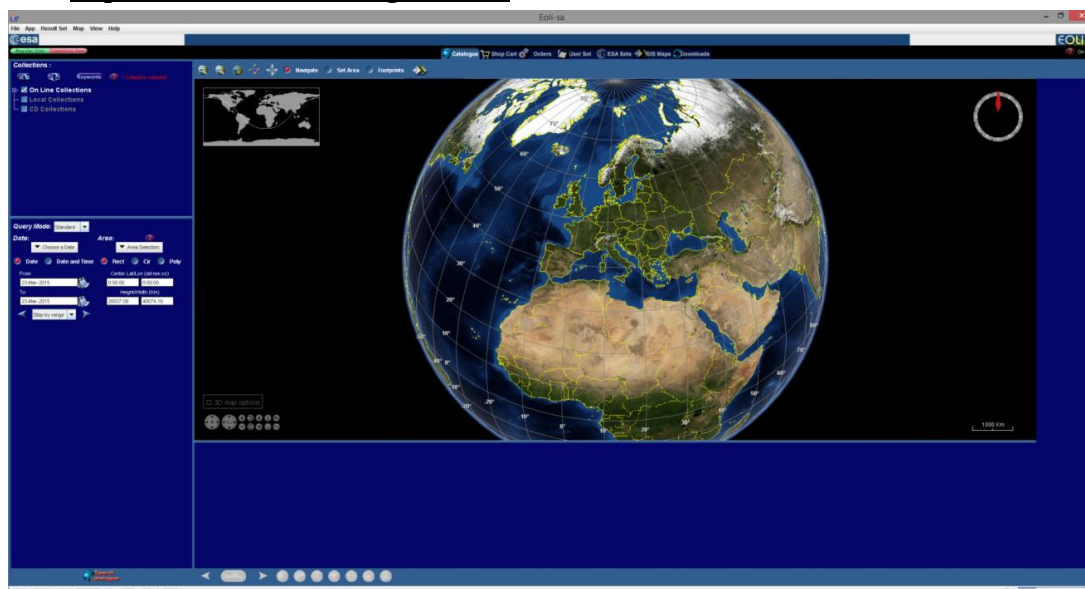
- Dotazování, objednání a stahování satelitních snímků, leteckých snímků a kartografických produktů z U. S. Geological Survey. Množství snímků poskytovaných zdarma z EO-1, Landsat, Spot, SIR-C, AVHRR, MODIS). V prohlížeči je umožněna registrace, která otevře pro uživatele více funkcí.
- <http://earthexplorer.usgs.gov/>



Obr. 11.2: Uživatelské rozhraní Earth Explorer

EOLI – ESA

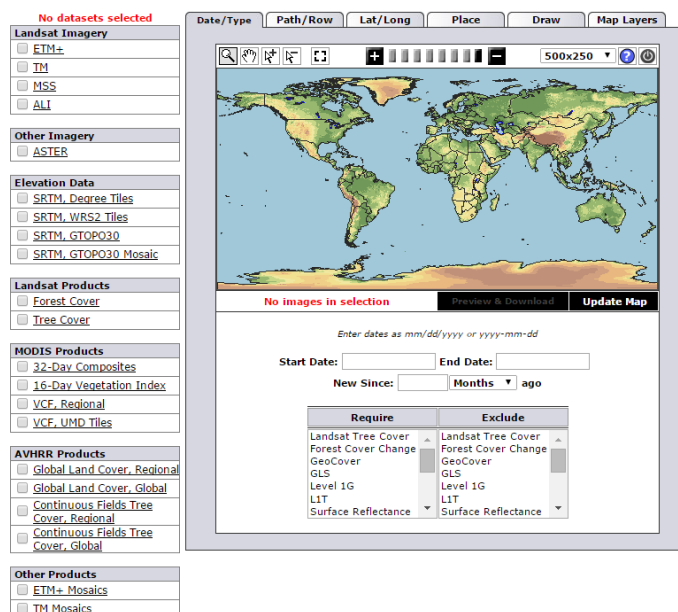
- Klient v sobě zahrnuje offline i online řešení. Umožňuje vizualizaci rychlých náhledů a online objednání snímků vyhledané pomocí prostorových dotazů. Uživatel může procházet metadata ze satelitů Envisat, ERS, Landsat, Ikonos, ALOS, DMC, Proba, SPOT, Kompsat, IRS.
- <https://earth.esa.int/web/guest/eoli>



Obr. 11.3: Uživatelské rozhraní EOLI offline

Global Inventory Modeling and Mapping Studies

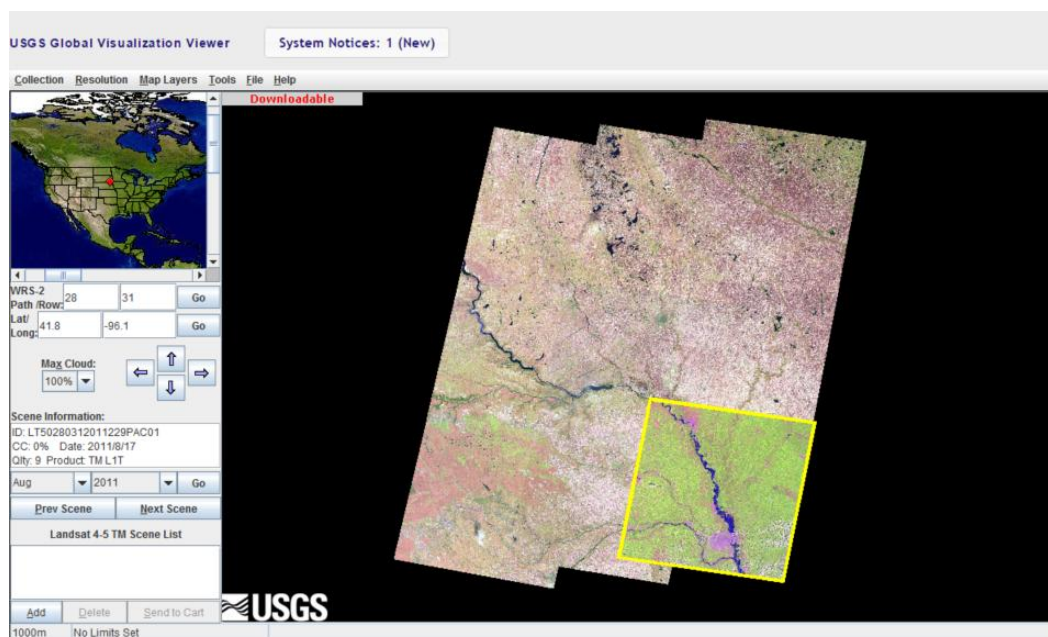
- GIMMS spravuje datovou sadu obsahující měsíční kompozice NDVI, který je odvozen hlavně ze senzoru AVHRR družice NOAA pro období 1981-2003. Data s prostorovým rozlišením 8km pokrývají celou Zemi kromě Antarktidy, Grónska.
- <http://gimms.gsfc.nasa.gov/> nebo <http://glcf.umd.edu/data/gimms/>



Obr. 11.4: Uživatelské rozhraní portálu ESDI pro GIMMS

GLOVIS - USGS

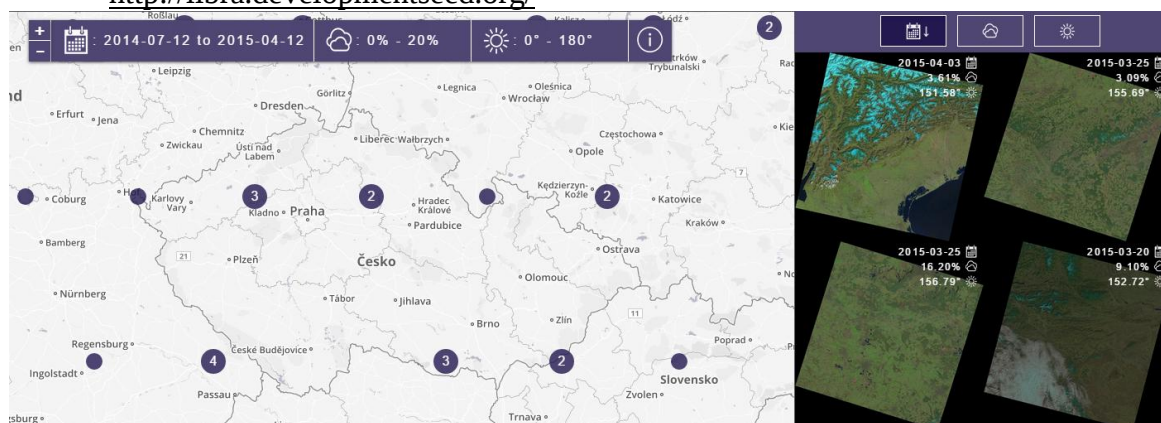
- Global Visualization Viewre (GLOVIS) od USGS je rychlý a jednoduchý online vyhledávací klient pro satelitní data ASTER, Landsat, MODIS, EO-1, MRLC a další. Prostřednictvím grafického zobrazení mapy, uživatel může vybrat jakoukoliv oblast zájmu a okamžitě zobrazit všechny dostupné snímky. Dále klient obsahuje již tradiční funkce jako limit oblačnosti, datumové omezení, seznam scén a metadata.
- <http://glovis.usgs.gov/>



Obr. 11.5: Uživatelské rozhraní GLOVIS

LIBRA - DevelopmentSEED

- Libra je webová služba umožňující prohlížení, filtrování a stahování veřejných snímků ze satelitu LANDSAT 8. Prohlížeč umožňuje filtraci dle časového období, oblačnosti či úhlu slunečního záření. K dispozici jsou snímky ve vybraných pásmech nebo celá sada georeferencovaná na WGS84 Web-Mercator (EPSG: 3857). Mapový portál je postaven nad knihovnou Leaflet.
- <http://libra.developmentseed.org/>



Obr. 11.6: Uživatelské rozhraní portalu LIBRA

NOAA Archive - NOAA

- Webový formulář, který umožňuje vyhledat snímky z vybraného senzoru pro určité území. Nejedná se o uživatelsky přívětivé řešení. Nevýhodou je slabá možnost zobrazení snímků, nutná registrace a složitost celého systému.
- <http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome>

MODIS LAND – NASA/USGS

- K dispozici jsou snímky ze senzorů na družicích Terra a Aqua, tematické snímky s vegetačními indexy NDVI a EVI v 16-denních či měsíčních globálních kompozicích s prostorovým rozlišením 250m, 500m a 1km. MODIS NDVI navazuje na datový sklad globálních snímků NDVI ze senzoru NOAA-AVHRR a umožňuje dlouhodobé analýzy, ačkoliv s malým prostorovým rozlišením. MODIS EVI lépe vyjadřuje vegetaci s vysokým množstvím biomasy.
- <http://modis-land.gsfc.nasa.gov>
- https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table

Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center

- ORNL DAAC shromažďuje množství prostorových, časových a tabelárních dat globálního i lokálního měřítka z oblastí biologie, chemie, geografie a ekologie. Pro mapování vegetace jsou zde uloženy hodnoty NDVI a LAI a popisy modelů sloužící k výzkumu životního prostředí. Databáze obsahuje satelitní snímky z MODIS, AVHRR a LANDSAT. Archivní databáze je sponzorována soukromými i státními subjekty, proto jsou datové sady a modely po přihlášení zdarma ke stažení.
- <http://daac.ornl.gov>

The Global Land Cover Facility

- Geoportal prezentující řadu dat a produktů z oblasti landcover a hodnocení jeho změn. Data jsou volně stažitelná.
- www.landcover.org

VEGETATION Catalogue - VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek)

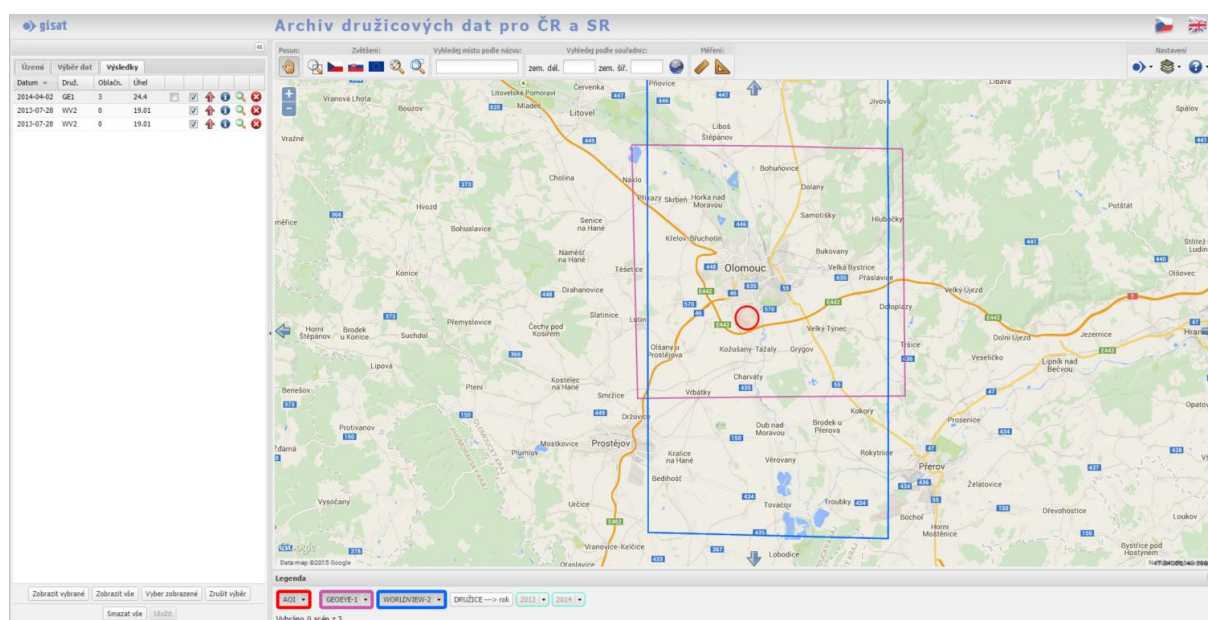
- Uživatelé poskytují přístup do databáze vegetačních snímků a nástroje pro stažení vzorový dat. V případě, že má uživatel registraci u produktů SPOT, může online objednat některé standardní vegetační produkty. K dispozici je desetidenní zkušební přístup k syntetickým produktům.
- <http://www.vgt.vito.be/pages/catalogue.html>

Sovinformsputnik Catalog – RSA Sovinformsputnik

- Databáze obsahující satelitní snímky s vysokým rozlišením z KVR-1000, KFA-1000, MK-4. Aktuálně katalog není veřejný a v provozu.
- <http://catalog.sovinformsputnik.com/>

Katalog archivních družicových dat – GISAT

- Na závěr přehledu český zástupce, který umožňuje prohlížení satelitních dat vysokého rozlišení z IKONOS, QuickBird, OrbView-3, WorldView-1, GeoEye-1, WorldView-2, Pleiades, Spot 6. Aplikace obsahuje všechna data pro území České republiky a Slovenské republiky. Data nejsou volně stažitelná, ale aplikace umožní získat podrobné informace o snímcích pro následné objednání.
- <http://vhrcatalog.gisat.cz/>



Obr. 11.7: Uživatelské rozhraní služby GISAT

Příloha 3 - Srovnání horizontálních modelů

Tab. 11.1: Srovnání vybraných horizontálních modelů (Mas, 2014)

	CA_MARKOV	CLUE-S	DINAMICA	LCM
TYP ZMĚNY				
Markov	ANO	NE	ANO	ANO
Snadná implementace alternativy	NE	ANO	ANO	ANO
VYHODNOCENÍ POTENCIÁLNÍ ZMĚNY				
Statistické vyhodnocení dat	-	Logistická regrese	W of E	MLP, SimWeight
Řízené strojové učení	-	-	Genetické algoritmy	Logistická regrese
Znalostní řízení	MCE	-	Váhové srovnání	-
SIMULACE				
Prostorové rozložení změn	Multiobjektové přiřazení	Dynamické modelování pořadí	Stochastický výběrový algoritmus	Multiobjektové přiřazení
REPRODUKCE ČASOVÝ A PROSTOROVÝCH VZORŮ				
Simulace krajinných vzorů	CA	Volitelné prostorové filtry	CA	-
Pobyťový čas	Snadno implementovaný	ANO	Snadno implementovaný	NO
Omezení	Přes vhodnostní mapy	ANO	ANO	ANO
ODHAD				
Hodnocení modelu	ROC, Kappa	ROC (mimo Clue)	Fuzzy podobnostní index	ROC, Kappa
Snadná implementace alternativy	ANO	Mimo Clue	ANO	ANO
POKROČILÉ MOŽNOSTI				
Podoblasti	Běh nezávislých modelů	Běh nezávisl. modelů	ANO	NE
Dynamické proměnné	NE	ANO	ANO	ANO
Dynamické hodnoty změny	zřetězení	externě	Externě, interní submodel	Zřetězení, přechod.matrice
Silniční modelování	NE	NE	ANO	ANO

Přehled měření NDVI pro vybrané typy

1) Travní porosty

Travní porost s
opadáním listů

10. 11. 2014	0,4
12. 11. 2014	0,265
15. 11. 2014	0,367

Posekaná tráva
(sekána 7.11.2014)

10. 11. 2014	0,756
12. 11. 2014	0,597
13. 11. 2014	0,511

Travní porost ve
Smetanových sadech

24. 03. 2015	0,722
29. 03. 2015	0,776

Travní porost ve
Smetanových sadech
(jiná textura)

24. 03. 2015	0,766
29. 03. 2015	0,779

Zarostlý prostor suchou
vegetací

10. 11. 2014	0,284
12. 11. 2014	0,244
15. 11. 2014	0,23
23. 03. 2015	0,208
29. 03. 2015	0,212
31. 03. 2015	0,222

Travní porost u řeky
Moravy

23. 03. 2015	0,621
29. 03. 2015	0,648

Experimentální výsadba
(výsadba v rámci bakalářské práce S.Místecký)T1 - zahradnický substrát,
travní semeno

10. 11. 2014	0,778
12. 11. 2014	0,733
13. 11. 2014	0,755
27. 11. 2014	0,612

T2 - zahradnický substrát,
jetel

05. 11. 2014	0,841
10. 11. 2014	0,814
12. 11. 2014	0,856
13. 11. 2014	0,824
27. 11. 2014	0,712

T3 - zahradnický substrát,
pšenice

10. 11. 2014	0,544
12. 11. 2014	0,594
13. 11. 2014	0,55
27. 11. 2014	0,583

T4 - zemědělská půda,
travní semeno

10. 11. 2014	0,595
12. 11. 2014	0,73
13. 11. 2014	0,764
27. 11. 2014	0,695

T5 - zemědělská půda,
jetel

10. 11. 2014	0,814
12. 11. 2014	0,808
13. 11. 2014	0,824
27. 11. 2014	0,735

T6 - zemědělská půda,
pšenice

10. 11. 2014	0,588
12. 11. 2014	0,55
13. 11. 2014	0,578
27. 11. 2014	0,676

2) Vyšší vegetace

**Jehličnatý keř
(tis)**



24.03.2015 0,84

**Jehličnatý keř
(juniperus)**



24.03.2015 0,829
29.03.2015 0,809

**Jehličnatý strom
(smrk)**



29.03.2015 0,858

**Strom se suchými listy
(dub)**



29.03.2015 0,428

3) Orná půda

**Zorané pole
(v létě 2014 kukuřice)**



10.11.2014 0,27
12.11.2014 0,132
15.11.2014 0,168
23.03.2015 0,114
29.03.2015 0,128
31.03.2015 0,15

4) Další prvky krajiny

Rybník



24.03.2015 -0,121
29.03.2015 -0,076

Řeka Morava



24.03.2015 -0,293
29.03.2015 -0,255

Kamení



24.03.2015 0,063
29.03.2015 0,055

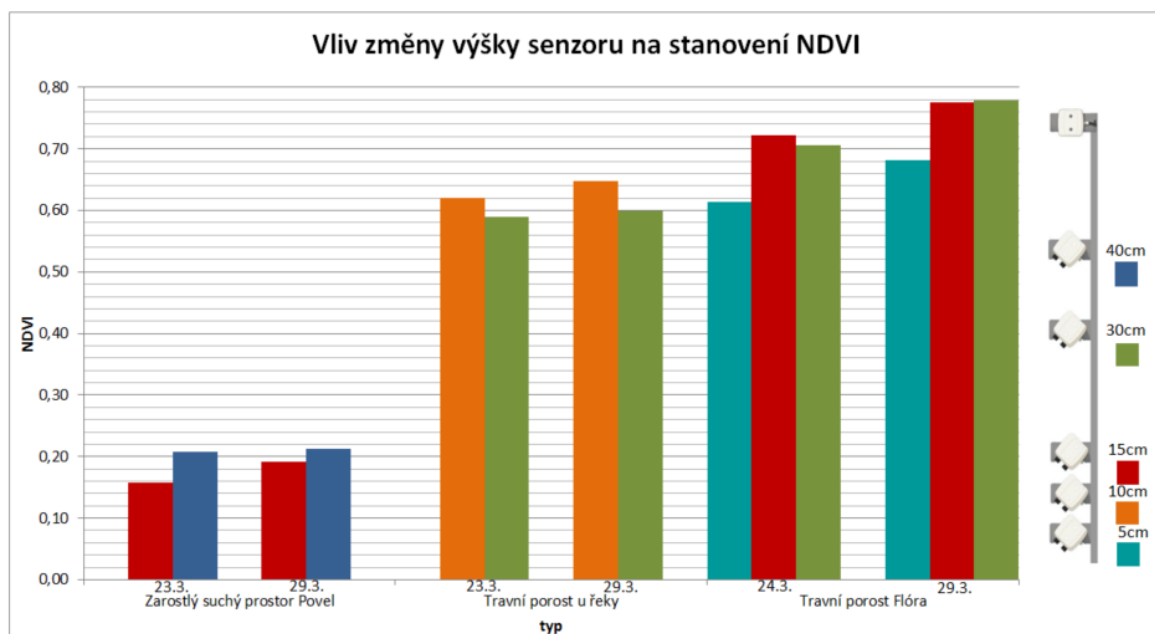
Beton



24.03.2015 0,052
29.03.2015 0,049

PŘÍLOHA 5 - Tabelární a grafické výstupy měření NDVI pomocí SRS dle různých faktorů

Sledování vlivu změny výšky senzoru na NDVI



	Výška nad vegetací	23.3.	24.3.	29.3.
Zarostlý suchý prostor Povel	15	0,157		0,192
	40	0,208		0,212
Travní porost u řeky Moravy	10	0,621		0,648
	30	0,589		0,599
Travní porost v parku Flóra	5		0,613	0,682
	15		0,722	0,776
	30		0,706	0,778

Srovnání SRS senzoru a ADC kamery

	10.11.			27.11.		
	SRS	ADC		SRS	ADC	
Čas	14:00		Rozdíl	13:15		Rozdíl
teplota [°C]	16,5			4		
vlhkost [%]	75			85		
T1	0,778	0,75	0,028	0,612	0,55	0,062
T2	0,814	0,78	0,034	0,712	0,65	0,062
T3	0,544	0,5	0,044	0,583	0,42	0,163
T4	0,595	0,7	-0,105	0,695	0,6	0,095
T5	0,814	0,8	0,014	0,735	0,7	0,035
T6	0,588	0,5	0,088	0,676	0,43	0,246
bílý papír	none	none	none	0,051	0,05	0,001
bílý papír*	none	none	none	0,053	0,035	0,018
kalibrační destička	none	none	none	0,03	0,02	0,01
černý papír	none	none	none	-0,008	-0,9	-0,892

* snímáno ADC kamerou s jinou délkou expozice

* snímáno ADC kamerou s jinou délkou expozice

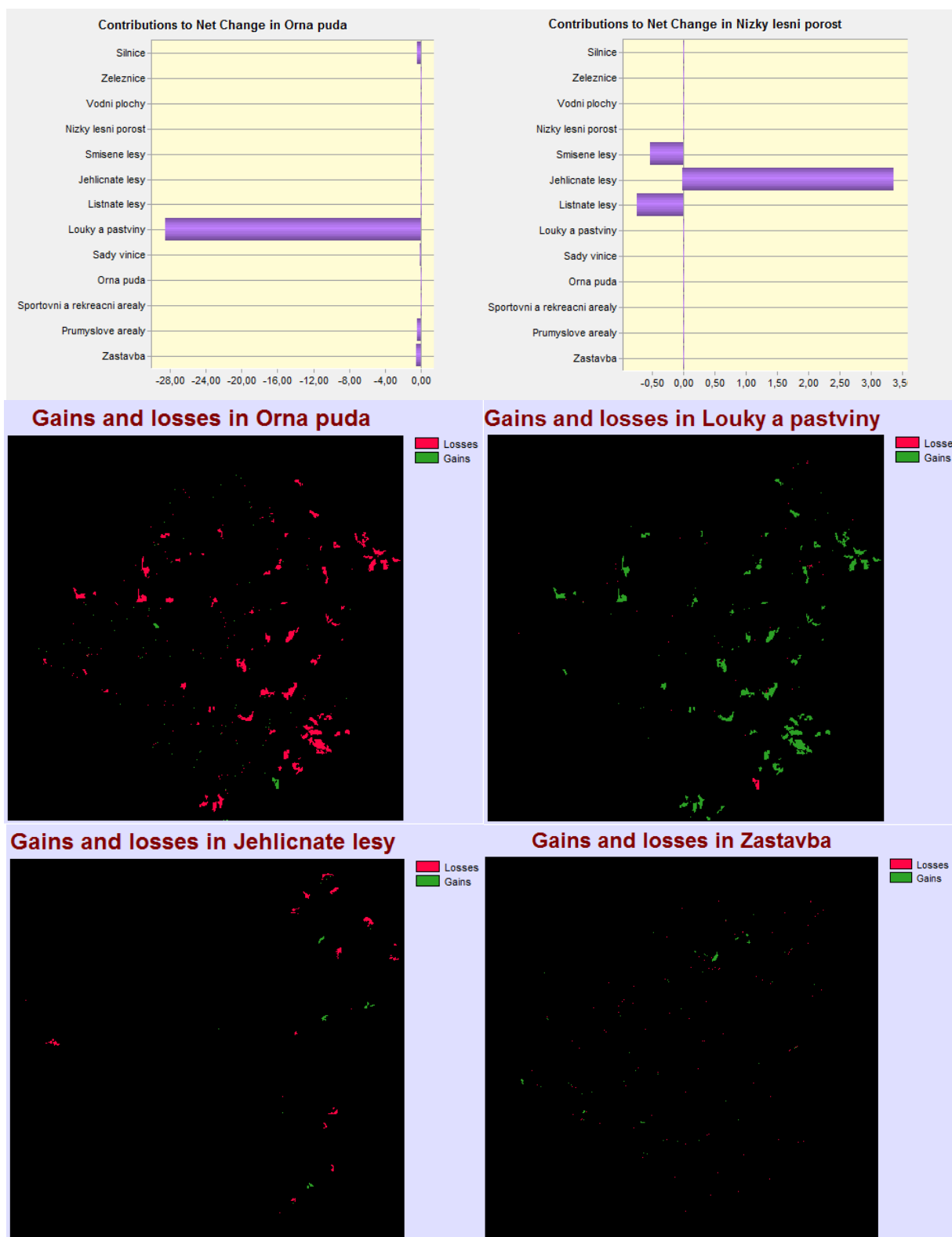
Srovnání zjištěných hodnot z Landsat 7 ETM+, 8 OLI a SRS

	LANDSAT 7 ETM+					
	09.03.2014	06.06.2014	09.08.2014	17.09.2014	12.10.2014	17.02.2015
ZoP	0,16	0,545	0,138	0,097	0,153	0,088
ZP	0,24	0,309	0,378	0,263	0,289	0,165
Řeka	-0,107	-0,02	-0,02	-0,175	-0,53	-0,152
Rybník	-0,179	-0,074	-0,059	-0,059	-0,033	-0,063
Tráva u řeky	0,269	0,323	0,339	0,291	0,319	0,21
Park	0,24	0,554	0,485	0,31	0,288	0,195
Les listnatý	0,21	0,644	0,615	0,421	0,343	0,175

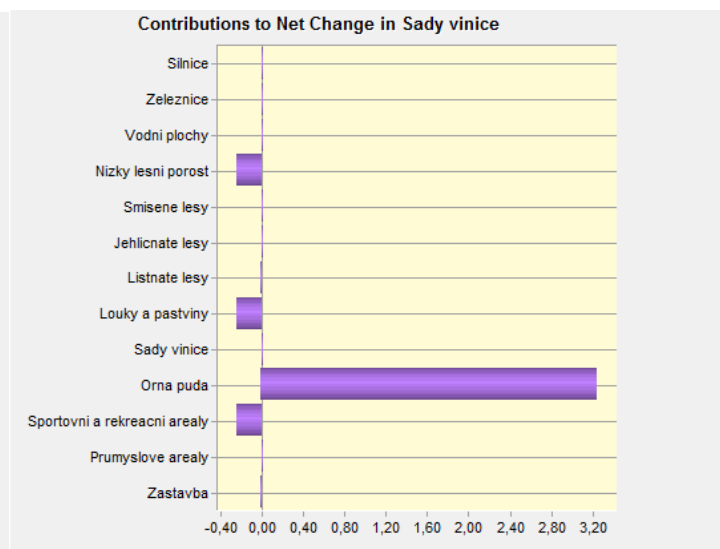
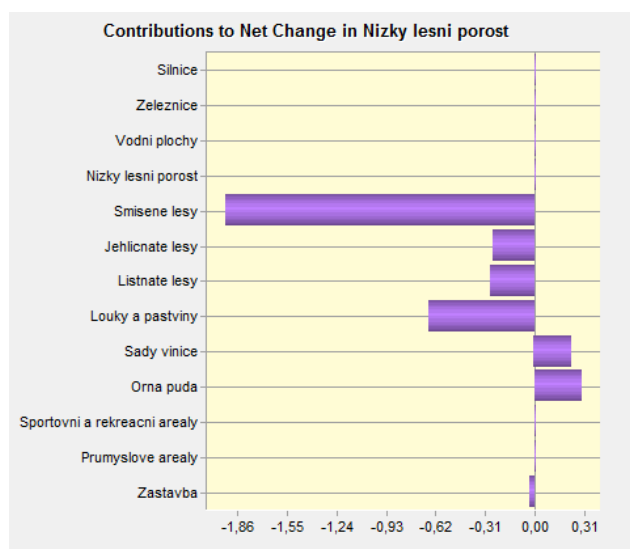
	LANDSAT 8 OLI					
	10.03.2014	20.05.2014	07.07.2014	08.08.2014	05.11.2014	16.02.2015
ZoP	0,144	0,555	0,173	0,122	0,132	0,053
ZP	0,213	0,293	0,369	0,345	0,152	0,173
Řeka	-0,044	-0,04	-0,076	-0,051	-0,021	-0,021
Rybník	-0,065	-0,069	-0,053	-0,01	-0,027	-0,022
Tráva u řeky	0,222	0,375	0,314	0,3	0,269	0,182
Park	0,185	0,441	0,459	0,415	0,18	0,161
Les listnatý	0,225	0,611	0,585	0,53	0,253	0,168

	SRS měření					
	10.11.	12.11.	15.11.	23.3.	29.3.	31.3.
ZoP	0,27	0,132	0,168	0,114	0,128	0,15
ZP	0,284	0,244	0,23	0,208	0,212	0,222
Řeka				-0,293	-0,255	
Rybník				-0,121	-0,076	
Tráva u řeky				0,589	0,599	

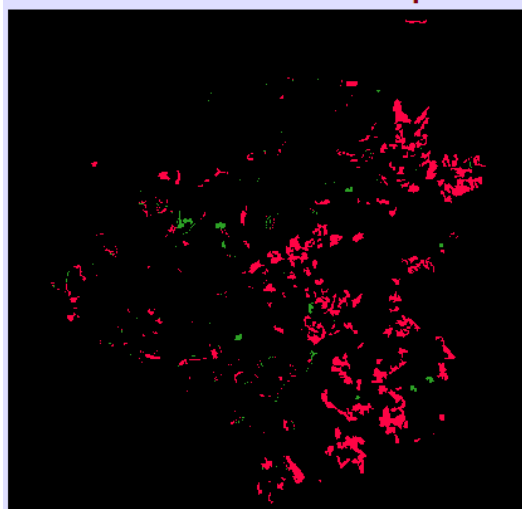
PŘÍLOHA 6 – Detailní výsledky změn po horizontálním modelování LCM
změna krajinného krytu od 1990 do 2000 v povodí Dřevnice a Olšavy
(hodnoty v grafu km²)



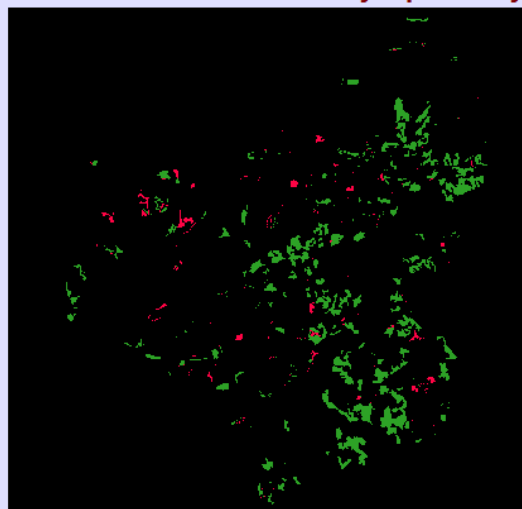
změna krajinného krytu od 2000 do 2012 v povodí Dřevnice a Olšavy



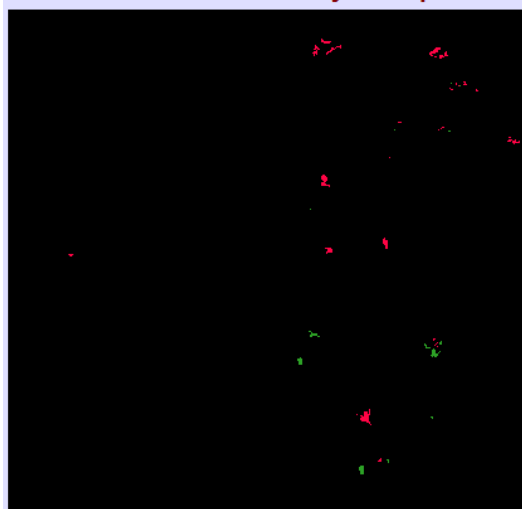
Gains and losses in Orna puda



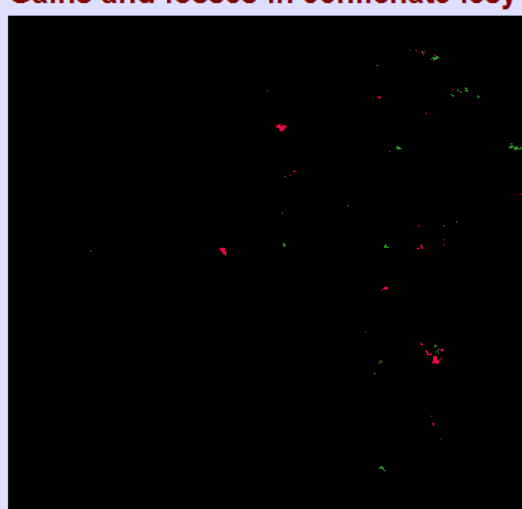
Gains and losses in Louky a pastviny



Gains and losses in Nizky lesni porost



Gains and losses in Jehlicnate lesy



Volné přílohy

Příloha 7 Přehled senzorů pro obrazové multispektrální snímkování

Příloha 8 Přehled růstových modelů

Příloha 9 mapa: Množství uloženého uhlíku v povodí Dřevnice a Olšavy

Příloha 10 CD