

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Antonín BENC

**GEOINFORMATICKÉ ALTERNATIVY
STANOVENÍ C-FAKTORU MODELU RUSLE**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.

Olomouc 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Viléma Pechance, Ph.D.

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

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

V Olomouci 8. květen 2013

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Vilému Pechanci, Ph.D. za poskytnutá data, podněty a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji konzultantu doc. Ing. Dr. Tomáši Dostálovi za poskytnuté studijní materiály a konzultantu RNDr. Jakubu Miřijovskému za poskytnuté snímky zájmové oblasti Vysoké Pole.

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

1.strana

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

2.strana

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 CÍLE PRÁCE.....	10
2 POUŽITÁ DATA A PROGRAMY.....	11
2.1 Data	11
2.2 Programy	13
3 TEORETICKÁ ČÁST	15
3.1 Eroze	15
3.2 Univerzální rovnice ztráty půdy – USLE.....	16
3.2.1 Faktor erozní účinnosti přívalového deště (R).....	18
3.2.2 Faktor erodovatelnosti půdy (K).....	19
3.2.3 Faktor délky a sklonu svahu (L, S).....	19
3.2.4 Faktor ochranného vlivu vegetace (C).....	20
3.2.5 Faktor účinnosti protierozních opatření (P).....	21
3.3 RUSLE	22
3.3.1 Faktor C v modelu RUSLE.....	23
3.3.2 Rozdíly mezi USLE a RUSLE	27
3.4 RUSLE2	29
3.5 GEOINFORMATICKÝ PŘÍSTUP STANOVENÍ VEGETAČNÍHO KRYTU	29
3.5.1 Vegetační indexy	30
3.5.2 Přístup dle De Jong.....	31
3.5.3 Přístup dle J. M. van der Knijff	32
3.5.4 Přístup dle A. Karaburun	34
3.5.5 Přístup dle M. Suriyaprasit a D. P. Shrestha.....	34
3.5.6 Přístup dle S. V. Smith	35
3.5.7 Využití jiných vegetačních indexů	35
3.5.8 Klasifikace obrazu	35
3.5.9 Linear Spectral Mixture Analysis.....	36
3.5.10 Vegetační kryt na hyperspektrálních snímcích.....	37
3.5.11 Další přístupy.....	37
4 PRAKTICKÁ ČÁST.....	38
4.1 Porovnání přístupů nad snímky z Landsat TM	38
4.2 Zjištění C-faktoru ze snímků z ADC	44
4.3 C-faktor u hyperspektrálních snímků.....	47
5 DISKUZE	51
ZÁVĚR	

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE
SEZNAM ODKAZŮ
SUMMARY
PŘÍLOHY

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
BPEJ	Bonitovaná Půdně Ekologická Jednotka
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DPZ	dálkový průzkum Země
GIS	geografický informační systém
LAI	Leaf Area Index (index listové pokrývnosti)
LSMA	Linear Spectral Mixture Analysis
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
mNDVI	modified Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NRCS	Natural Resources Conservation Service
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation (Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy)
TM	Thematic Mapper
SAVI	Soil-adjusted Vegetation Index
SATVI	Soil-adjusted Total Vegetation Index
SLR	Soil-loss ratio (Poměr ztráty půdy)
SWIR	Short-Wavelength Infrared
USDA	United States Department of Agriculture
USLE	Universal Soil Loss Equation (Univerzální rovnice ztráty půdy)
VNIR	Visible and Near-Infrared spectrum (viditelné a blízké-infračervené spektrum)
VÚMOP, v.v.i.	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

ÚVOD

V současnosti se velmi často objevují diskuze nad problematikou vodní eroze, která v některých rizikových oblastech ohrožuje obyvatelstvo a má silný vliv na zemědělskou činnost. Na našem území se využívá několik modelů, které počítají ztrátu půdy při vodní erozi. Výsledků lze využít při plánování zemědělské činnosti, a také při navrhování kompletních pozemkových úprav, které jsou v současnosti i finančně podporovány fondy Evropské unie.

Důležitým faktorem, který má vliv na výsledky a který může dobře ovlivnit zemědělec či jiný uživatel, je vegetační kryt. Na našem území se pro hodnocení využívá kombinace modelu USLE a RUSLE a vegetační kryt, který zastupuje C-faktor, se hodnotí pomocí terénního přístupu, který je ovšem časově náročnější (Janeček, 2012). Zde se nabízí prostor pro hledání alternativních možností, jak tento C-faktor stanovit. V zahraničí je využíváno několik přístupů, hlavně z oblasti dálkového průzkumu Země, které by potencionálně mohly být aplikovány i u nás.

Práce se zabývá teoretickou rešerší a praktickou aplikací vybraných alternativních přístupů, které uvádí zahraniční studie.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je otestovat alternativní možnosti stanovení C-faktoru modelu RUSLE v porovnání s klasickým přístupem. Alternativy by měly vycházet z oborů GIS a DPZ.

První část práce je zaměřena na teoretické seznámení s principy dílčích koeficientů pro stanovení vodní eroze empirickými modely USLE, RUSLE a RUSLE2.

Obsahem druhé části práce je praktická aplikace alternativních možností stanovení C-faktoru a následné porovnání jednotlivých přístupů mezi sebou nad různými zdroji dat (minimálně nad snímky z Landsat).

2 POUŽITÁ DATA A PROGRAMY

2.1 Data

LANDSAT 5 TM

Vzhledem k dostupnosti dat bylo v práci využito hlavně snímků z družice Landsat. Snímky z LANDSAT 5 TM, jehož parametry jsou uvedeny v Tab. 1, je možné stáhnout z webového rozhraní *Global Visualization Viewer* (GloVis) dostupného na <http://glovis.usgs.gov/>. Provozovatelem tohoto rozhraní je USGS a k získání snímků je zapotřebí registrace. Ve *Vieweru* je pak nutné zadat výběrové parametry. V navigační liště v záložce *Collection* jsou uvedeny zdroje snímků. Snímky z Landsat 5 TM jsou řazeny v položce *Landsat Archive*. Samotný výběr scény probíhá zanesením souřadnic nebo přímým výběrem čtverce v hlavním okně. Při výběru je možné sledovat informace o scéně v levém panelu. Je zde uvedeno ID scény, oblačnost, datum pořízení. Vybraná scéna lze stáhnout pomocí tlačítka *Add* a následně *Send to Cart* v levém spodním rohu webového rozhraní. Poté dojde k otevření nového okna, kde je možné zvolit typ stahované produktu. V našem případě bylo možné stáhnout snímek v přirozených barvách ve formátu JPEG, termální snímek ve formátu JPEG a upravený snímek se všemi pásmy označený jako *Level 1 Product* ve formátu GEOTIFF.

Tyto upravené snímky jsou orientovány k severu, mají mapovou projekci UTM (*Universal Transverse Mercator*), prostorové rozlišení 30 metrů u senzoru TM (*Thematic Mapper*) a při převzorkování je použita kubická konvoluce (USGS – Landsat, 2013).

Pro zjištění vegetačního krytu a následně srovnání jednotlivých geoinformatických přístupů byly staženy snímky, na kterých se nachází zájmová oblast Vysoké Pole (Vizovicko) z období květen až září 2011 a snímek ze srpna 2009 pro porovnání s hyperspektrálním snímkem.

Tab. 1: Parametry LANDSAT 5, senzor TM (ARCDATA PRAHA – Landsat, 2013)

Provozovatel	USGS, USA
Typ dat	Multispektrální
Počet pásem	7
Spektrální rozlišení	450 – 2 350 nm (10 400 - 12 500 nm)
Prostorové rozlišení	30 m, 120 m
Radiometrické rozlišení	8-bit
Doba oběhu	16 dní
Velikost záběru	185 x 185 km

EO-1 HYPERION

HYPERION je komerční družicový senzor, který nese družice EO-1, poskytující hyperspektrální snímky ve velmi úzkých pásmech. Popis parametrů senzoru Hyperion jsou uvedeny v Tab. 2. U Hyperionu je 220 pásem s šíří jednoho pásma 10nm a pokrývající spektrum 357-2579 nm. Data jsou snímána dvěma spektrometry (viditelné záření – VNIR, krátké infračervené záření SWIR). Ne všechna pásma jsou kalibrována. Hyperion poskytuje vhodná data pro charakteristiku zemského povrchu (ARCDATA PRAHA – Hyperion, 2013).

Jelikož Česká republika není příliš pokryta snímky z tohoto senzoru, tak data byla zakoupena katedrou a poskytnuta vedoucím práce. Jiné snímky je možné stáhnout z webového rozhraní *Global Visualization Viewer* (GloVis) dostupného na <http://glovis.usgs.gov/>.

Tab. 2: Parametry senzoru HYPERION (ARCDATA PRAHA – Hyperion, 2013)

Provozovatel	NASA-GSFC, USA
Typ dat	Hyperspektrální
Počet pásem	220
Spektrální rozlišení	400 – 2 500 nm (šířka 1 pásma cca 10 nm)
Prostorové rozlišení	30 m
Radiometrické rozlišení	16-bit
Doba oběhu	16 dní
Velikost záběru	Šíře 7,5 km; délka až 185 km

ADC

ADC (Agricultural Digital Camera) je jednosenzorový digitální fotoaparát zachycující obraz v zeleném, červeném a NIR pásmu (520 – 920 nm). Pásma u ADC jsou téměř ekvivalentní s pásmy TM2, TM3 a TM4 z Landsat 5. Primární využití tohoto produktu je rozlišení vegetační odrazivosti a následně stanovení vegetačních indexů. ADC obsahuje v sobě 3,2 megapixelový snímač CMOS (2048 x 1536 pixelů). Vytvořené snímky jsou ukládány na *Compact Flash* v 8 bitovém a 10 bitovém RAW formátu. Pozemní rozlišovací schopnost závisí na výšce snímání (ADC vybavené 8,5 mm objektivem dosáhne 0,5 m rozlišení při výšce 1340 m) (Tetracam – ADC, 2007).

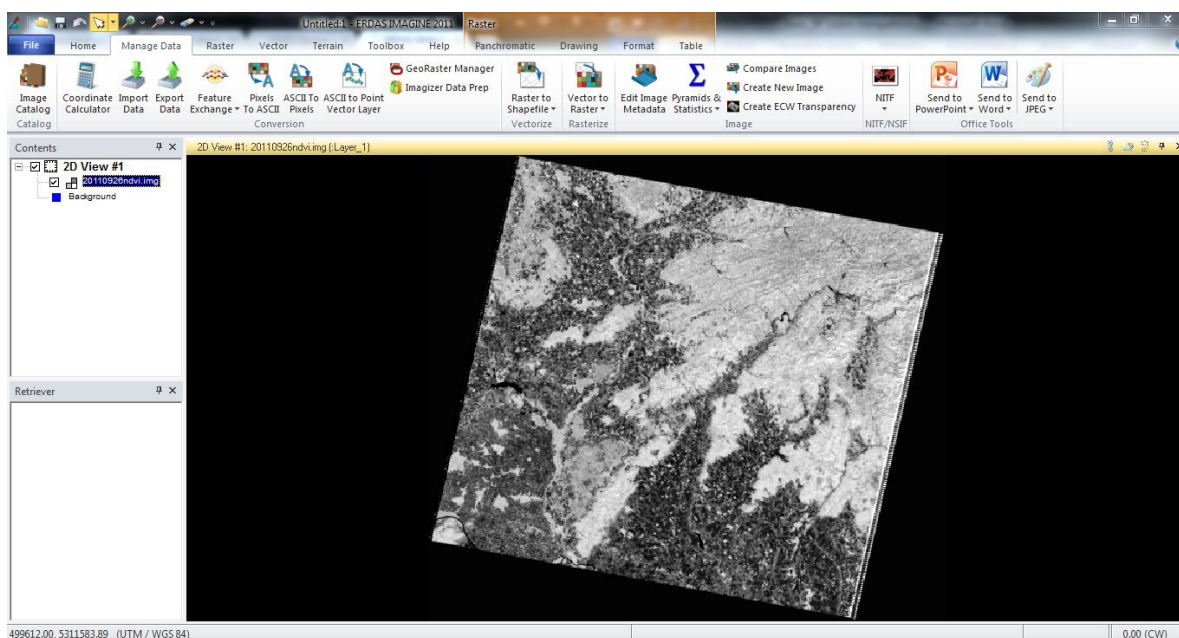
Při snímkování zájmového území Vysoké Pole byla kamera ADC nesena rádiem ovládaným, létajícím modelem motorového padákového kluzáku Drone Pixy. Nasnímáno bylo území RNDr. Jakubem Miřijovským v období květen až září 2012, a tyto snímky byly poskytnuty katedrou Geoinformatiky pro hodnocení geoinformatických alternativ stanovení vegetačního krytu v této práci.

2.2 Programy

ERDAS IMAGINE 2011

ERDAS je přední světový software, který v současné době patří společnosti Intergraph. Obsahuje geoprostorové zpracování a analýzu obrazu, praktické funkce dálkového průzkumu Země a GIS. ERDAS je schopen pracovat s rastrovými i vektorovými daty různých formátů. Možnými výstupy mohou být 2D obrazy, ortofoto mozaiky, klasifikace land-cover, 3D vizualizace, mapové kompozice,... ERDAS podporuje práci s panchromatickými, multispektrálními a hyperspektrálními snímky, i s daty z LiDAR (Intergraph: ERDAS IMAGINE, 2013).

Praktická část této práce byla zpracována v ERDAS Desktop 2011 ve verzi 11.0.2. obsahující vylepšení v hlavních produktech (Erdas Imagine 2011, LPS 2011 a Erdas ER Mapper 2011). Pro práci bylo využito hlavně nástrojů úpravy obrazu, výpočtu vegetačních indexů a Model Maker.

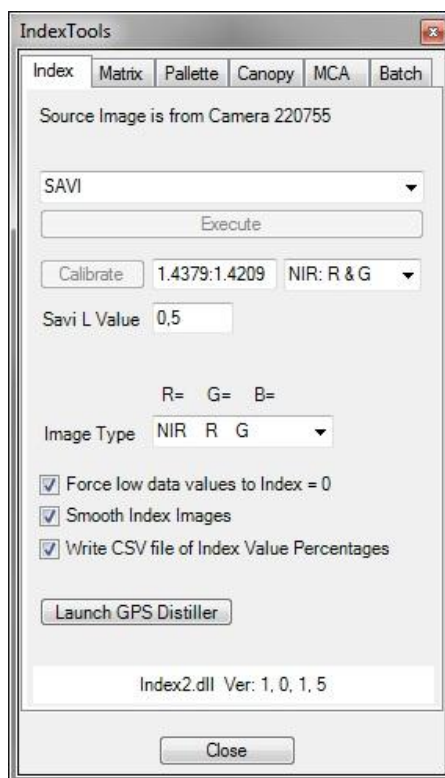


Obr. 1: Vizuální vzhled programu ERDAS IMAGINE 2011

PIXELWRENCH2

Jedná se o software vytvořený firmou Tetracam Inc., který slouží uživatelům pro práci nad snímky produkovanými kamerami firmy Tetracam. PixelWrench2 (PW2) je mocný editační program pro úpravu a vyhodnocení multispektrálních snímků včetně specifických nástrojů a požadavků. Program je schopný otevřít specializované formáty snímků (DCM, RAW) a i některé standardní obrazové formáty (BMP, JPEG, TIF, PNG,...). Při načtení specializovaných formátů je potřeba surové snímky převést do bitové mapy, neboli do falešných barev. Pro tento posun je typické, že vegetace je na snímku zastoupena červenou barvou. PW2 má v sobě mnoho funkcí. Umožňuje například zjištění některých vegetačních indexů (NDVI, SAVI,...). K tomuto účelu je v programu k dispozici panel *IndexTools*, přes který je možné u snímku určit indexy (viz. Obr. 2).

Výsledky je možné exportovat do různých obrazových formátů. Dále vznikne tabelární soubor, ve kterém, dle nastavení, je uvedeno rozložení počtu pixelů mezi jednotlivé hodnoty indexu nebo průměrná hodnota za celý obraz (Tetracam – PixelWrench2, 2011).



Obr. 2: Panel IndexTools z programu PixelWrench2

ARCGIS 10

ArcGIS společnosti ESRI patří mezi nejpoužívanější GIS, který má velmi rozsáhlou funkcionalitu. Jedná se o kompletní GIS sloužící pro tvorbu dat, analýzu, aktualizaci a kartografickou úpravu. Obsahuje více než 200 nástrojů pro zpracování a modelování dat. V této práci byl použit ArcGIS for Desktop 10. Program sloužil hlavně k vizualizaci výsledků (ArcDATA Praha, 2013).

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Eroze

Eroze je přírodní proces, při kterém působením činitelů dochází k rozrušování povrchu půdy a následnému usazování. Mezi hlavní erodující činitele patří voda v různých skupenstvích a vítr. Rozlišujeme erozi přirozenou, někdy se používá termín geologická a erozi zrychlenou. Zrychlená eroze vážně ohrožuje funkci půd a způsobuje mnohamilionové škody v intravilánech města obcí. Eroze vede k posunu půdních částic působením vody nebo větru (eroze a sedimentace), které mohou způsobit škody na úrodě, infrastruktuře, budovách a životním prostředí obecně. Eroze může být soustředěna podél určitých kanálů (od potůčků po rokly) a v krajině někdy vytváří velmi hluboké jizvy. Méně nápadné, ale často více škodlivé pro funkci půdy je postupné odstranění vrstvy ornice. Vodní eroze způsobuje rozrušování povrchu vodními kapkami a povrchovým odtokem. Působením vody se profil půdy postupně snižuje až na skalní podloží. Dochází k selekci půdních částic, nejprve se vymývají nejjemnější částice, organický materiál. Postupně dochází k jeho sedimentaci v úpatí svahů, vodních tocích a nádržích (Podhrázská, 2009).

Eroze půd ochuzuje zemědělské půdy o nejurodnější část – ornici, zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humus, poškozuje plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin. Velké průtoky ve spojení s odnosem půdy poškozuji budovy, komunikace, koryta vodních toků (Janeček, 2007).

Mezi hlavními příčinami eroze půdy jsou stále nevhodné zemědělské postupy, odlesňování a stavební činnost. Ve světě ročně ubývá více jak 7,5 mil ha zemědělské půdy. V současné době je tak dle analýz Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (VÚMOP, v.v.i.) ohroženo vodní erozí více jak 50% zemědělské půdy. Na převážné ploše ohrožených půd není prováděna systematická ochrana, která by zabraňovala či snižovala ztrátu půdy. Hlavní možnost ochrany půdy před erozí spočívá v realizaci komplexních pozemkových úprav. Je podstatné, aby pozemkové úpravy vycházeli z vlastnických, ekologických, hospodářských, vodohospodářských, dopravních poměrů. Nedílnou součástí protierozní ochrany je spolupráce zemědělců při správném hospodaření a vhodný výběr pěstovaných plodin.

Riziko eroze půdy může být posouzeno buď prostřednictvím expertního hodnocení (kvalitativní) nebo modelovým přístupem (kvantitativní) (Grimm, 2002). Během konce 20. století bylo započato několik iniciativ s cílem posouzení rizika eroze půdy na národní, evropské a globální úrovni. Oblast s největší závažností ztráty půdy větrnou a vodní erozí

je Balkánský poloostrov a země obklopující Černé moře. Některé země střední Evropy (Česká republika a Slovenská republika) také trpí vážnými problémy eroze půdy.

Mezi využívané přístupy (datové, metodické,...) pro posouzení rizik eroze půdy patří (Grimm, 2002):

- i) **CORINE** (1992), ii) **RIVM** (1992), iii) **GLASOD** (Van Lynden, 1994, 1995),
- iv) **EEA** (2000), v) **USLE** (Van der Knijff et al., 2000; Grimm et al, 2002), a vi) **PESERA** (GOBIN et al, 1999)

Využívané modely se liší dle toho, zda (Janeček, 2012):

- a) vyčíslují pouze mezirýhovou erozi (tedy plošný smyv v souladu s původním odvozením metody USLE),
- b) vyčíslují mezirýhovou i rýhovou erozi (zohledněním velikosti odtokové plochy v každém bodě),
- c) vyčíslují rýhovou a mezirýhovou erozi, ale i depozici na základě komplexního vyhodnocení morfologie a stanovení transportní kapacity povrchu (bilanční modely).

Představiteli modelů typu a) je např. původní model RUSLE 1 nebo model RUSLE jako součást GIS IDRISI verze 1.5 a vyšší a i v ČR užívaný model USLE2D. Představiteli modelů typu c) jsou např. Modely RUSLE 2, USPED, WATEM/SEDEM (Janeček, 2012).

Lze uvést, že modely USLE, RUSLE (empirické erozní modely) vycházejí ze statistické analýzy dlouhodobého experimentálního sledování vlivu jednotlivých erozních faktorů (Jakubíková, 2004).

3.2 Univerzální rovnice ztráty půdy – USLE

Vodní eroze je vyvolávána destrukční činností dešťových kapek a povrchového odtoku a následným transportem uvolněných půdních částic povrchovým odtokem. Intenzita vodní eroze je dána charakterem srážek a povrchového odtoku, půdními poměry, morfologií území (sklonem, délkou a tvarem svahů), vegetačními poměry, způsobem využití pozemků, včetně používaných technologií a případnými prvky protierozního opatření (Janeček, 2007).

Hlavním modelem k určování ohroženosti půdy vodní erozí a k následnému hodnocení navrhovaných protierozních opatření se v České republice používá tzv. „Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí – USLE (*Universal Soil Loss Equation*)“ dle Wischmeiera a Smithe (1978). Jedná se o empirický model, který vychází z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku. Parametry jednotkového pozemku jsou definovány a odvozeny z rozměrů standardních odtokových ploch o délce 22 m a sklonu 9%, jejichž povrch je po každém přívalovém dešti mechanicky udržován ve směru sklonu svahu jako úhor. Pro takovýto pozemek jsou

hodnoty L, S, C a P rovny 1,0. Hodnota přípustné ztráty půdy slouží ke stanovení míry erozního ohrožení pozemku. Vzhledem k tomu, že tato metoda je u nás jediná doporučovaná, existují katalogy dat.

Pro posouzení rizika eroze půdy existuje celá řada modelů, ovšem většina z nich vyžaduje velké množství vstupních dat, které navíc nemají úplnou vypovídající hodnotu. Univerzální rovnice ztráty půdy „USLE“ je hojně využívána, protože se řadí mezi datově nenáročné erozní modely. Přestože má rovnice mnoho nedostatků a omezení, je široce využívána díky své relativní jednoduchosti a robustnosti.

Při uplatňování kvantitativních modelů na regionální či kontinentální úrovni je možné se setkat s některými problémy, převážně co se týče přesnosti dat. To je způsobeno tím, že modely byly odvozeny na úrovni pozemku. Pokud ovšem budou tyto modely využívány pro velké plochy, výsledky je třeba vykládat s opatrností.

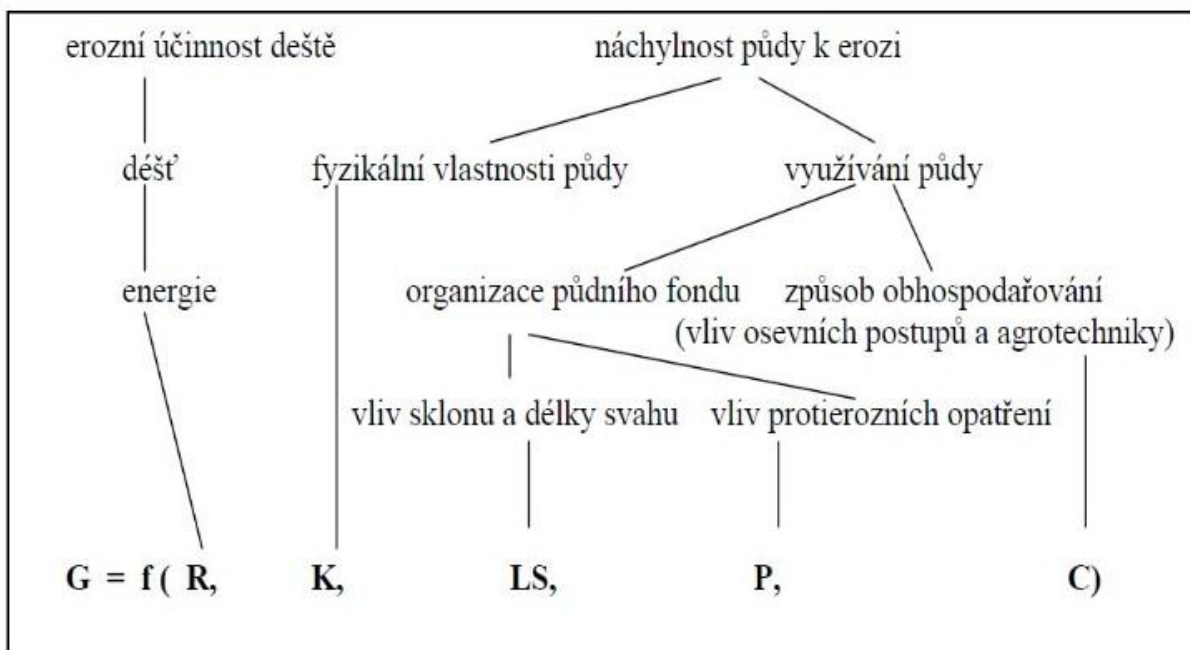
Model USLE dokáže dobře pracovat s erozí, kde hlavní činitel je povrchová tekoucí voda. Důležitým faktorem jsou srážky. Na druhou stranu model neumí počítat erozi, při které vznikají rokly nebo dochází k masivnímu posunu půdní hmoty např. při sesuvu nebo při lavině kamení.

Rovnice USLE

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

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

- 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



Obr.3: Ilustrace pomocí blokového schématu Hudsona (Holý, 1978)

Rovnice byla odvozena již v roce 1965 v USA. Jednotlivé parametry rovnice byly určeny dle dlouhodobého výzkumu. Výsledná hodnota je dlouhodobá průměrná roční ztráta půdy a udává množství půdy, které bylo na pozemku uvolněno plošnou vodní erozí. Pokud vypočtená ztráta půdy v t/ha/rok překročí přípustnou hodnotu ztráty půdy stanovenou dle hloubky půdního profilu, můžeme říci, že způsob využívání pozemku dostatečně nezajišťuje ochranu půdy před vodní erozí. Tabelární hodnoty přípustné ztráty půdy podle hloubky jsou dohledatelné v metodice dle Janečka, 2012. Výsledná hodnota nezahrnuje ukládání na pozemku nebo pod ním. Nedoporučuje se tuto rovnici používat pro kratší než roční období a pro zjišťování eroze z jednotlivých srážek.

Pozemky s mělkými půdami, jejichž hloubka dosahuje do 30 cm, jsou nevhodné pro polní výrobu, a proto se doporučuje převedení na trvale travní porost nebo tento pozemek zalesnit.

3.2.1 Faktor erozní účinnosti přivalového deště (R)

Jak je uvedeno v metodice (Janeček, 2012), základem faktoru R je získání množství dat o dešťových srážkách. Představuje schopnost uvolňovat půdní částice z povrchu. Tento faktor je závislý na četnosti výskytu srážek, jejich intenzitě, úhrnu a kinetické energii. Důležité je, že se uvažují deště s úhrnem větším než 12,5 mm a pokud v průběhu 15 minut spadlo alespoň 6,25 mm a jsou-li oddělené od ostatních dešťů dobou delší jak 6 hodin. Metodika dále uvádí, že vzhledem k problémům metodického a podkladového charakteru není možné R faktor regionalizovat pro území České republiky, ale pro výpočet je doporučeno používat průměrnou hodnotu $R = 40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Jedná se o dvojnásobek, než bylo uváděno v metodice stejného autora z roku 2007. Na našem území se v období červen – srpen vyskytuje přes 80 % erozně nebezpečných dešťů, čímž stoupá

potřeba kvalitní ochrany vegetací v těchto měsících. Vzorec pro stanovení faktoru erozní účinnosti přívalového deště je možné dohledat v metodice (Janeček, 2012; Wischmeier a Smith, 1978).

3.2.2 Faktor erodovatelnosti půdy (K)

Faktor erodovatelnosti půdy K představuje náchylnost půdy k erozi a zahrnuje vliv vlastností půdy a půdního profilu na ztrátu půdy. Jedná se o schopnost půdy odolávat působení rozrušujícího účinku deště a transportu povrchově odtékající vody. Faktor K je v USLE definován jako ztráta půdy ze standardního pozemku vyjádřená v $t \cdot ha^{-1}$ na jednotku faktoru R ($MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$) (Janeček, 2012).

Z praktického hlediska je faktor erodovatelnosti půdy K průměrnou dlouhodobou reakcí půdy a půdního profilu na přívalové srážky. Tento faktor je celistvým parametrem, který vyjadřuje průměrnou roční hodnotu celkové reakce půdy na erozní a hydrologické procesy. Mezi faktorem K a dalšími faktory existuje určitá vzájemná závislost. Propojení s faktorem ochranného vlivu vegetace je díky vlivu organické hmoty na ztrátu půdy. Je velmi těžké stanovit, kde vliv rostlinných zbytků přestává být součástí C-faktoru a stává se součástí K faktoru. Toto téma je velmi diskutované. Obecně lze říci, že krátkodobé vlivy, způsobené například ochranným pokryvem z mulče nebo mechanickým omezením, ke kterým patří povrchové a podpovrchové zbytky rostlin, jsou spojeny s C-faktorem, dlouhodobé vlivy, způsobené změnami půdy vlivem organického složení, jsou součástí faktoru K (Jakubíková, 2004).

Existují tři přístupy výpočtu (Janeček, 2007):

1. podle vztahu, který procentuálně odráží množství prachu, práškového písku a jílu. Dále potom procentuální obsah humusu, třídu struktury a třídu propustnosti dle kategorií uvedených v metodice od Janečka, 2007.
2. Hodnotu faktoru K lze určit z nomogramu.
3. Nejčastějším přístupem pro získání faktoru K je určení z databáze BPEJ. Aktualizaci zajišťuje VÚMOP, v.v.i.

3.2.3 Faktor délky a sklonu svahu (L, S)

Délka a sklon svahu dohromady tvoří tzv. topografický faktor, který vyjadřuje vliv morfologie terénu na vývoj erozních procesů. Jak uvádí Renard (1997) tento faktor představuje poměr ztráty půdy na testovaném pozemku ke ztrátě půdy na standardním pozemku délky 22,13 m a sklonu 9%.

S – faktor sklonu svahu vyjadřuje vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí.

L – faktor délky svahu vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu. Tato délka svahu je měřena od rozvodnice nebo od horní hrany pozemku, vždy od prvku přerušující povrchový odtok. Podstatné je, že změna plodiny či technologie není důvodem pro přerušování výpočtové délky. Délka by neměla překročit hodnotu 400 m, jelikož pro delší pozemky není metoda ověřena (Janeček, 2012).

Ztráta půdy je největší na konvexních svazích, které jsou strmější ke konci délky svahu, kde je vyšší i odtok, a nejnižší pro konkávní svahy, kde je část s největším sklonem na horním konci svahu, kde je však nejnižší velikost odtoku (Jakubíková, 2004).

Opět existuje několik přístupů, jak tento faktor spočítat. Jeden z možných výpočtů je uveden v metodice dle Janečka, 2007. V posledních letech se pro zjištění faktoru LS využívá geografických informačních systémů. Jedním z takových přístupů je USLE2D, který je v současnosti v ČR nejužívanějším nástrojem pro stanovení LS faktoru. V řadě verzí byl testován na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT. Později byl přijat na řadě pracovišť včetně využití v současné verzi státem spravovaného registru zemědělské půdy LPIS. Základním parametrem je digitální model terénu, jehož přesnost závisí na poskytovateli dat. Následně jsou aplikovány korekce a opravy pomocí nástrojů GIS (Janeček, 2012).

Propojení USLE2D s GIS usnadňuje použití RUSLE na složitějších pozemcích, čímž se rozšiřuje využitelnost a flexibilita modelu RUSLE. Model RUSLE má dvě důležité nevýhody. Jednak nepředvídá, kam se rozrušený materiál uloží, a ačkoliv je při obdělávání pozemku prokázána degradace půdy, nepočítá model s erozí při orbě. Rozšířená verze Usle2D s těmito nevýhodami pracuje díky produktu tzv. WaTEM (*Water and Tillage Erosion Model*) (Krása, 2010).

Pro stanovení LS faktoru doporučuje Metodický návod k provádění pozemkových úprav (2012) vydaný Ministerstvem životního prostředí ČR využití USLE2D nebo postupu dle Mitášové. Orientační hodnoty LS faktoru je možné také zjistit z geoportálu SOWAC GIS – Vodní a Větrná eroze půd ČR, jejímž provozovatelem je VÚMOP, v.v.i.

3.2.4 Faktor ochranného vlivu vegetace (C)

V minulosti vyšlo velké množství článků dokládajících, že vegetační kryt má na ochranu půdy před vodní erozí velký vliv. Pokud ve zkoumaném areálu nelze najít výrazné svahy či extrémní klima, je právě vegetační faktor tím nejpodstatnějším. Tento faktor také patří mezi ty, které člověk svým zásahem může dobře ovlivnit. Je důležité si uvědomit, že správný výběr, rozmístění a pěstování plodiny má při ochraně půdy velký význam. Ochranný vliv vegetace je v první řadě podmíněn tím, že rostliny svými nadzemními orgány tlumí erozní účinek dešťových kapek a zmenšuje množství přímo spadlých srážek na povrch půdy. Strukturná vegetace umožňuje rozložení doby dopadu srážek na delší dobu, čímž chrání půdy před masivní srážkovou erozí, zmenšuje množství povrchově odtékající vody a umožňuje postupné vsakování vody do půdy. Na úvod tedy můžeme konstatovat, že čím bohatší je vertikální členění porostu nebo také čím hustější je vegetace, tím je ochranný vliv vegetace na půdy větší. Všeobecně se uznává, že protierozní účinek kultur klesá v tomto pořadí: les, trvale travní porosty, seté tráva, obiloviny, okopaniny, ošetřovaný úhor. Rozdíl intenzity odnosu mezi lesem a úhorem může být při stejných podmínkách mnohonásobný. Pokud využijeme vegetaci i jako ochranný prostředek, je důležité nahlížet nejen na kvalitu porostu, ale také na rozlohu a rozmístění (Zachar, 1960).

Jak již uváděl Zachar, ochranný vliv vegetace závisí na pokryvnosti a hustotě porostu, proto dokonalou protierozní ochranu zajišťují porosty trav a jetelovin na druhou stranu jako nevhodné jsou uváděny širokořádkové plodiny, kterými jsou například kukuřice, okopaniny, sady a vinice. Hodnota C-faktoru (Příloha 1) pak představuje poměr smyvu na pozemku s pěstovanými plodinami ke ztrátě půdy na standardním pozemku, který je udržován jako úhor, pravidelně po každém dešti kypřený (Janeček, 2012).

Při stanovování C-faktoru může nastat situace, kdy nebude možné zjistit strukturu plodin a jejich střídání. V takovém případě lze C-faktor určit podle průměrného zastoupení plodin v lokalitě dle Tab. 3 (Janeček, 2012).

Tab. 3: Průměrné hodnoty C-faktoru pro jednotlivé plodiny (Janeček, 2012)

Plodina	C-faktor	Plodina	C-faktor
pšenice ozimá	0,12	chmelnice	0,8
žito ozimé	0,17	řepka ozimá	0,22
ječmen jarní	0,15	slunečnice	0,6
ječmen ozimý	0,17	mák	0,5
oves	0,1	ostatní olejninny	0,22
kukuřice na zrno	0,61	kukuřice na siláž	0,72
luštěniny	0,05	ostatní píceiny jednoleté	0,02
brambory rané	0,6	ostatní píceiny víceleté	0,01
brambory pozdní	0,44	zelenina	0,45
louky	0,005	sady	0,45

Výše uvedená metoda pomocí tabulkového přístupu vyžaduje terénní průzkum, a zde se nabízí prostor pro zrychlení přístupu pomocí nových technologií, které se postupně zpřesňují a zkvalitňují. V České republice prezentuje C-faktor Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (VÚMOP). Hodnota C-faktoru je určována klasickým tabelárním přístupem (Janeček, 2007) a na základě klimatických regionů (Kadlec M., Toman F., 2002). Klimatický region pro dané území je možné zjistit podle prvního čísla kódu BPEJ. Tabulkové příklady hodnot C-faktoru jednotlivých klimatických regionů jsou umístěny v Příloze 1. Dále jsou hodnoty dohledatelné na SOWAC GIS (<http://ms.sowac-gis.cz>), kde je dostupná i WMS služba.

3.2.5 Faktor účinnosti protierozních opatření (P)

Dle Wischmeiera a Smithe, 1978 byla sestavena tabulka hodnot faktoru účinnosti protierozních opatření. Tabelární hodnoty faktoru protierozních opatření je možné dohledat v metodice dle Janečka, 2012.

V případě, že nemůžeme ve výpočtu zohlednit realizovaná protierozní opatření, použijeme pro faktor P hodnotu $P = 1$.

3.3 RUSLE

První verze RUSLE, tedy Revidované univerzální rovnice ztráty půdy, vznikla v roce 1997. Výhodou byla jeho přístupnost na internetu ve formě počítačového programu provozovaného v systému DOS a s plnou podporou u *United States Department of Agriculture* (USDA). V roce 2001 byla zveřejněna verze RUSLE2, která pracuje v systému Windows (Renard, 1997; Jakubíková, 2004).

RUSLE je tedy empirický erozní model využívaný pro predikci dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy způsobené odtokem z pozemku ležícího v určité klimatické oblasti, s danými půdními poměry, o určitém sklonu a délce, při určitém systému pěstování plodin, obdělávání půdy a uplatňování protierozních opatření, lze ho však využít i pro nezemědělské plochy. Výhoda tohoto modelu se projevuje v oblasti inženýrské i vědecko-výzkumné. Je to i díky jeho přednostem, kterými jsou jednoduchost, rychlost výpočtu a možnost využití množství vstupních údajů pro jednotlivé faktory, které ovlivňují erozní procesy (Jakubíková, 2004).

Nejvýznamnější změnou při stanovování ztráty půdy při vodní erozi bylo zavedení subfaktorů pro výpočet vegetačního krytu C-faktoru. Model RUSLE vychází ze statistické analýzy dlouhodobého experimentálního sledování vlivu jednotlivých erozních faktorů. Na druhou stranu není schopen dostatečně popsat časovou a prostorovou nehomogenitu. Oproti USLE je možné aplikovat revidovanou metodu na různá prostředí – zemědělské parcely, lesní porost, pastviny, důlní území, staveniště. Navíc využití GIS usnadňuje efektivní manipulaci a zobrazení velkého množství geografických údajů. Kromě informatizace modelu prošly jednotlivé faktory z USLE významnou změnou (Renard, 1997).

RUSLE provádí výpočet na základě všeobecně rozšířené rovnice, která má stejnou podobu s USLE, ovšem obsah je v některých prvcích odlišný.

Rovnice RUSLE (Renard, 1997):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (2)$$

kde:

A – průměrná roční ztráta půdy

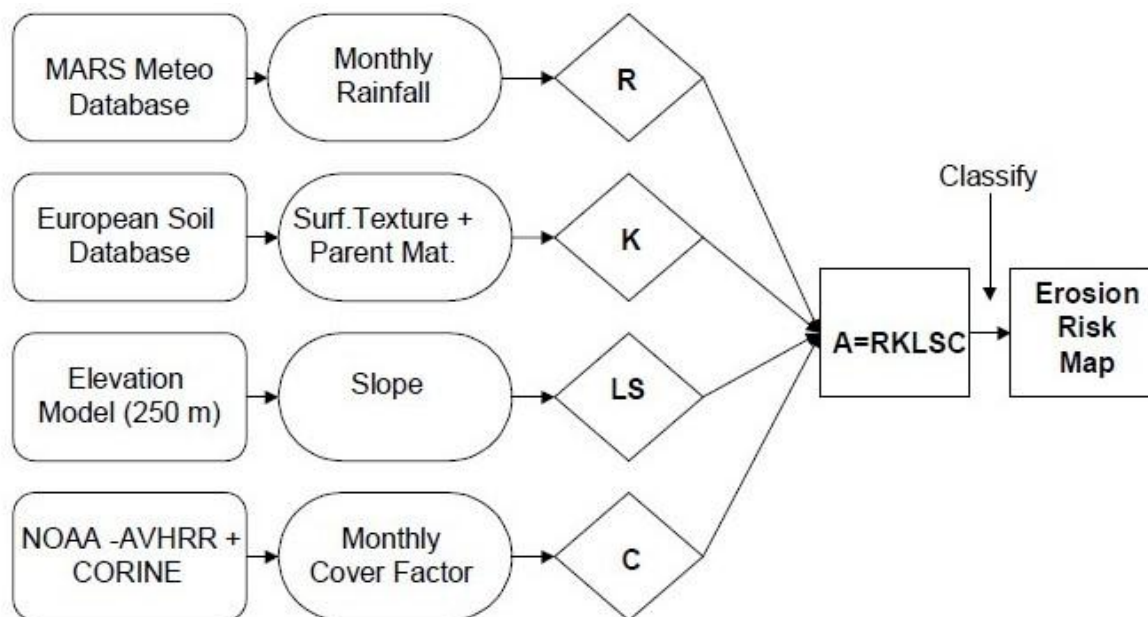
R – faktor erozní účinnosti deště

K – faktor erodovatelnosti půdy

LS – faktor délky a sklonu svahu = topografický faktor

C – faktor vegetačního krytu a osevního postupu

P – faktor protierozního opatření



Obr. 4: Vývojový diagram možných dat jednotlivých faktorů RUSLE (J. M. van der Knijff, R. J. A. Jones, L. Montanarella; 1999)

Při vhodném zvolení jednotlivých faktorů lze určit průměrnou ztrátu půdy na pozemku pro jeden vegetační rok pěstované jednotlivé plodiny v daném systému střídání plodin i pro určité období ve stádiu růstu. Ovšem obtížně dokáže předvídat krátkodobé výkyvy ve vlivu faktorů, proto současné rovnice jsou méně přesné pro výpočty jednotlivých jevů a hodí se spíše pro dlouhodobé odhady (Jakubíková, 2004).

Program RUSLE se v České republice využívá jen omezeně, a to hlavně z důvodu neexistence databází, které by obsahovaly data pro stanovení jednotlivých faktorů subfaktorů. Vzhledem k rozdílnosti přírodních podmínek na našem území je nutné shromáždit či nově vypracovat data pro konkrétní lokalitu. Tento přístup není ani výrazně metodicky podpořen (Jakubíková, 2004).

3.3.1 Faktor C v modelu RUSLE

Faktor C (i další faktory) v RUSLE je založen na koncepci odchylek od standardních podmínek, které v tomto případě představují pozemek, který je mechanicky kultivován ve směru sklonu svahu jako úhor po dobu minimálně dvou let. Tento faktor je nejčastěji používán k porovnávání dopadů při zvolení určitého způsobu hospodaření na zemědělské půdě. Poměr ztráty půdy (*soil-loss ratio* – SLR) je potom uvažován jako poměr ztráty půdy při aktuálních podmínkách hospodaření ke ztrátě půdy dané standardními podmínkami popsány v Renard, 1997. C-faktor v RUSLE umožňuje volbu výpočtu jako časově proměnné (pro běžné zemědělské plodiny) nebo stálé (plodiny pěstované trvale, pastviny). Co se týče časového hlediska, tak v návaznosti na erozní účinnost deště je možné stanovit hodnotu C-faktoru pro 15-ti denní interval (Jakubíková, 2004).

V RUSLE byla rovnice doplněna o sérii dílčích faktorů. Pro ty jsou důležité následující parametry (Jakubíková, 2004):

- Dopad předchozího způsobu pěstování plodin a systém obdělávání (PLU – *prior land use subfactor*)
- Ochrana povrchu půdy vegetačním pokryvem (CC – *canopy cover subfactor*)
- Redukce eroze způsobená povrchovým krytem a drsností povrchu (SC – *surface cover subfactor* a SR – *surface roughness subfactor*)
- Vliv nízké vlhkosti půdy na redukci odtoku při srážkách s nízkou intenzitou (SM – *soil moisture subfactor*)

Pro každý parametr je v RUSLE určena hodnota dílčího faktoru (subfaktoru). Dohromady tyto faktory tvoří rovnici pro stanovení SLR, viz. (3). SLR se počítá pro každý časový interval, kde můžeme čekat, že parametry zůstanou zachovány. Každé z těchto hodnot SLR je přiřazena erozní účinnost deště a odtoku (EI), která náleží odpovídajícímu časovému intervalu. Kombinování hodnot dohromady vytvoří celkovou hodnotu faktoru C viz.(7), která je váženým průměrem. (Jakubíková, 2004)

Rovnice pro stanovení C-faktoru dle Renard, 1997:

$$\text{SLR} = \text{PLU} \cdot \text{CC} \cdot \text{SC} \cdot \text{SR} \cdot \text{SM} \quad (3)$$

kde:

PLU – dílčí faktor vlivu předchozího způsobu pěstování plodin a systému obdělávání

CC – dílčí faktor ochrany povrchu půdy vegetačním pokryvem

SC – dílčí faktor redukce eroze způsobené povrchovým krytem

SR – dílčí faktor redukce eroze způsobené drsností povrchu

SM – dílčí faktor vlivu nízké vlhkosti půdy na redukci odtoku při srážkách s nízkou intenzitou

Dílčí faktor vlivu předchozího způsobu pěstování plodin a systému obdělávání (PLU – *prior land use subfactor*)

Subfaktor vyjadřující vliv podpovrchových rostlinných zbytků předešlé plodiny v půdním profilu na erozi půdy a předcházející zemědělské operace. Více o subfaktoru včetně podrobného výpočtu v Renard, 1997 a Jakubíková, 2004.

Rovnice dle Renard, 1997; Jakubíková, 2004:

$$\text{PLU} = C_f \cdot C_b \cdot \exp[(-c_{ur} \cdot B_{ur}) + (c_{us} \cdot B_{us} / C_f^{Cuf})] \quad (4)$$

kde:

PLU – dílčí faktor předchozího využití půdy (hodnota v rozmezí 0 – 1)

C_f – faktor konsolidace povrchu půdy

C_b – relativní účinnost povrchových rostlinných zbytků při konsolidaci

B_{ur} – hmotnost živých a odumřelých kořenů v horní vrstvě půdy o mocnosti 1 in (2,54 cm) [lb . acre-1 . in-1; tj. kg . ha-1 . cm-1 . 0.44]

B_{us} – hmotnost povrchových zbytků rostlin zapracovaných do horní vrstvy půdy o mocnosti 1 in (2,54 cm) [lb . acre-1 . in-1; tj. kg . ha-1 . cm-1 . 0.44]

c_{uf} – vliv konsolidace půdy na účinné zapracování zbytků rostlin do půdy

c_{ur} , c_{us} – kalibrační koeficienty označující vliv podpovrchových zbytků rostlin

Dílčí faktor ochrany povrchu půdy vegetačním pokryvem

(CC – canopy cover subfactor)

Subfaktor vyjadřující účinnost vegetace při snižování kinetické energie dešťových kapek dopadajících na povrch půdy. Dešťové kapky zachycuje vegetace, rozpadají se na menší kapky s menší energií a postupně kapou k zemi. Tento dílčí faktor již zmiňoval Wishmeier a Smith, 1978. Více o subfaktoru včetně podrobného výpočtu v Renard, 1997 a Jakubíková, 2004.

Rovnice dle Renard, 1997; Jakubíková, 2004:

$$CC = 1 - F_c \cdot \exp(-0,1 \cdot H) \quad (5)$$

kde:

CC – dílčí faktor vegetačního pokryvu (rozmezí 0 až 1)

F_c – část povrchu půdy pokrytého vegetací [%]

H – vzdálenost, kterou kapka překoná při pádu na zem po zachycení na vegetaci - pádová výška [ft]

Dílčí faktor redukce eroze způsobené povrchovým krytem

(SC – surface cover subfactor)

Subfaktor, který zdůrazňuje vliv povrchové krytu na transport vody, ukládání ve vhodných místech a snižování plochy možného dopadu dešťových kapek. Zahrnuje zbytky plodin, kameny, výtrusné rostliny a jiný neerodibilní materiál. Více o subfaktoru včetně podrobného výpočtu v Renard, 1997 a Jakubíková, 2004.

Rovnice dle Renard, 1997; Jakubíková, 2004:

$$SC = \exp[-b \cdot S_p \cdot (0,24 / R_u)^{0,08}] \quad (6)$$

kde

SC – dílčí faktor povrchového krytu

b – empirický koeficient

S_p – plocha půdy pokrytá povrchovým krytem [%]

R_u – drsnost povrchu [in]

Dílčí faktor redukce eroze způsobené drsností povrchu

(SR – *surface roughness subfactor*)

Renard (1997) dokazuje, že drsnost povrchu přímo ovlivňuje erozi půdy. Drsnost povrchu je definována jako standardní odchylka úrovně povrchu půdy při zanedbání změn povrchu způsobených sklonem nebo drahami po pojezdu zemědělské techniky. Zvýšení drsnosti povrchu snižuje transportní kapacitu. Existuje několik rovnic pro stanovení drsnosti povrchu dle prvotního stavu (agrotechnický zásah, hrudkovitost,...). Jednotlivé rovnice včetně podrobného vysvětlení jsou k dohledání v Renard (1997); Jakubíková (2004).

Dílčí faktor vlivu nízké vlhkosti půdy na redukcii odtoku při srážkách s nízkou intenzitou

(SM – *soil moisture subfactor*)

Jak uvádí Jakubíková (2004) vlhkostní podmínky mají zásadní vliv na infiltraci a odtok. Vliv se projevuje během roku různým způsobem v erozi půdy. Hodnota subfaktoru je stanovena tabelárně a je závislá na období, hloubce, zakořenění a pěstované plodině.

Rovnice výpočtu C-faktoru (Renard, 1997; Jakubíková, 2004):

$$C = (SLR_1EI_1 + SLR_2EI_2 + \dots + SLR_nEI_n) / EI_t \quad (7)$$

kde

- C - průměrná roční hodnota C-faktoru nebo jeho hodnota pro danou plodinu
- SLR_i - hodnota poměru ztráty půdy pro časový interval i
- EI_i - procentuální erozní účinnost roční nebo vztažené k dané plodině vyskytující se v tomto časovém intervalu i
- EI_t - součet procent erozních účinností EI_i pro celý časový interval
- n - počet intervalů použitých v součtu

Výpočty v RUSLE jsou prováděny v časovém intervalu 15-ti dní. Pro celý rok je stanoveno celkových 24 intervalu, kdy prvních patnáct dní měsíce je umístěno do prvního intervalu a zbytek do dalšího. V případě probíhající hospodářské operace je možné dělení uzpůsobit pro menší časové úseky. Každý úsek je ohraničen dvěma událostmi, které jsou definovány buď operací na pozemku, nebo začátkem nového půlměsíčního intervalu. Výpočty hodnot SLR jsou pro roční průměrné i pro časově proměnné hodnoty parametrů stejné. V případě změny parametru v čase se SLR vypočítá pro datum uprostřed každého časového úseku a hodnota SLR je uvažována jako vážený průměr podle procenta EI. U přístupu, kdy jsou parametry stálé v čase, výpočet probíhá pouze jednou (Jakubíková, 2004).

Hodnotu C-faktoru dále může ovlivnit vegetační pokryv (*canopy cover*), což je vrchní pokrytí půdy, základní pokryv přímo se dotýkající povrchu, drsnost, agrotechnický zásah, množství živých a odumřelých kořenů a organický materiál. Tyto hodnoty se mění během

roku podle toho, jak plodiny rostou a ztrácí listy a jak je půda rozrušovaná. V RUSLE patří právě C-faktor spolu s faktorem P k nejdůležitějším, protože představuje vliv půdy na erozi. Tyto faktory se využívají při stanovování protierozní ochrany, jelikož lze snadno měnit hodnoty (Jakubíková, 2004).

3.3.2 Rozdíly mezi USLE a RUSLE

Základní změnou při revizi USLE na RUSLE byla úprava postupů při určování jednotlivých faktorů rovnice, ale vizuální podoba rovnice zůstala stejná. Také došlo k využití nových dat, které zpřesňují specifické podmínky.

RUSLE pro své výpočty vyžaduje oproti USLE větší množství vstupních dat, což zajišťuje přesnější popsání zájmové oblasti a i přesnější výsledky.

Pokud se zaměříme na rozdíly v jednotlivých faktorech mezi USLE a RUSLE, tak můžeme zjistit následující změny (RUSLE, 2006):

R faktor – zavedení nových a revize již existujících map isoerodent pro území USA, zpřesnění časového průběhu hodnot R faktoru v 15-ti denním intervalu, stanovení R faktoru v oblastech s malými sklony.

K faktor - určení časového průběhu hodnoty faktoru erodovatelnosti půdy v důsledku zhutňování povrchu půdy a rozpadu půdních agregátů srážkami a obhospodařováním, dále vzhledem k objemovým změnám vyvolaným mrznutím a táním; zahrnutí vlivu skeletu na povrchu půdy a v půdním profilu na propustnost půdy

LS faktor - zavedení nového vztahu pro vliv délky a sklonu svahu, který také uvažuje poměr rýhové eroze k mezirýhové, upřesnění hodnoty sklonu svahu pro stanovení ztráty půdy.

C faktor - zpřesnění faktoru pro hodnocení vlivu jednotlivých druhů plodin a způsobů obdělávání pro nevyužívané půdy, pastviny, poškozené lesy, území s povrchovou těžbou surovin, staveniště a rekultivované plochy; zahrnutí vlivu předchozího využití půdy, druhu vegetace, pokryvu půdy a drsnosti půdního povrchu.

P faktor - zpřesnění hodnot P faktoru pro území zemědělsky využívané i nevyužívané, přehodnocení vlivu vrstevnicového obdělávání a terasování na snížení ztráty půdy, umožnění návrhu ochrany půdy a kontroly množství splavenin.

Tab. 4: Souhrnná tabulka porovnání USLE a RUSLE (Jakubíková, 2004)

Faktor	USLE	RUSLE
R	1. určení faktoru tradiční metodou (Wischmeier, Smith, 1978) na základě celkové kinetické energie deště a jeho max. 30-ti minutové intenzity, procentuální rozdělení průměrné roční hodnoty faktoru do jednotlivých měsíců	1. zpřesnění výpočtu (časový průběh faktoru v 15-ti denních intervalech) 2. zavedení nových a revize již existujících map isoerodent pro území USA 3. možnost využití databáze CITY

	2. možnost použití map isoerodent, včetně regionalizace pro území ČR	4. možnost zpřesnění výpočtu faktoru v oblastech s malými sklony
K	1. určení faktoru tradiční metodou (empirické odvození) pomocí zrnitostního složení, % organické hmoty a dalších vlastností půdy; bez časového průběhu faktoru 2. možnost použití nomogramu	1. stanovení hodnoty faktoru půdy jako časově proměnného v průběhu roku (zpřesnění výpočtu v 15-ti denních intervalech), použití nomogramu pro určení počáteční hodnoty faktoru 2. zahrnutí vlivu skeletu na povrchu půdy a v půdním profilu na propustnost půdy
LS	1. určení faktoru tradiční metodou (Wischmeier, Smith, 1965), použití exponentu sklonu svahu 2. možnost použití nomogramu pro určení součinu faktorů LS	1. zavedení nového vztahu pro vliv délky a sklonu svahu, který také uvažuje poměr rýhové eroze k mezirýhové 2. zpřesnění hodnoty sklonu svahu pro stanovení ztráty půdy
C	1. určení faktoru tradiční metodou pomocí rozdělení protierozního účinku do 5 fenologických fází vegetačního období 2. empirické odvození hodnoty faktoru pro určité typy plodin v každém období 3. vliv vegetačního pokryvu na smyv půdy je popisován jako přímý (ochrana povrchu půdy před destruktivními účinky dopadajících dešťových kapek a zpomalení rychlosti povrchového odtoku) a nepřímé (působení vegetace na půdní vlastnosti)	1. nový přístup protierozního účinku vegetačního pokryvu pomocí dílčích faktorů 2. zpřesnění výpočtu (časový průběh faktoru v 15-ti denních intervalech) 3. možnost volby výpočtu faktoru jako časově proměnného nebo stálého 4. možnost využití databází CROP a OPERATIONS 5. zavedení specifických charakteristik plodin
P	1. určení faktoru tradiční metodou (Wischmeier, Smith, 1978), tabulkové hodnoty pro jednotlivé typy protierozní ochrany podle sklonu svahu (Janeček, 2002) 2. možnost návrhu ochrany půdy a kontroly množství splavenin (metoda SDR)	1. zpřesnění hodnot faktoru pro území zemědělsky využívané i nevyužívané 2. možnost návrhu ochrany půdy a zahrnutí vlivu množství splavenin (metoda SDR) 3. přehodnocení vlivu vrstevnicového obdělávání a teras na snížení ztráty půdy

3.4 RUSLE2

RUSLE2 je pokročilý, uživatelsky přívětivý modelovací software, který předpovídá dlouhodobou průměrnou roční vodní erozi. Pracuje v systému Windows a jeho správcem je *United States Department of Agriculture* (USDA) a její agentura *Natural Resources Conservation Service* (NRCS). Kromě aktualizací programu zajišťuje NRCS i rozsáhlé databáze.

RUSLE2 byl vyvinut zejména pro pomoc při plánování, odhadech eroze a odnosu sedimentů. Metody výpočtu modelu RUSLE2 jsou podloženy vědeckými poznatky a technickými úsudky. Také obsahuje dodatečné analýzy a znalosti, které v modelu RUSLE1 nebyly k dispozici. Ovšem některé poznatky přejímá z RUSLE1. Například již v RUSLE1 byly použity subfaktory při stanovení C-faktoru.

RUSLE2 používá základní formulaci jednotkového pozemku, který je definován v USLE. Na druhou stranu matematické postupy jsou odlišné.

Viditelnou změnou v RUSLE2 je nové grafické rozhraní. Díky tomu je model snadněji ovladatelný a uživateli nabízí více způsobů prezentace informací. Je volně stažitelný na internetu, tedy dobře dostupný. Navíc NRCS poskytuje podrobné návody. Program je spustitelný jako samostatná aplikace, vzdáleným přístupem, v prohlížeči nebo např. v dokumentu MS Word. Důležitou součástí programu je databáze, která je velkou sbírkou vstupních dat. Uživatel si může vybrat z obsáhlé nabídky nebo definovat svá vlastní data. RUSLE2 je flexibilní, lze změnit tak, aby vyhovoval konkrétnímu uživateli. Aplikace umožňuje tisk zpráv popisující vstupní, výstupní údaje a samotný výpočet. Tento dokument lze uzamknout, aby nedošlo ke změně výsledků.

(Overview of RUSLE2, 2010)

3.5 GEOINFORMATICKÝ PŘÍSTUP STANOVENÍ VEGETAČNÍHO KRYTU

V poslední době je velmi diskutovaná otázka ochrany přírody a návrhu protierozních opatření. Využití geoinformačních technologií zajišťuje zejména výrazné zpestření a více či méně automatizuje celý výpočet. Základním principem všech metod je převedení veškerých podkladových dat sloužících k výpočtu faktorů rovnice USLE do podoby informačních mapových vrstev geografických informačních systémů a následně do formy rastrových vrstev v požadovaném rozlišení. Klíčovou vrstvou je topografický faktor LS v podobě digitálního modelu terénu (Janeček, 2012).

V současné době probíhá rychlý vývoj technologií, které je možné využít i při ochraně přírody. Kromě přímého terénního měření lze počítat i s dálkovým průzkumem. Obrazová data mohou poskytnout aktuální informace o krajinném pokryvu. Ovšem z již studovaných článků je patrné, že využití dálkového průzkumu není stoprocentně přesné, a zvláště na národní úrovni slouží spíše k orientačnímu přehledu. Na větších územních celcích je těžší určit jednotlivé subfaktory C-faktoru modelu RUSLE z důvodu nedostatku podrobných údajů.

Vegetační kryt vykazuje vysokou časovou dynamiku, která ovlivňuje výsledky interpretace snímků dálkového průzkumu. Tato dynamika je většinou nepravidelná a tedy nepředvídatelná, protože má množství příčin (rozdílné využívání půdy, postupné vyčerpání zdrojů, různé srážkové charakteristiky, lidský faktor, atd.). Pro erozní studie se využívá optických snímků, nad kterými následně probíhá vizuální interpretace, automatizovaná klasifikace či jiná metoda (Vrieling, 2007).

3.5.1 Vegetační indexy

Vegetační kryt lze zjistit pomocí vegetačních indexů ze satelitních snímků. Vegetační indexy nám umožňují vymezit vegetaci na základě spektrální odrazivosti.

Vzhledem k sezónní variabilitě je často velmi důležité, pro které období se počítá vegetační index, aby bylo možné spolehlivě odhadnout vegetační kryt. Jeden přístup je detailní příprava ideální časové řady, druhý zahrnuje úpravy obrazu a podporu dalšími zdroji informací (Vrieling, 2007).

Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI) = *Normalized Difference Vegetation Index*

Vegetační index, který udává obsah živé zeleně ve vegetaci.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{red}) / (\text{NIR} + \text{red}) \quad (8)$$

NDVI se pohybuje v rozmezí -1 až 1, kde vyšší hodnoty jsou pro zelenou vegetaci a nízké hodnoty zastupují ostatní běžné povrchy. Hustá vegetace je zastoupena hodnotami blízkými 1, holou půdu vyjadřují hodnoty NDVI pohybující se kolem 0, vodní plochy, mraky a sněhové plochy jsou reprezentovány zápornými hodnotami. Výpočet NDVI je poměr odraženého světla viditelného a blízkého infračerveného pásma od porostu. Zdravá vegetace pohltí takřka veškeré viditelné světlo, která dopadá a odráží velkou část blízkého infračerveného světla. U nezdravé vegetace nebo řídké vegetace je odraženo méně blízkého infračerveného a více viditelného světla. I když NDVI byl původně aplikován na data z družice LANDSAT, je tento vegetační index využíván i nad snímky z družice NOAA skenerem AVHRR, kde se NDVI počítá jako normalizovaný podíl prvního a druhého pásma AVHRR (Dobrovolný, 1998).

Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI)

SAVI se využívá v oblastech, kde je nižší obsah vegetace, a kde by mohla odrazivost přímo od povrchu půdy ovlivnit hodnoty vegetačních indexů. Problém může nastat při následné srovnávání a interpretaci výsledků, kdy různý půdní typ může odrážet různé množství světla v červené a blízké infračervené vlnové délce. SAVI je tedy modifikovaná verze normalizovaného diferenčního vegetačního indexu, který koriguje pomocí korekčního faktoru vliv jasu půdy. Ve srovnání s NDVI je SAVI méně citlivé na změny

vegetačního krytu a více citlivé na atmosférické změny. Je to způsobeno korekcí vlivu půdy (Heute, 1988; Ray 2010).

$$\text{SAVI} = [(\text{NIR} - \text{red}) / (\text{NIR} + \text{red} + \text{L})] \cdot (1 + \text{L}) \quad (9)$$

kde:

NIR – hodnota odrazivosti v blízkém infračerveném pásmu

red – odrazivost v červeném viditelném pásmu

L – korekční faktor. Hodnota L se odvíjí od pokryvnosti zelení. Hodnota L=0 je pro snímek s více než 90% pokryvností, L=1 je pro snímek bez zeleně (méně než 10% pokrytí). Obecně platí, že L=0,5 dobře funguje ve většině situací.

Soil-adjusted Total Vegetation Index - SATVI

SATVI je další modifikace, tentokrát SAVI. Jedná se o vegetační index, který koreluje s množstvím zeleně a stárnoucí vegetace přítomné na zemi. Běžně využívané vegetační indexy (NDVI, SAVI), které jsou citlivé na množství zeleně, nepříliš dobře korelují množstvím zestárlé a mrtvé vegetace. Výsledkem SATVI je index množství zeleně a stárnoucí vegetace s hodnotami pohybující se od -1 (bez vegetace) až 1 (úplné pokrytí vegetací). SATVI není příliš využíván vzhledem k nutnosti využití krátkovlnného infračerveného pásma, které nemusí být v datech obsaženo (Marsett, 2006; Hagen a kol., 2012).

Vzorec pro aplikaci nad snímky z LANDSAT TM:

$$\text{SATVI} = [(\text{band5} - \text{band3}) / (\text{band5} + \text{band3} + \text{L})] \cdot (1 + \text{L}) - (\text{band7} / 2) \quad (10)$$

kde:

band3 – odrazivost v červeném viditelném pásmu (~ 630 až 690 nm)

band5 – odrazivost v krátkovlnné infračervené (~ 1550 až 1750 nm)

band7- odrazivost v krátkovlnné infračervené (~ 2090 až 2350 nm)

L - korekční faktor (viz vzorec 9)

3.5.2 Přístup dle De Jong

De Jong ve svých pracích (1994) zkoumal využití snímků z LANDSAT Thematic Mapper (TM) pro odvození indexu listové pokryvnosti (LAI), procentní rozložení vegetačního krytu a C-faktoru z USLE. Při aplikaci lineárního modelu byla zjištěna korelace mezi NDVI a C-faktorem v hodnotě -0,64. Chybovost by mohla být způsobena citlivostí NDVI na vitalitu rostlin, která není v erozních studiích důležitá.

De Jong (1994) odvodil stanovení C-faktoru z NDVI pomocí následujícího vzorce:

$$\text{C} = 0,431 - 0,805 \times \text{NDVI} \quad (11)$$

3.5.3 Přístup dle J. M. van der Knijff

Van der Knijff a kolektiv (1999) vychází z přístupu dle de Jong (1994). Pro zkvalitnění výsledků a lepší představu užitečnosti NDVI obrazů byly vytvořeny profily NDVI pro jednotlivé typické vegetační kryty. Byla sestavena série desetidenních snímků NDVI, na kterou byla následně promítnuta databáze CORINE land-cover. Následně bylo zdigitalizováno šest hlavních tříd, které sloužily jako hodnotící kritéria. Je důležité poznamenat, že CORINE land-cover byl co nejaktuálnější. Výsledkem hodnocení byla následující zjištění. Třída orné půdy ukazuje stárnutí plodin v průběhu roku a maximální hodnota NDVI je dosažena na konci července. Pro pastviny je NDVI poměrně konstantní. Při klasifikaci výsledků je podstatné geografické hledisko. Hodnota NDVI se pohybuje i v různých zeměpisných oblastech. Van der Knijff (1999) uvádí příklad vinic, u kterých je hodnota NDVI na jihu Itálie nižší než na severu, což může znamenat, že jižní vinice jsou méně produktivní v oblasti biomasy nebo že podléhají více vodnímu stresu. Důležité je si uvědomit, že je více faktorů jako například geometrická přesnost snímků, které ovlivňují výsledné hodnoty.

Van der Knijff vychází z rovnice (11), kterou prezentuje De Jong (1994), ovšem přichází s alternativním pojetím, kde dokáže lépe předpovídat hodnotu C-faktoru pro holou půdu.

Rovnice má následující tvar (S.V.Smith a kol., 2007):

$$C = 0,45 - 0,805 \times NDVI \quad (12)$$

Van der Knijff (1999) uvádí, že vzorec (11), který uvádí pro stanovení C-faktoru USLE z NDVI de Jong (1994) je využitelný pouze pro použití snímků z LANDSAT TM. Pro použití snímků z jiného zdroje (např. NOAA) bylo nutné najít alternativní způsob stanovení C-faktoru z NDVI. Po experimentování byla navržena rovnice, která zajišťovala velmi podobné výsledky.

$$C = \exp \left[-\alpha \cdot \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)} \right] \quad (13)$$

kde:

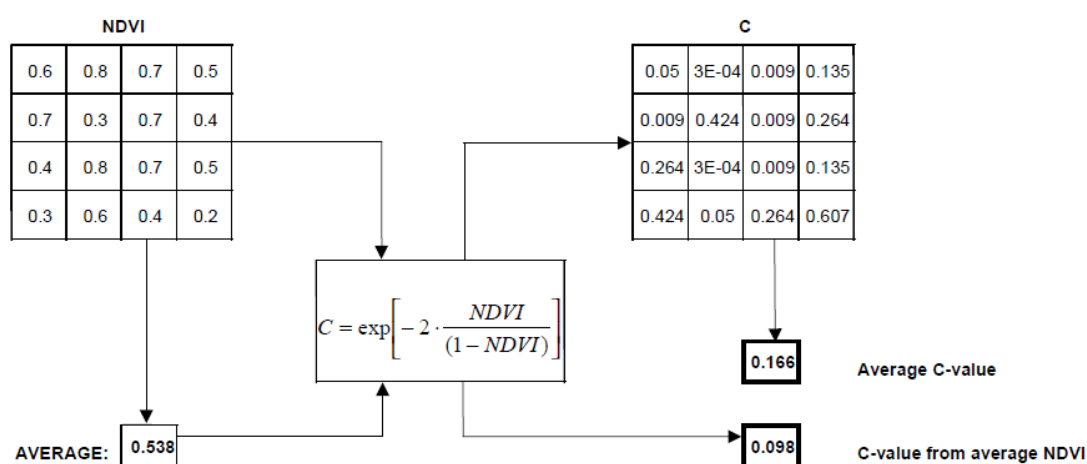
$\alpha = 2$, $\beta = 1$, jedná se o parametry, které určují tvar křivky korelace mezi NDVI a C-faktorem. Tyto hodnoty byly odvozeny na základě výborných výsledků korelace s CORINE Land Cover 2000 Evropské agentury pro životní prostředí (EEA, Copenhagen, 2000; <http://www.eea.europa.eu>).

Při porovnání s literaturou je hodnota C pro pastviny vyšší po většinu roku. C-faktor pro les je v letním období téměř nulový, v zimě jsou hodnoty vyšší. Nejpravděpodobnější vysvětlení je takové, že NDVI je citlivé na zdravé a fotosynteticky aktivní vegetaci. Na druhou stranu je obecně známo, že lesy mají obvykle silnou mulčovací vrstvu, která poskytuje vynikající ochranu proti erozi půdy. Ta ovšem není ze snímků s NDVI patrná.

Problém nastává i u orné půdy, kde není patrné, o jakou se přesně jedná plodinu a osevní postup. Rozsah hodnot je poměrně realistický, jen v zimním období jsou hodnoty nižší (Van der Knijff, 1999).

Tento přístup zajišťuje hrubší výsledky C-faktoru, ale může sloužit pro orientační přehled při nedostatku dat. Pro zpřesnění C-faktoru v RUSLE je nutné provést terénní měření, zvláště pak zjištění biofyzikálních vlastností pro jednotlivé subfaktory. Například dálkový přístup nezjistí množství a vliv kamení na povrchu půdy, které mohou ovlivňovat vodní erozi podobným způsobem jako odumřelá vegetace na povrchu.

Také dochází k rozdílným výsledkům při aplikaci rovnice (13). Problém je prezentován obr. 5.



Obr. 5: Přepočítání pixelů s hodnotou NDVI na C-faktor (J.M. van der Knijff, 1999)

Obr. 5 ukazuje, že výsledná hodnota je ovlivněna i velikostí pixelu. C-faktor spočítaný pomocí rovnice (13) z průměrné hodnoty NDVI za celou 4x4 mřížku je nižší než hodnota C-faktoru průměrovaná až po aplikaci rovnice (13) na jednotlivé buňky NDVI. To dokazuje, že je důležité zajistit kvalitní data s dostatečným pokrytím, abychom předešli výraznému zkreslení.

Van der Knijff (2000) ve své další práci zabývající se vodní erozí, tentokrát v Evropě, doplňuje postup pro stanovení C-faktoru u lesů a pastvin, kde byly výsledky nereálně vysoké. Maximální použité hodnoty jsou 0,01 pro lesy a trvale travní porosty a 0,05 pro pastviny. Hodnoty se přiřazují pomocí tříd databáze CORINE land-cover. Nicméně stále je nutné myslet na nejistoty ve vstupních datech.

3.5.4 Přístup dle A. Karaburun

A. Karaburun (2010) ve studii představuje další způsob využití regresní analýzy pro odhad C-faktoru pomocí NDVI. Cílem regresní analýzy je odhadnout neznámé hodnoty závisle proměnné na nezávisle proměnných hodnotách pomocí matematického modelu. V tomto případě je využito korelace mezi NDVI získaného ze snímků z dálkového průzkumu a odpovídající hodnoty C-faktoru z tabulek USLE/RUSLE.

Studie předpokládá, že existuje lineární korelace mezi NDVI a C-faktorem, a je využito hodnot průměru NDVI z několika snímků pro holou půdu a les jako referenčních hodnot. Pro dobře chráněnou půdu je hodnota 1, což splňuje lesní porost. Pro nechráněnou půdu je stanovena hodnota 0. Tyto hodnoty jsou nastaveny jak hodnoty C-faktoru pro NDVI dané kategorie (les, holá půda). Následně je generován výstup pomocí regresní rovnice (Karaburun, 2010).

Obecná rovnice lineární regrese:

$$Y = \alpha + \beta \cdot X \quad (14)$$

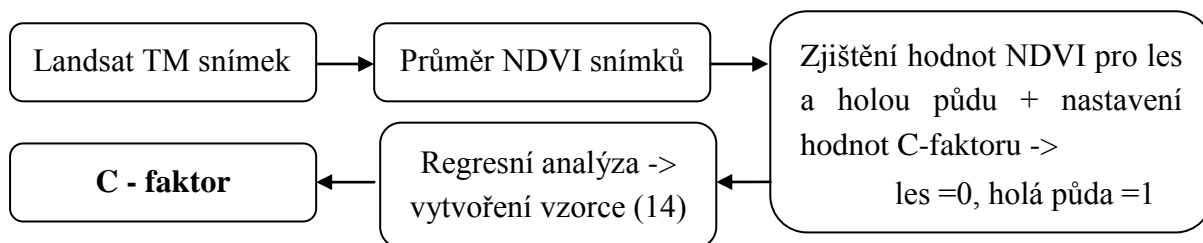
kde:

Y, X – proměnné

α , β – regresní koeficienty

Výsledná rovnice ve studii (Karaburun, 2010):

$$C = 1,02 - 1,21 \times NDVI \quad (15)$$



Obr. 6: Zjištění C-faktoru pomocí přístupu dle A. Karaburun (2010)

3.5.5 Přístup dle M. Suriyaprasit a D. P. Shrestha

Při klasickém terénním zjišťování dat může nastat problém s nedostupností terénu zvláště v horských oblastech. V takovém případě roste využitelnost dálkového průzkumu. Pro klasifikaci je nutné odstranit problém s osvětlením. K tomuto účelu jsou sestaveny vzorce, které jsou uvedeny ve studii (M.Suriyaprasit, D.P.Shrestha, 2008).

Pro zjištění C-faktoru je opět využito NDVI. Samotný převodový vzorec z NDVI na C-faktor vznikl testováním lineárních metod (De Jong, 1994) a exponenciálních metod (Van der Knijff, 1999).

$$C = 0,227 \times \exp^{(-7,337 \times NDVI)} \quad (16)$$

3.5.6 Přístup dle S. V. Smith

S. V. Smith a kol. (2007) k zjištění C-faktoru využívají poznatků a rovnic, které prezentuje De Jong (1994) a Van der Knijff (1999). Tyto rovnice jsou doplněny o reklasifikaci, která probíhá před nebo po výpočtu jedné ze zvolených rovnic (přednost je dáována rovnici (12)). Záporné hodnoty NDVI jsou převedeny na hodnotu 0. Také pro lepší hodnocení je NDVI a následně C-faktor pro vodní plochy nastaven na 0. Pro městské oblasti (většinou betonové či zpevněné) je přiřazena $C = 0,02$. Zbývající plochy jsou počítány dle rovnice. Pokud jsou ze snímku patrná místa kamenných valů či skal, tak k nim je také přiřazena nulová hodnota C-faktoru.

3.5.7 Využití jiných vegetačních indexů

Jak z výše uvedených přístupů vyplývá, velmi často se při posuzování vegetačního krytu využívá normalizovaného diferenčního vegetačního indexu (NDVI). Nicméně v řadě případů je NDVI zkresleno a je vhodné využít jiný z vegetačních indexů, které jsou specifikované na určité situace nebo dokáží nedostatky v klasifikaci odstranit. V případě, že chceme zjistit C-faktor v polosuchých či suchých oblastech, kde je vegetační kryt více rozptýlený, je možné využít SAVI (*Soil-adjusted Vegetation Index*) nebo SATVI (*Soil-adjusted Total Vegetation Index*). Oba indexy jsou více popisovány v kapitole 3.5.1. V mnoha studiích lze objevit další vegetační indexy.

Kefi a Yoshino (2010) ve svém článku uvádí, že pokud se jedná o vegetační index, který vychází z NDVI nebo má podobné rozložení hodnot (od -1 do 1), tak se C-faktor určí pomocí regresní analýzy nebo aplikací obecného vzorce převodu C-faktoru (13) se změnou NDVI za jiný vegetační index.

Přizpůsobená rovnice uvedená v článku (Kefi a Yoshino, 2010):

$$C = \alpha \cdot e^{-\beta \cdot TSAVI} \quad (17)$$

kde:

α , β – regresní koeficienty

TSAVI – konkrétní vegetační index

3.5.8 Klasifikace obrazu

Pro zjištění C-faktoru je možné využít tabulkovou metodu v kombinaci s klasifikací obrazu. Někdy je tento přístup podpořen i terénním průzkumem.

Cílem klasifikace snímků je rozřídění všech obrazových bodů do jednotlivých kategorií land use / land cover nebo jiných témat. Výhodou satelitních snímků je možnost aplikování různých technik pro zlepšení klasifikace obrazu, zdůraznění konkrétních prvků a s tím spojené kombinování jednotlivých pásem zastupující různé vlnové délky. Jedna z nejčastěji používaných metod extrakce informací je multispektrální klasifikace. U snímků z LANDSAT TM se pro vizuální interpretaci vegetace využívá pásem 4,5,3 a pásem 4,3,2 (Erencia, 2000).

Při hodnocení eroze v daném území je klíčové rozlišit základní kategorie vegetačního krytu, kterými jsou trvale travní porosty, lesy, orné půdy s obilninami a orné půdy se širokořádkovými plodinami. Tyto kategorie je nutné získat v co nejlepší kvalitě (Krása, 2010).

K zjištění jednotlivých kategorií slouží velké množství metod, které mohou být obecně rozděleny na typy řízené a neřízené klasifikace. I v případě, že je znám počet typů pokryvů v dané oblasti, tak není možné zabránit spektrálním překryvům mezi různými třídami. Po proběhlé klasifikaci je nutná kontrola problémových oblastí a případné doeditování. Často se využívá různých filtrů pro odstranění izolovaných či chybných pixelů. Výsledné mapy C-faktoru se skládají z výsledků vizuální interpretace a digitální klasifikace (Ereñcin, 2000).

3.5.9 Linear Spectral Mixture Analysis

A. M. de Asis a K. Omasa (2007) se ve své práci zabývají použitím přístupu *Linear Spectral Mixture Analysis* (LSMA) a jeho využitím při stanovení C-faktoru a modelování eroze půdy. Vychází z toho, že tradiční metody pro extrakci informací o vegetaci z dat dálkového průzkumu Země, jako například klasifikační techniky nebo vegetační indexy, jsou nepřesné. Testování přístupu ukázalo, že faktor C zjištěný pomocí LSMA silně koreluje s hodnotami naměřenými v terénu.

LSMA je klasifikační technika, která dokáže odhadnout nepatrné množství zelené vegetace a půdy současně, což je vhodné pro situace, kdy jsou tyto informace potřebné v jeden okamžik, jako v případě erozní analýzy. LSMA je užitečná i pro odhad procentuálního pokryvu rostlinnými zbytky. *Spectral mixture analysis* (SMA) je často aplikována na řešení problému smíšených pixelů. Základem LSMA je spektrální záznam daného pixelu. Důležitý je předpoklad, že konečný člen („*endmember*“) má jedinečný spektrální záznam. Pomocí vzorců LSMA, které jsou uvedeny v práci, získáme hodnoty odrazivosti pro jednotlivé kategorie. Tento přístup oddělením některých informací minimalizuje vliv například jasu a barvy půdy. Na rozdíl od NDVI, které využívá pouze viditelné a blízké infračervené pásmo, LSMA využívá plné spektrální odrazivosti, proto může být použita i pro určení jiných materiálů, které ovlivňují erozi půdy (De Asis a Omasa, 2007).

Pro zjištění C-faktoru je sestaven vzorec, který bere hodnoty pro různé kategorie, které mohou být obsaženy ve smíšeném pixelu. V případě, že kategorie ve smíšeném pixelu není, je použita hodnota 0. LSMA je jednoduše aplikovatelná a to, jestli výsledky budou lepší než u NDVI, závisí na přesnosti výběru koncových členů do jednotlivých kategorií (De Asis a Omasa, 2007).

Vzorec pro stanovení C-faktoru z přístupu LSMA (De Asis a Omasa, 2007):

$$C = F_{bs} / (1 + F_{veg} + F_{NPM}) \quad (18)$$

kde:

F_{bs} , F_{veg} , F_{NPM} – kategorie holé půdy, vegetace a nefotosyntetických materiálů

Přidání hodnoty 1 v rovnici vymezuje C-faktor v rozsahu 0-1.

3.5.10 Vegetační kryt na hyperspektrálních snímcích

Nové technologie dokazují, že ačkoliv je využíváno širokopásmových senzorů v mnoha aplikacích, informační výsledek je omezený. Je to způsobeno velkým rozsahem jednotlivých pásem. Přitom většina přírodních jevů má specifické spektrální signály v úzké oblasti elektromagnetického spektra. Zde se nabízí využití úzkopásmových senzorů (např. HYPERION) (Mobasher, 2007).

Díky velkému počtu pásem je možné detailněji sledovat různé charakteristiky obrazu. Dostupnost hyperspektrálních snímků zajistila získání přesnějších informací při mapování zemědělského hospodaření. Další výhodou oproti širokopásmovým senzorům je menší obsah smíšených pixelů v obrazu. Pro analýzu a klasifikaci hyperspektrálního obrazu byly revidovány i sestaveny nové vegetační indexy. Pro zjištění pokryvnosti vegetací je využíván klasický NDVI a i jeho modifikovaná verze (Mozafar a kol., 2008).

$$\text{NDVI} = (\text{P}_{750} - \text{P}_{705}) / (\text{P}_{750} + \text{P}_{705}) \quad (19)$$

$$\text{mNDVI} = (\text{P}_{750} - \text{P}_{705}) / (\text{P}_{750} + \text{P}_{705} - (2 \times \text{P}_{445})) \quad (20)$$

kde:

P_{750} = odpovídá pásmu 750nm

P_{705} = odpovídá pásmu 705nm

P_{445} = odpovídá pásmu 445nm

Po zjištění NDVI je možné aplikovat vzorec (13) dle Van der Knijff pro převod NDVI na C-faktor.

3.5.11 Další přístupy

Je samozřejmé, že výše uvedené přístupy nejsou jedinými, kterými je možné zjistit C-faktor. Jedná se o důležitý prvek při stanovení ohrožení půdy vodní erozí, proto je logické, že se objevují nejrůznější metody. Mezi další přístupy, které nebudou podrobněji rozvedeny, patří určení C-faktoru pomocí geostatistických metod (Wang a kol., 2003). Dalším směrem, kam se může ubírat stanovení C-faktoru, je využití neuronových sítí nebo simulačně-genetického programování (Puente a kol., 2011).

V současné době je v mnoha oborech využíváno získání informací z LiDAR. Několik studií se zabývalo využitím LiDARu pro stanovení vegetačního krytu. Bohužel většinou se jednalo jen o přehledové výsledky, protože LiDAR má velké metrické odchylky (až 1,5m) při tvorbě 3D modelu a do 3,5 m veškerá vegetace je určena jako jedna kategorie „nízká vegetace“ (Viñas a kol., 2006).

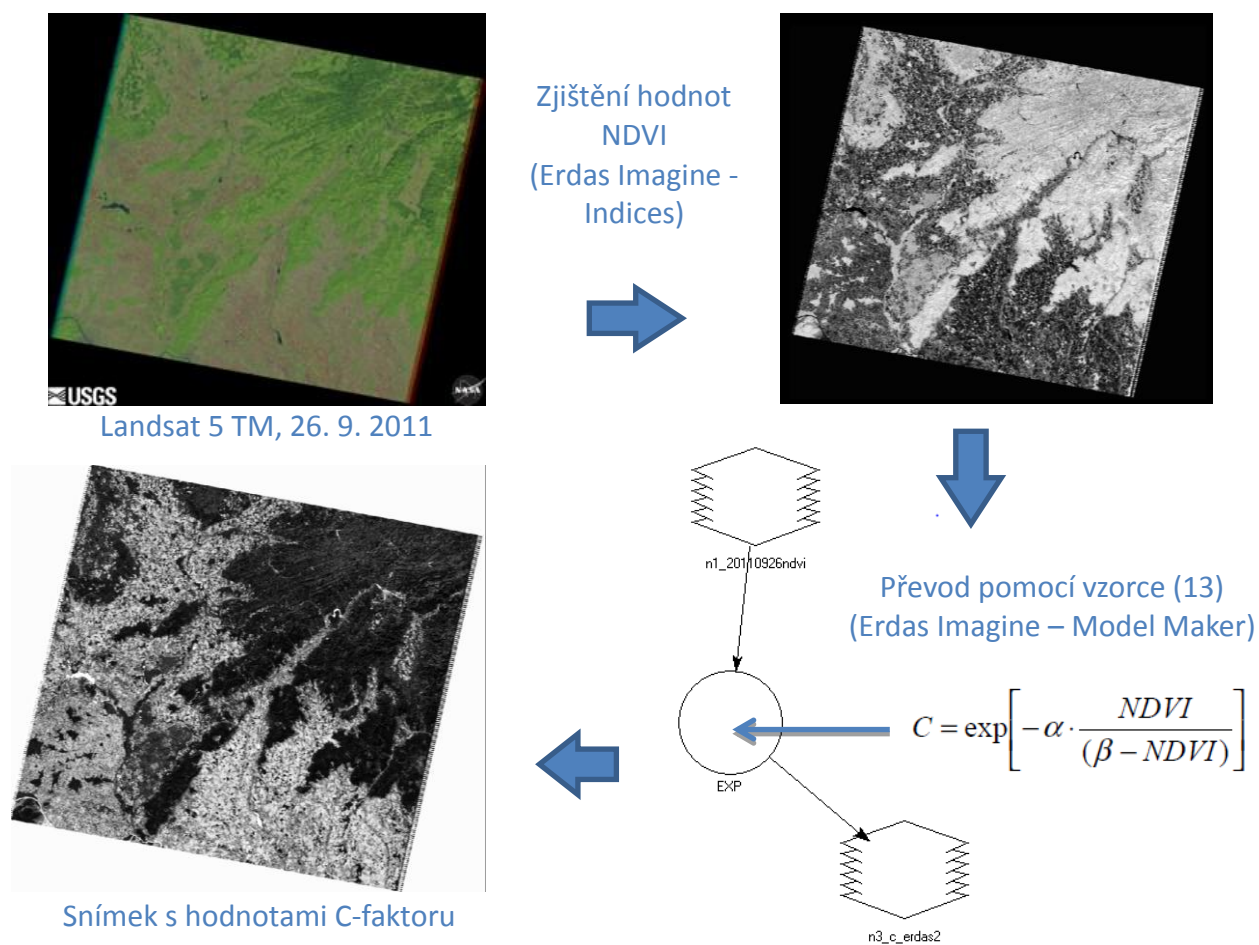
Další možností, jak získat hodnoty C-faktoru, je spojení tabelárních dat z metodiky (např. Janeček, 2012) a databáze, ve které najdeme land-use. V minulosti tento přístup byl aplikován na databázi LPIS, ze které byly převzaty hranice půdních bloků a 8 základních vegetačních kategorií. Takto byla vytvořena mapa hodnot faktoru ochranného účinku vegetace pro zemědělské půdy v ČR (Krása, 2010).

4 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části této práce byly aplikovány vybrané přístupy nad specifickými daty. Jedná se o velmi často využívané snímky z Landsat 5 TM, snímky z multispektrální kamery ADC z maloformátového snímkování a hyperspektrální snímky ze senzoru Hyperion. Jednotlivé přístupy jsou mezi sebou následně srovnány.

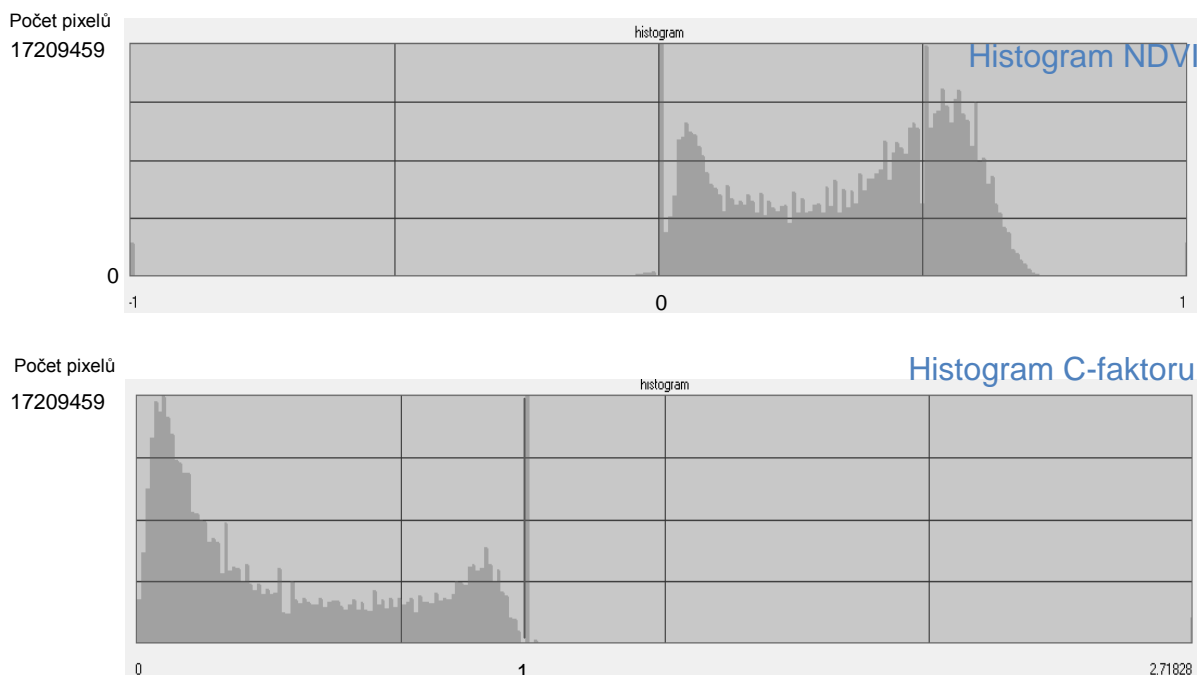
4.1 Porovnání přístupů nad snímky z Landsat TM

Pro porovnání byl zvolen přístup dle Knijff (1999), který patří v zahraničí mezi nejužívanější metody pro zjištění C-faktoru. Základem je zjištění NDVI nad snímkem, který může být i z jiného zdroje než z Landsat 5 TM. Důležité je, aby snímek obsahoval i blízké infračervené pásmo. Následně je vytvořený snímek s NDVI hodnotami převeden pomocí vzorce (13) na hodnoty C-faktoru. Celý postup probíhal v programu Erdas Imagine 2011. Pro zjištění hodnoty NDVI slouží nástroj *Indices (Raster -> Unsupervised -> Indices)* a vzorec byl vytvořen pomocí nástroje *Model Maker (Toolbox -> Model Maker)*. Výsledný snímek s C-faktorem byl vizualizován pomocí GIS nástrojů v programu ArcGIS (Příloha 2).



Obr. 7: Postup přístupu dle Knijff s využitím NDVI

Na obr. 8 je možné sledovat rozložení hodnot pro snímek s NDVI a snímek s C-faktorem. U histogramu NDVI je rozložení hodnot mezi -1 a 1, kde v záporných hodnotách se nachází vodní plochy, oblačnost a větší antropogenní objekty. Hodnoty NDVI pro půdu se pohybují v blízkosti 0, vegetace spíše od 0,5 do 1. Hodnoty C-faktoru po přepočtu pomocí vzorce (13) se pohybují 0 (vegetace) do 1 (holá půda). S histogramu je patrné, že se ve výsledném snímku nachází i hodnoty, které přesahují 1. V tomto případě tyto hodnoty zastupují vodní plochy, oblačnost či antropogenní objekty. Výsledný obraz s hodnotami C-faktoru je možné vizuálně porovnat i s původním snímkem (Příloha 2).



Obr. 8: Rozložení hodnot NDVI a C-faktoru

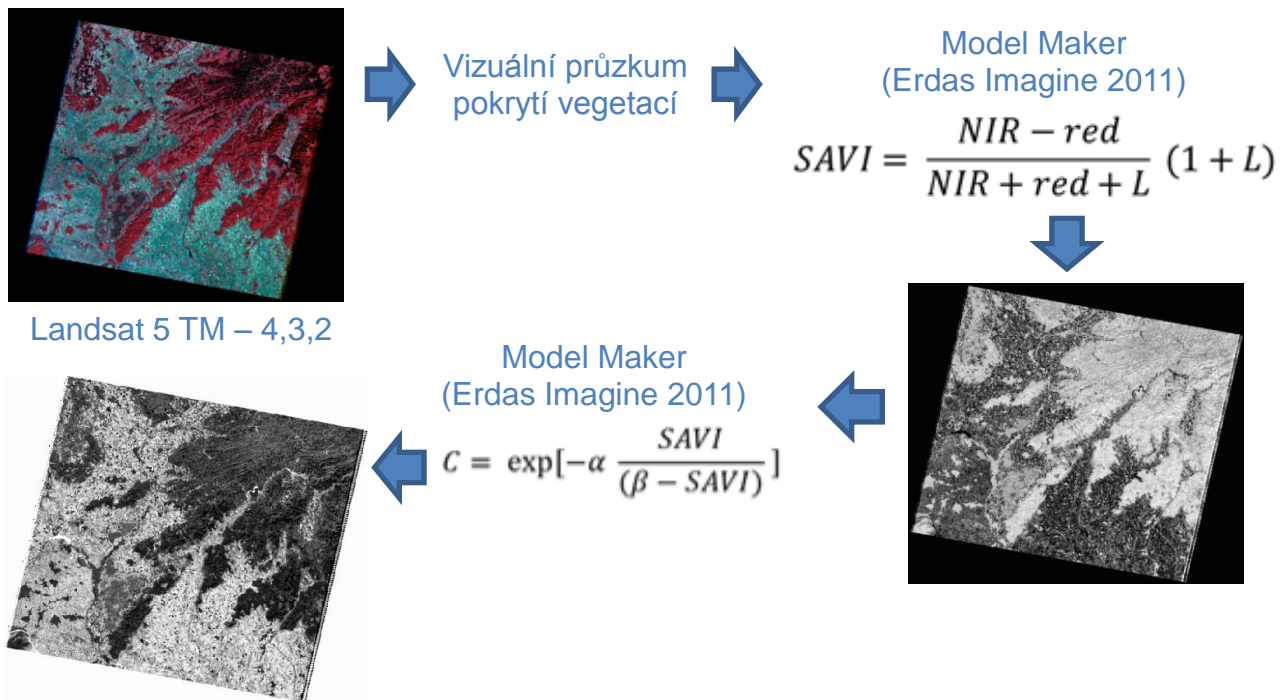
Důležitým krokem při stanovení C-faktoru je zvolení vegetačního indexu, který do výsledného výpočtu zahrneme. Vzorec dle Knijff je použitelný nejen pro různé zdroje dat, ale i pro různé vegetační indexy.

Využití SAVI

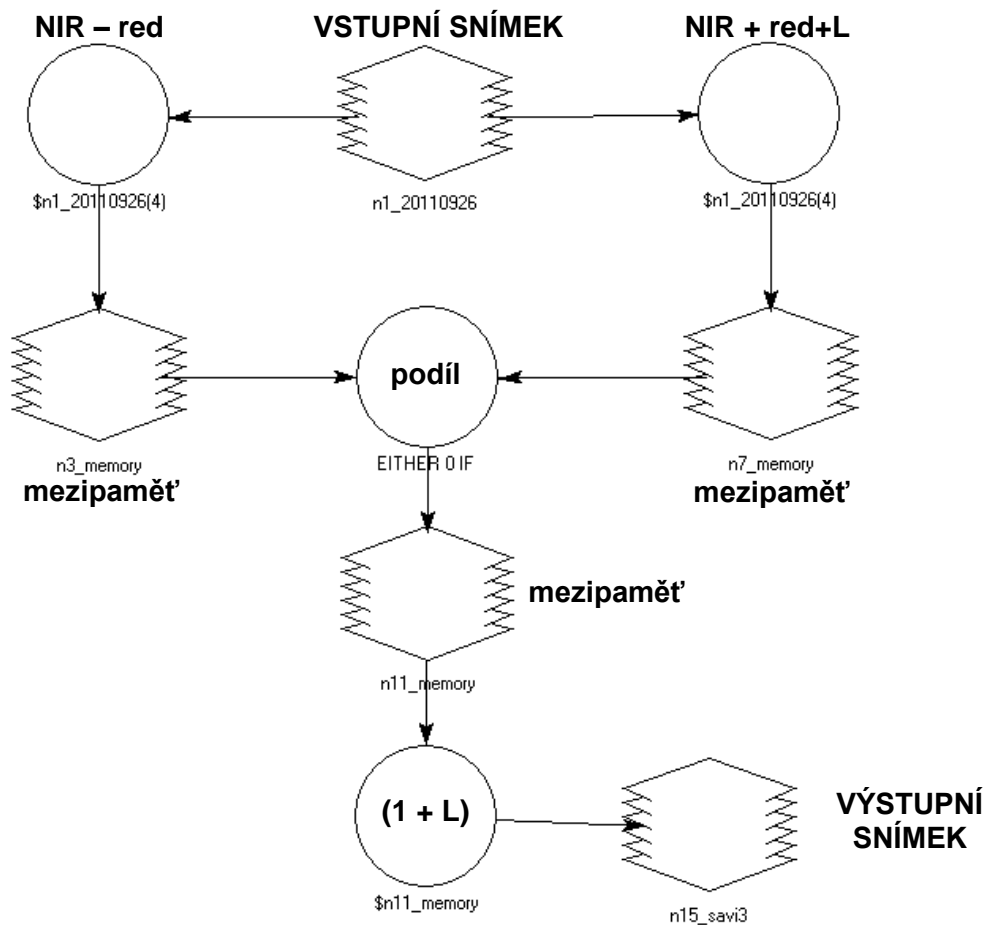
Pro srovnání bylo v praktické části pro stanovení C-faktoru využito vegetačního indexu SAVI (více v kapitole 3.5.1). Index vychází z NDVI a rozvíjí matematický vzorec o parametr L. Jedná se o doplnění korekčního faktoru, jehož hodnota se odvíjí od procentuální pokrývnosti zelení na snímku.

Oba indexy mají takřka totožný postup zpracování (obr. 9). Nejdříve bylo potřeba stanovit míru pokrývnosti dle vizuálního zhodnocení nad načteným snímkem. Vhodné je využít složení pásem 4,3,2 u Landsat snímku, kde je vegetace zdůrazněna a prezentována červenou barvou. Pokud nelze pokrývnost odhadnout, lze počítat s hodnotou $L = 0,5$. Následně byl vytvořen model dle vzorce v Model Maker (Toolbox -> Model Maker), který vypočítá SAVI (obr. 10).

SAVI – Soil-adjusted Vegetation Index

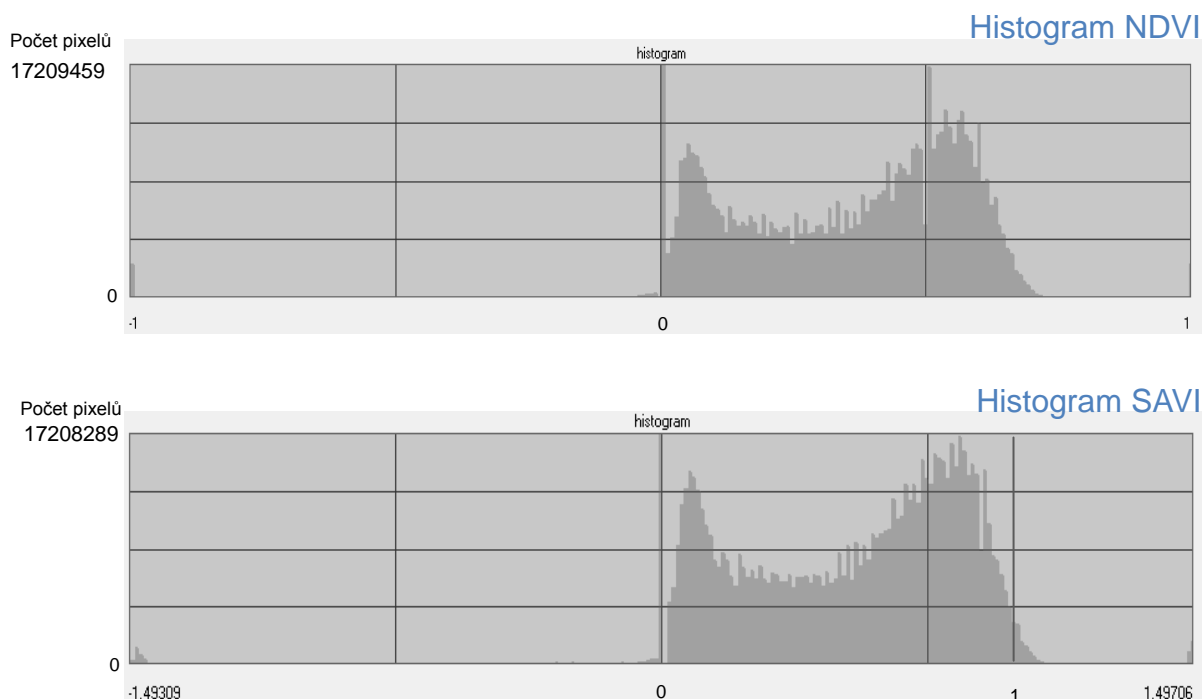


Obr. 9: Stanovení C-faktoru s využitím SAVI



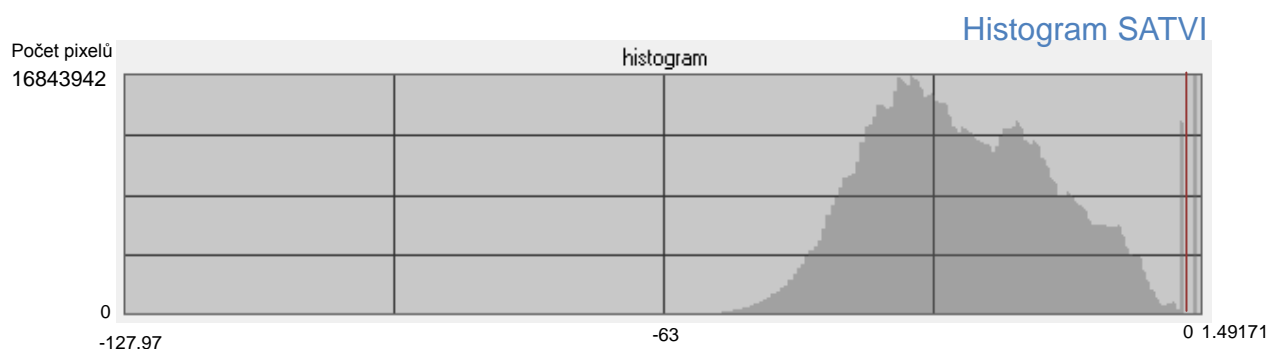
Obr. 10: Vytvořený SAVI v Model Maker

Jak již bylo uvedeno v teoretické části (kapitola 3.5.1), SAVI koriguje vliv jasu půdy pomocí korekčního parametru L a zdůrazňuje hustou vegetaci a holou půdu. To má za následek posun hodnot ze středu k hodnotám 0 a 1. Tento jev je možné pozorovat na histogramu hodnot (Obr. 11).



Obr. 11: Porovnání histogramů NDVI a SAVI

Původním záměrem bylo do porovnání zahrnout i vegetační index SATVI, který dle teoretického zpracování (kapitola 3.5.1) měl kromě zelené vegetace počítat i s odumřelými částmi vegetace. Jeho hodnoty pro vegetaci se měly pohybovat v rozmezí od -1 do 1 stejně jako u NDVI. Při výpočtu došlo k zjištění rozdílného rozložení hodnot oproti původnímu článku (Marsett, 2006). U výpočtového vzorce je požadavek na užití krátkovlnného infračerveného pásma (~ 2090 až 2350 nm), označeného jako pásmo 7 u snímků z Landsat 5 TM. Tato operace ovšem zajistí posun všech hodnot do záporných čísel (Obr. 12). Dále tento vegetační index není využíván.



Obr. 12: Nevhodné rozložení hodnot SATVI

Srovnání NDVI a SAVI

Porovnávané snímky s vegetačními indexy a výslednými hodnotami C-faktor jsou vypočítány pro stejný snímek vytvořený 26. 9. 2011. Vzhledem k možnému užití pro odhad ztráty půdy při vodní erozi pomocí modelu RUSLE, je možné využít jeden snímek, neboť interval snímkování je 16 dní (více v kapitole 3.3). Dále je datum nasnímání důležité pro interpretaci výsledků.

Pro srovnání byly ve výřezu snímku (Obr. 13) vybrány 4 zájmové kategorie a u nich zjištěny hodnoty NDVI, SAVI, C-faktoru a orientační tabelární hodnoty z různých zdrojů. Také byla vypočtena průměrná hodnota NDVI a průměrná hodnota C-faktoru pro tyto objekty ze čtyř snímků. Snímky byly vytvořeny 5. 5. 2011, 22. 6. 2011, 25. 8. 2011 a 26. 9. 2011. Snímky zastupují hlavní vegetační období a období, kdy dochází k většinovému odnosu půdy dle USLE (Janeček, 2012). Průměrná hodnota C-faktoru byla vytvořena sečtením hodnot C-faktoru z jednotlivých snímků a následně vydělena počtem snímků (viz. problematika v kapitole 3.5.3).



Obr. 13: Umístění zájmových kategorií ve výřezu snímku ze dne 26. 9. 2011

Tab. 5: Porovnání hodnot různých přístupů

objekt	NDVI	C –faktor z NDVI	SAVI	C –faktor ze SAVI	Průměr NDVI	Průměr C- faktor	Tabulka ¹	SOWAC GIS ²
les	0,568	0,08	0,846	0,011	0,631	0,04	neued.	neued.
pole	0,086	0,829	0,075	0,912	0,351	0,435	0,7	0,291
vodní plocha	-0,226	1,445	-0,333	1,154	-0,167	1,331	neued.	neued.
sad	0,455	0,189	0,681	0,014	0,554	0,095	0,45	0,307

¹ – orientační tabelární hodnota dle Janečka (2012) pro pole po obilnině v 2. období (viz. Příloha 1).

² - mapová služba VÚMOP, v.v.i. – průměrná hodnota pro celý rok určená dle klimatického regionu a vztážená k databázi LPIS ze dne 15. 4. 2010) (SOWAC GIS, 2008).

Z tabulky č. 5 je patrný posun hodnot SAVI oproti NDVI, jak bylo již uvedeno v této kapitole. Les má v SAVI vyšší hodnotu než u NDVI, na druhou stranu pole má menší hodnotu SAVI než NDVI. Je to způsobeno posunem hodnot ke krajním hodnotám 0 a 1.

Obecně se uvádí, že les zastupují hodnoty C-faktoru, které se takřka blíží 0 (Janeček, 2012), což lépe vystihuje přepočtení s využitím SAVI. Není možné hodnoty srovnat s tabelárními hodnotami uvedenými v metodice dle Janečka (2012) nebo s hodnotami z webové služby SOWAC GIS, neboť tyto dva zdroje se soustředí na zemědělské pozemky, pro které je zjištění stavu vodní eroze důležité (zahrnují i louky a pastviny).

Vzhledem k tomu, že byl pokus vybrat pozemek, na kterém vizuálně není vegetace, tak hodnoty NDVI i SAVI, a potažmo C-faktoru, jsou realistické. Hodnota C-faktoru je oproti tabelární hodnotě vyšší, což je zajisté způsobeno neznalostí parametrů (konkrétní plodiny, osevního postupu a použité agrotechniky), které jsou potřebné pro určení hodnoty z tabulky, proto se jedná jen o hodnotu orientační.

Vodní plochu v obou případech zastupují záporné hodnoty pro NDVI a SAVI, což odpovídá teoretickým poznatkům. U NDVI je možné usuzovat, že za vyšší hodnotou stojí nějaký druh vegetace ve vodě.

Problém nastává u kategorie „sad“, kde oproti tabelární hodnotě, jsou hodnoty C-faktoru z NDVI a SAVI výrazně nižší. Lze očekávat, že je to způsobeno vzrostlou korunou stromů a prostorovým rozlišením snímků z Landsat 5 TM. Jelikož má snímek rozlišení 30m a stromy v sadě bývají poměrně blízko u sebe, NDVI vyhodnotí pixel jako smíšený s hodnotou pro vegetaci i půdu. Ze snímku není patrné, že se pod korunami stromů nachází potenciálně erozně náchylná půda.

Další srovnání NDVI a SAVI je možné provést vizuální formou nad kvantifikovanými snímky (Příloha 4). Obraz hodnot C-faktoru z NDVI je prezentován vizuálně lépe, snímek nevypadá zkresleně. Tento vjem je způsoben větším množstvím pixelů se středovou hodnotou (kolem 0,5) oproti C-faktoru ze SAVI.

4.2 Zjištění C-faktoru ze snímků z ADC

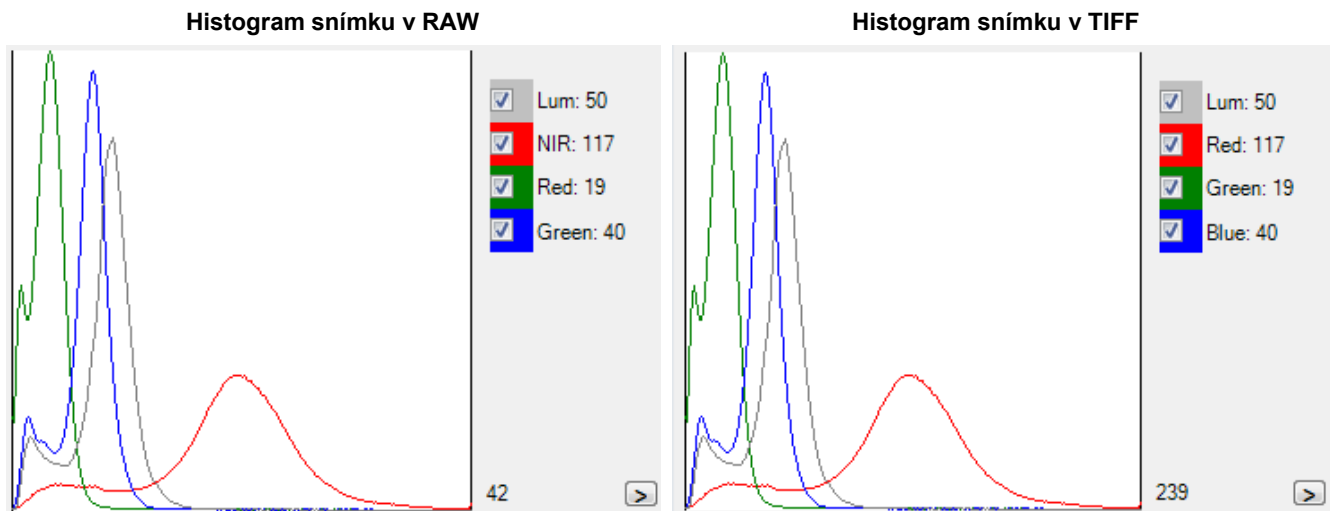
Vzhledem k tomu, že snímky z Landsat TM mají rozlišení 30m, je vhodné uvažovat o jiném zdroji dat, jehož obraz by mohl lépe popisovat skutečnost. Zde se nabízí prostor pro maloformátové snímkování. Jelikož katedra vlastní ADC kameru a létající kluzák Drone Pixy, tak pro testování v praktické části byly zvoleny snímky z tohoto zdroje. ADC nabízí možnost zjištění vegetačních indexů díky záznamu obrazu v nepravých barvách (NIR, red, green). Ke zpracování snímků z ADC kamery slouží program PixelWrench2.



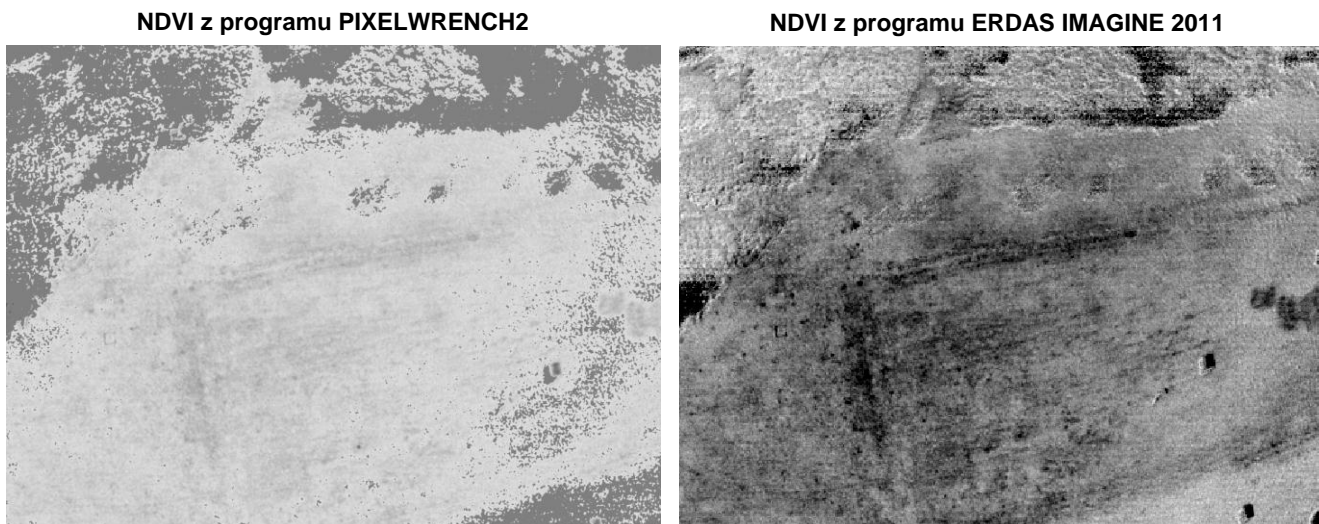
Obr. 14: Snímek s ADC kamery a kalibrační štítek

Dříve než začne práce se snímkem, je nutné připravit program. V *Matrix (View -> IndexTools)* je nutné načíst CPF soubor, který charakterizuje kameru, a dále označit *Color Process DCM and RAW on open using xxx* (xxx = automaticky z CPF souboru doplněno číslo kamery). Označení způsobí automatické přebarvení načteného snímku do nepravých barev (Obr. 14). Po načtení snímku ve formátu RAW, který otevře právě tento program, je možné ze snímku zjistit odrazivost a vegetační indexy. Pro tyto účely zde je nástroj *IndexTools*, který umožňuje zjištění NDVI a dalších indexů. Pro zpřesnění je nutná kalibrace snímku dle kalibračního štítku (Obr. 14), který byl vyfocen ve stejném světle a době snímkování. Manuál pro práci v PixelWrench2 je možné najít na webových stránkách firmy Tetracam.

Díky možnosti zjištění NDVI z těchto snímků, byl zvolen přístup dle Knijff (1999). Bohužel program PixelWrench2 nenabízí vhodné nástroje pro práci se snímky, tedy nelze sestavit vzorec pro převod hodnot NDVI na C-faktor. Také se objevil problém při exportu vytvořeného snímku s hodnotou NDVI. Program nabízí jen základní formáty (TIFF, JPEG, BMP, GIF), které v sobě neudrží hodnoty od -1 do 1. Pro práci byl tedy zvolen postup uložení původního snímku z formátu RAW do TIFF, a následně práce v Erdas Imagine 2011 jako se snímky z Landsat 5 TM. Na histogramu v Obr. 15 je patrné, že při exportu do TIFF hodnoty zůstávají zachovány, jen dochází ke změně označení pásma (NIR, red, green -> red, green, blue). Z tohoto důvodu není v programu Erdas Imagine možné využít nástroj *Indices (Raster -> Unsupervised -> Indices)*, který počítá s pásmem 4 a 3. Pro sestavení vzorce pro výpočet NDVI je vhodné využít nástroj Model Maker.



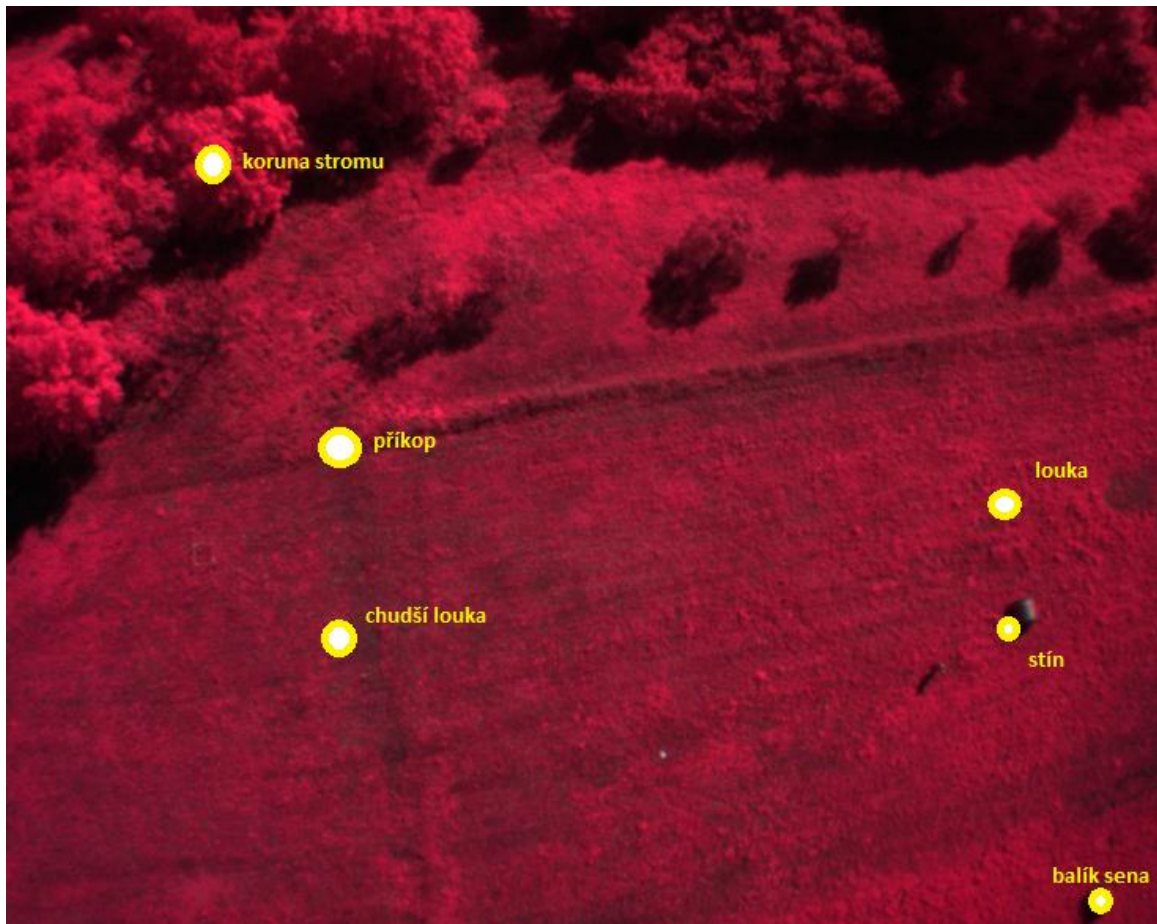
Obr. 15: Posun pásem při převodu z RAW na TIFF



Obr. 16: Vizuální porovnání vytvořených snímků s hodnotou NDVI

Hodnoty NDVI z programu Erdas Imagine 2011 nejsou totožné s hodnotami z programu PIXELWRENCH2, což pravděpodobně způsobuje neumožnění kalibrovat snímek pomocí kalibračního štítku. Ačkoliv se hodnoty liší, na Obr. 16 jsou viditelné stejné změny ve vegetaci.

Pro porovnání hodnot NDVI byly zvoleny zájmové kategorie, které jsou zaznačeny do snímku z ADC kamery viditelné na Obr. 17. Jedná se o korunu stromu, terénní nerovnost ve formě příkopu, louku, vizuálně chudší louku, kde není příliš vegetace, balík sena a jeho stín. V Tab. 6 jsou uvedeny výsledné hodnoty.



Obr. 17: Zájmové kategorie v obraze z ADC kamery

Tab. 6: Výpočet NDVI pro vybrané objekty

objekt	NDVI (Erdas)	NDVI (PixelWrench2)
koruna stromů	0,825	0,81
louka	0,751	0,726
chudší louka	0,456	0,471
příkop	0,611	0,553
balík sena	0,108	0,607
stín	0,844	0,019

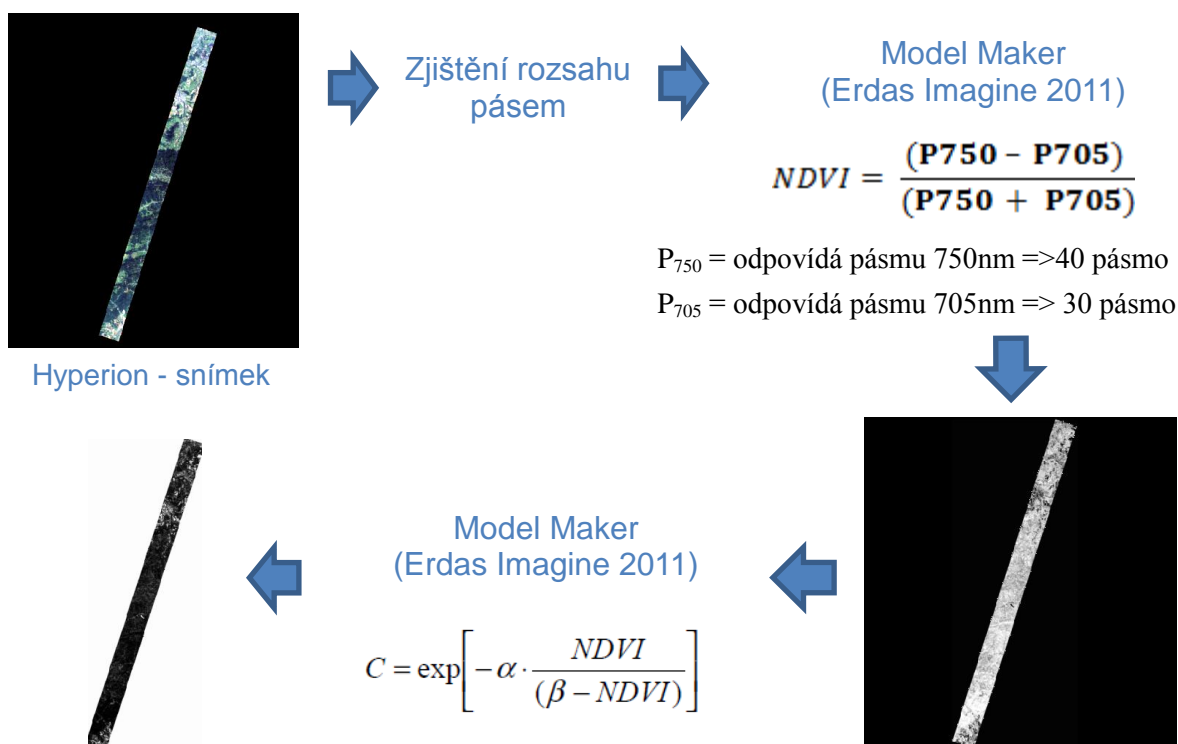
Hodnoty NDVI pro většinu vybraných objektů se z obou programů takřka shodují. Tento rozdíl může být způsoben právě nekalibrováním snímku v Erdasu Imagine 2011. Velký rozdíl hodnot je pro balík sena a jeho stín. To může být ovlivněno jednak kalibrací, jiným přístupem výpočtu hodnoty NDVI nebo zde je ještě jiný ovlivňující faktor. Pro určení by bylo vhodné další testování.

Bohužel nebylo možné srovnat snímky ADC s jiným zdrojem, neboť snímky nebyly georeferencované. Lze ale říci, že jejich využití je pro malé územní celky (jednotlivé parcely) vhodné, i díky lepšímu rozlišení než mají snímky Landsat 5 TM.

4.3 C-faktor u hyperspektrálních snímků

V praktické části bylo testováno využití hyperspektrálních snímků pro stanovení C-faktoru a porovnání s multispektrálním obrazem. Od hyperspektrálních snímků je očekávána lepší interpretace různých charakteristik v obraze. Je to díky úzkému rozsahu jednotlivých pásem, kterých je dohromady 220 (více v kapitole 3.5.10).

Prvním nedostatkem oproti multispektrálním snímkům je nedostupnost dat pro libovolné území. K testování bylo využito hyperspektrálního snímku ze dne 23. 7. 2009, který poskytl vedoucí práce. Zvoleným přístupem je využití NDVI s následným přepočtem na C-faktor dle Knijff (1999).



Obr. 18: Postup tvorby C-faktoru u snímků z Hyperionu

Postupné zpracování, které je viditelné na obr. 18, probíhalo v programu Erdas Imagine 2011. Po načtení snímku je důležité zjistit, kterému pásmu odpovídají hodnoty 750nm a 705nm. Z těchto pásem je vypočten NDVI. Další postup je shodný s přístupem nad multispektrálními snímky. Během práce se objevilo časté „padání“ softwaru, což způsobovala náročná práce s datově obsáhlým snímkem. Také docházelo k problému se souřadnicovým systémem, který se při opakovaném načtení snímku měnil a obraz se transformoval. Při práci s hyperspektrálními snímky je vhodné se dostatečně seznámit s daty, neboť obraz může být v určitém náklonu.

Pro hodnocení přístupu nad hyperspektrálním snímkem bylo zvoleno srovnání s multispektrálním snímkem stejného území a pokud možno stejného období. K těmto účelům byl získán multispektrální snímek ze dne 19. 8. 2009. Časový rozdíl mezi snímáním je takřka měsíční, proto je nutné k hodnocení přistupovat s rezervou.

Z obou snímků byla vybrána totožná oblast (Obr. 19), ve které byly vytipovány zájmové kategorie, pro které byly zjištěny hodnoty NDVI a C-faktoru, jak je uvedeno v Tab. 7.



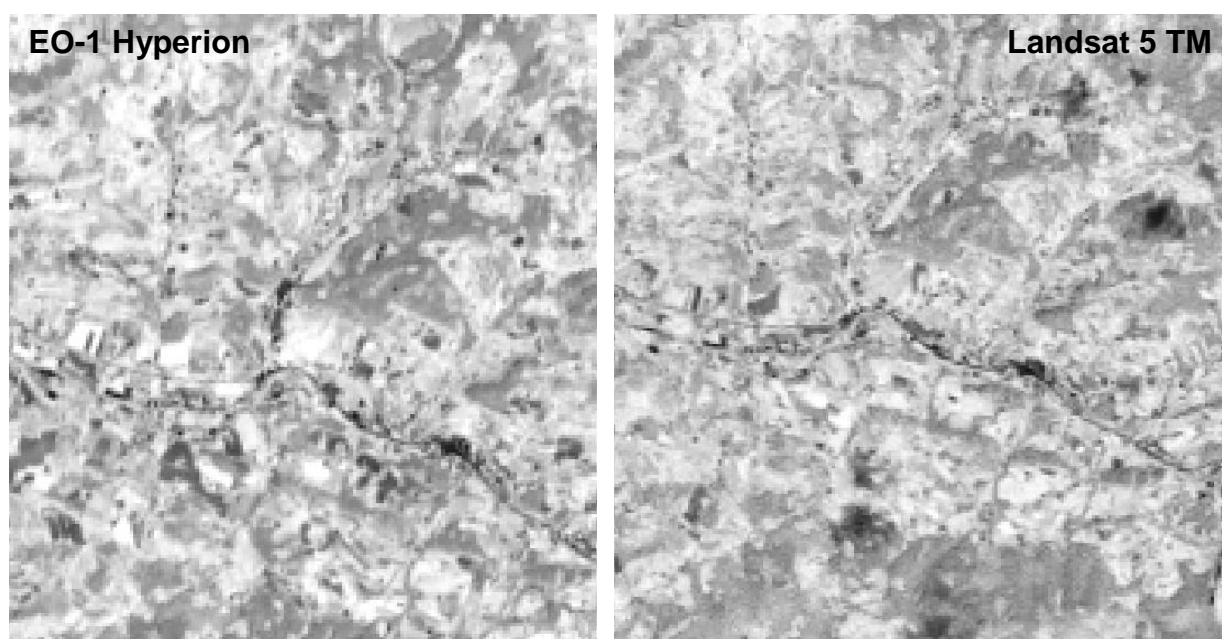
Obr. 19: Rozmístění zájmových kategorií nad hyperspektrálním snímkem v přirozených barvách

Tab. 7: Porovnání hodnot různých zdrojů dat

objekt	NDVI (Landsat)	NDVI (Hyperion)	C-faktor (Landsat)	C-faktor (Hyperion)
les	0,5	0,421	0,135	0,233
louka 1	0,664	0,645	0,019	0,027
louka 2	0,655	0,559	0,023	0,079
zástavba	0,175	0,032	0,654	0,936
rybník	-0,211	-0,149	1,416	1,296

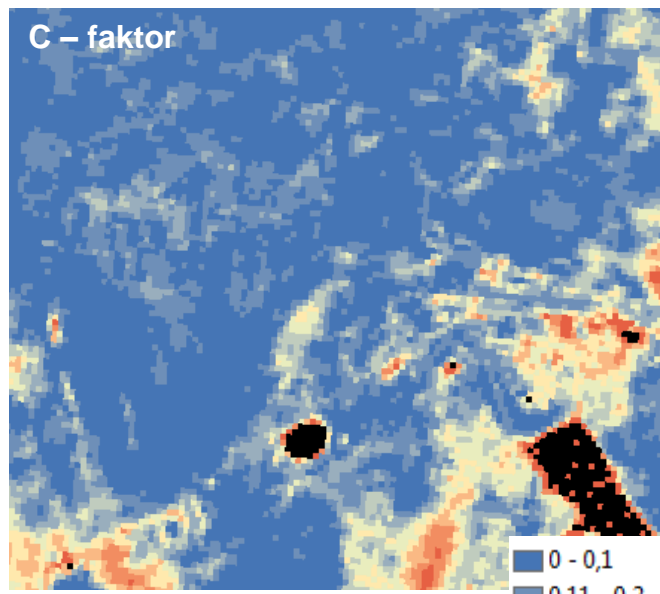
Z tabulky je patrné, že hodnoty NDVI jsou u Hyperionu nižší než u Landsat TM, což ve výsledku zapříčiní vyšší hodnoty C-faktoru (ne u hodnoty pro vodní plochu). To může být nežádoucí zvláště u lesa, kde by se hodnoty měly pohybovat blízko 0. Hodnoty pro obě vybrané louky jsou odpovídající a rozdíl v hodnotách je možné přisuzovat časovému rozdílu snímků. Velký rozdíl je patrný u zástavby, kde by se hodnoty NDVI měly pohybovat pod nulou, jelikož se nejedná o vegetaci. Vzhledem k rozlišení snímků je pravděpodobné, že do výsledné hodnoty pixelů zasahují vegetační prvky mezi zástavbou. V tomto případě realističtěji vychází Hyperion.

Snímky je možné porovnat i vizuálně, ať už pro hodnoty NDVI (Obr. 20) nebo hodnoty C-faktoru (Obr. 21). Na rozdíl od Obr. 20, kde je vybrána bezoblačná společná část snímků, v Obr. 21 se u multispektrálního snímku oblačnost nachází a zkresluje část vizuálního výsledku. Úmyslně byla vybrána ta část obrazu, kde se nachází vodní plocha. Z porovnání je patrné, že Hyperion lépe vymezí vodní plochu a některé prvky zástavby. V případě lepší dostupnosti hyperspektrálních dat a kvalitnějšího hardwaru a softwaru je využití přístupu přijatelnou alternativou.

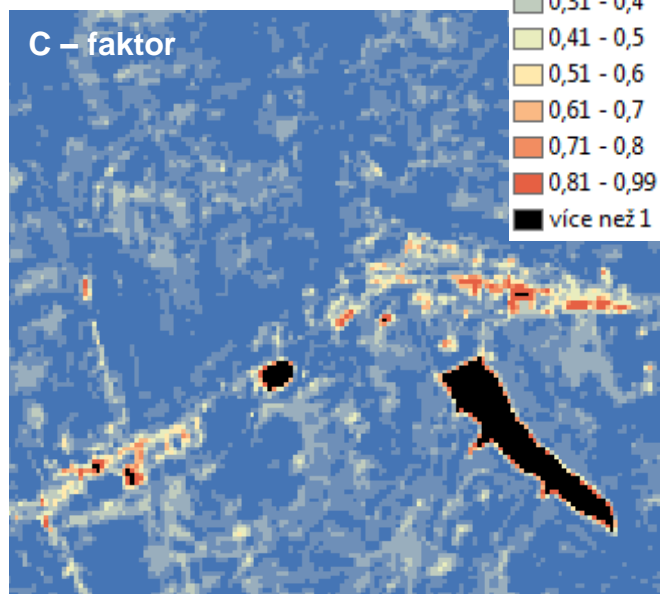


Obr. 20: Porovnání obrazů NDVI

Multispektrální snímek – Landsat 5 TM



Hyperspektrální snímek – EO-I Hyperion



Obr. 21: Vizuální porovnání snímků

5 DISKUZE

V průběhu zpracování bakalářské práce došlo k otevření několika otázek, zjištění nedostatků a problémům ve zpracování. Hlavním zdrojem nedostatků i výhod jsou vstupní data.

Původním záměr bylo porovnat mezi sebou jednotlivé přístupy i pro různé datové zdroje. Bohužel se nepodařilo zajistit data pro stejné období z Landsat TM, Hyperionu, ADC kamery a klasická data využívaná dle metodik od VÚMOP, v.v.i. Snímky z Landsat 5 TM je možné stáhnout do října 2011, navíc některé mohou být se silnou oblačností. Snímky z ADC kamery nebyly georeferencovány, takže nebylo možné k nim najít jiný zdroj k porovnání. Snímky z Hyperionu byly porovnány se snímky z Landsat TM, bohužel nebylo možné zajistit, aby snímky byly bezoblačné, což způsobuje chyby ve výsledcích a nejednoznačnou interpretaci výsledků. U dat z VÚMOP, v.v.i. nebylo možné zjistit, pro jaké období jsou hodnoty určeny. Přístupy byly tedy porovnány a zhodnoceny jen mezi sebou nad jedním typem dat.

Využití dálkového průzkumu Země zajistí rychlejší přístup k hodnocení ztráty půdy při vodní erozi. Na druhou stranu je nutné počítat s nepřesností ve výsledcích. Všechny uvedené přístupy a následně výsledky jsou ovlivněny prostorovým rozlišením vstupních dat. Pravidelné a poměrně časté snímkování povrchu zajistí dostatek dat, ale pokud snímky budou mít malé rozlišení, tak výsledek jakéhokoliv přístupu bude spíše orientační. Z tohoto důvodu lze konstatovat, že aplikace alternativních přístupů stanovení C-faktoru nad snímky z Landsat TM, kde je prostorové rozlišení 30 m, je vhodná pro regionální až kontinentální celky, kde jde spíše o rychlý a orientační přístup než o přesné hodnoty (viz. Příloha 3). Pokud je zjišťována hodnota C-faktoru na menších celcích (např. parcely) je vhodné využít leteckého či satelitního snímkování s velkým prostorovým rozlišením. Co se týče nepřesnosti v datech, tak zde dále může nastat problém s poškozením snímku (Landsat 7) nebo častější nepřijemností, kterou nemůžeme ovlivnit, a to je oblačnost. Výhodou využití dálkového průzkumu může být již zmíněná rychlost použití i získání, u některých zdrojů interval snímání a mnohdy cena oproti terénnímu přístupu.

Část studovaných přístupů vychází ze stanovení některého vegetačního indexu, který ovšem může být také zdrojem chyb. V případě stanovení NDVI je často zmiňováno, že výslednou hodnotu může ovlivnit zdraví a obsah vody v rostlinách či půdě. Vliv na hodnotu má také oblačnost a stíny, pokud se na snímku nachází. Odrazivost daného místa je pak velmi ovlivněna. Pro stanovení C-faktoru by se ideálně měly volit snímky bezoblačné v období, které je průměrné na srážky. Druhou možností, jak eliminovat tyto problémy, je kombinování po sobě jdoucích snímků a následně průměrování hodnot pro jednotlivé pixely. Při aplikaci metody USLE jsou vyžadovány roční průměry nejen pro C-faktor (viz. kapitola 3.2). Díky pravidelnému snímkování je možné získat průměrnou hodnotu za delší období. Ovšem je nutné přistupovat k interpretaci opatrně, neboť dochází ke zkreslení informace. Průměrná hodnota za určité období nevystihuje aktuální situaci zeleně.

Přístupy, které byly testovány v rámci praktické části, většinou potvrdily teorii uvedenou v rešerši práce. Původně byla snaha testovat využití jednotlivých přístupů na konkrétním zájmovém území Vysoké Pole o rozsahu 1 x 1,5 km, ale již při práci na teoretické části bylo od tohoto záměru ustoupeno z důvodu nepřesnosti výsledků.

V současnosti se našem území i v zahraničí využívá pro stanovení vodní eroze model RUSLE. U nás se ovšem C-faktor stanovuje hlavně terénním přístupem nebo dle dat VÚMOP v.v.i., které vychází ze vzorových tabulek dle Janečka (2012). Tyto postupy nesplňují teoretické poznatky pro určení C-faktoru modelu RUSLE, neboť nezjišťují jednotlivé subfaktory. Stejný případ nastává při aplikaci všech uvedených alternativních přístupů, které jsou uvedeny v teoretické části této práce. Zjištění C-faktoru pomocí subfaktorů RUSLE zajistí zpřesnění výsledků.

Dalším nedostatkem stanovení C-faktoru je nedynamičnost. Hodnoty C-faktoru jsou statické a většinou jsou stanoveny pro nějakou konkrétní dobu nebo průměrovány pro delší období.

ZÁVĚR

Náplní bakalářské práce bylo hledání geoinformatických alternativ pro stanovení vegetačního krytu, který vstupuje do modelu RUSLE jako hodnota C-faktoru. Prvním krokem bylo shromáždění zahraničních článků, které se stanovením C-faktoru zabývaly a získání vhodných dat. Zde zdrojem byly volně dostupné snímky Landsat 5 TM z USGS, a snímky z ADC kamery a senzoru Hyperion poskytnuté katedrou geoinformatiky.

Hlavní částí práce bylo sepsání rešerše, která se zabývá popisem modelu USLE, RUSLE a RUSLE2. U modelu USLE byly popsány jednotlivé faktory včetně popisu přístupu dle Janečka, jehož metoda spojená s terénním hodnocením se využívá na našem území. U metody RUSLE a RUSLE2 byly v práci popsány rozdíly oproti USLE a podrobně popsán C-faktor.

Dále v práci byla představena teorie pro různé geoinformatické alternativy stanovení C-faktoru, které byly nastudovány ze zahraničních článků. Mezi hlavní přístupy, které byly v práci uvedeny, patří stanovení C-faktoru s využitím vegetačních indexů (NDVI, SAVI, mNDVI,...), klasifikace obrazu a Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA).

V praktické části byly vybrané přístupy testovány nad různými specifickými daty. Jednalo se o přístup s využitím NDVI, SAVI a SATVI nad snímky z Landsat 5 TM, dále přístup s využitím NDVI nad multispektrálními snímky z ADC kamery a využití stejného přístupu nad hyperspektrálními snímky z EO-1 Hyperion.

Výsledkem práce je kromě rešeršní části hodnocení přístupů pomocí tabelárních hodnot, histogramu obrazu a vizuálního srovnání.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

DE ASIS, A.M. a K. OMASA.: *Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data*. In: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. 2007, s. 309-324. Dostupné z: <http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/429.pdf>

DOBROVOLNÝ, P.: *Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu*. Brno, 1998. ISBN 80-210-1812-7. Masarykova univerzita v Brně.

ERENCIN, Z. *C-Factor Mapping Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Lom Sak / Lom Kao, Thailand*. 2000. Geographisches Institut der Justus-Liebig-Universität Giessen.

GRIMM, M., R. JONES a L. MONTANARELLA.: *Soil Erosion Risk in Europe*. 2002. Dostupné z: <http://www.env-edu.gr/Documents/Soil%20Erosion%20Risk%20in%20Europe.pdf>

HAGEN, S.C. a kol. *Mapping Total Vegetation Cover Across Western Rangelands With Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer Data*. RANGELAND ECOLOGY & MANAGEMENT. 2012, s. 456-467. Dostupné z: <http://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/PDFfiles/2147.pdf>

HUETE, A. R.: *A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)*. Remote Sensing of Environment, 1988

JAKUBÍKOVÁ, A.: Použití programu RUSLE pro určení erozního ohrožení v podmínkách České republiky. [Doktorská práce (Ph.D.)]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2004. 225 s.

JANEČEK, M. a kol.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika*, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v. v. i., Praha, 2007, 76 s., ISBN 978-80-254-0973-2.

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

KADLEC, M., TOMAN, F.: *Závislost faktoru protierozní účinnosti vegetačního pokryvu C na klimatickém regionu*, In: Bioklima - Prostředí – Hospodářství. 2002 s. 544 – 550, ISBN 80-85813-99-8.

KEFI, M. a K. YOSHINO.: *Evaluation of the economic effects of soil erosion risk on agricultural productivity using remote sensing: case of watershed in tunisia*. International Archives of the Photogrammetry: Remote Sensing and Spatial Information Science. 2010, s. 930-935.

KRÁSA, J.: *Empirické modely vodní eroze v ČR - nástroje, data, možnosti a rizika výpočtů* [Docentská habilitační práce]. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného hospodářství, 2010. 158 s.

MARSET, R.C., a kol.: *Remote sensing for grassland management in the arid southwest*. Rangeland Ecology and Management, 2006

MOBASHERI, M.R. a kol.: *A method in extracting vegetation quality parameters using hyperion images, with application to precision farming*. World Applied Sciences Journal. 2007, s. 476-483.

MOZAFFAR, M. HEIDARI, a kol.: *Vegetation endmember extraction in hyperion images*. ISPRS, 2008.

PODHRÁZSKÁ, J.: *Protierozní ochranná opatření v zemědělské krajině*. 2009, MAS MORAVSKÝ KRAS. Dostupné z WWW: <www.spolek-moravskykras.cz/create_file.php?id=294>

PUENTE, C. a kol.: *A Genetic Programming Approach to Estimate Vegetation Cover in the Context of Soil Erosion Assessment*. In: Photogrammetry and Remote Sensing. 2011, s. 363-376

RAY, T.W. *A FAQ on vegetation in remote sensing*. In: [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.yale.edu/ceo/Documentation/rsvegfaq>.

RENARD, K. G., G. R. FOSTER, G. A. WEESIES, D. K. MCCOOL, AND D. C. YODER, COORDINATORS.: *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U. S. Department of Agriculture Handbook No. 703. 384 pp., 1996

S. V. SMITH, S. H. BULLOCK, A. HINOJOSA-CORONA, E. FRANCO-VIZCAÍNO, M. ESCOTO-RODRÍGUEZ, T. G. KRETZSCHMAR, L. M. FARFÁN, AND J. M. SALAZAR-CESEÑA.: *Soil erosion and significance for carbon fluxes in a mountainous Mediterranean-climate watershed*. 2007. Ecological Applications 17:1379–1387.

VAN DER KNIJFF, J. M., R. J. A. JONES, L. MONTANARELLA.: *Soil erosion risk assessment in Italy*. European Soil Bureau (European Commission) EUR 19022EN. 54 pp., 1999

VAN DER KNIJFF, J. M., R. J. A. JONES, L. MONTANARELLA.: *Soil erosion risk assessment in Europe*. European Soil Bureau (European Commission) EUR 19044EN, 2000

VIÑAS, O., a kol.: *Combined use of LIDAR and QuickBird data for the generation of land use maps*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci, 2006, 36.7: 155-159.

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

VRIELING, A.: *Mapping erosion from space*. Wageningen, Wageningen University, 2007. Tropical Resource Management Papers = Documents sur la Gestion des Ressources Tropicales 90, ISBN: 978-90-8504-587-8..

WANG, G. a kol.: *Mapping Multiple Variables for Predicting Soil Loss by Geostatistical Methods with TM Images and a Slope Map*. In: Photogrammetry and Remote Sensing. 2003, s. 889-898.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D.: *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning*, Agr. Handbook, 537, US Dept. of Agriculture, Washington, 1978.

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

ŽÍŽALA, Daniel a Hana KRISTENOVÁ.: *Využití geoinformačních vrstev při řešení vodní eroze půdy*. 2012.

SEZNAM ODKAZŮ

ARCDATA Praha: Geografické informační systémy (GIS) [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/>

ARCDATA PRAHA - Hyperion. ARCDATA PRAHA, s.r.o. [online]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/druzicova-data/druzice-a-skenery/eo-1-a-senzor-hyperion/>

ARCDATA PRAHA - Landsat. ARCDATA PRAHA, s.r.o. [online]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/druzicova-data/druzice-a-skenery/landsat/>

Intergraph: ERDAS IMAGINE. [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://geospatial.intergraph.com/products/ERDASIMAGINE/ERDASIMAGINE/Details.aspx>

Overview of RUSLE2: Watershed Physical Processes Research Unit : Revised Universal Soil Loss Equation 2. [online]. 21.4.2010 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.ars.usda.gov/research/docs.htm?docid=6010>

RUSLE: Použití RUSLE pro určení erozního ohrožení v podmínkách České republiky. [online]. 20. 06. 2006 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://eroze.sweb.cz/rusle.htm>

SOWAC GIS: Gis for Soil and Water Conservation. VÚMOP, v.v.i. [online]. 2008 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.sowac-gis.cz/>

Tetracam - ADC. [online]. 2007 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.tetracam.com/adc.html>

Tetracam Inc.: PixelWrench2. [online]. 2011 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.tetracam.com/Products_PixelWrench2.htm

USGS - Landsat. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://landsat.usgs.gov/>

SUMMARY

The aim of this thesis was searching for geoinformatics alternatives for assessment of vegetative cover, which enters the RUSLE model as a value of C-factor. The first step was the gathering of foreign articles which deal with the determination of C-factor, and obtain appropriate data. As sources were free available Landsat 5 TM images from USGS, and images from ADC cameras and sensor Hyperion provided by the Department of Geoinformatics.

The main part of this thesis was about writing of theoretical research that deals with the description of the model USLE, RUSLE and RUSLE2. The USLE model were described by various factors, including the description of the approach according to Janecek, whose method associated with the field evaluation is used in our area. There were also described differences between method USLE and both RUSLE and RUSLE2, and detail description of C-factor.

The thesis also presents theories for various geoinformatics alternatives for assessment of C-factor, which were found in foreign articles. The main approaches that have been shown to work include determination of C-factor using vegetation indices (NDVI, SAVI, mNDVI, ...), image classification and Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA).

In the practical part, selected approaches were tested over various specific data. It was an approach with using NDVI, SAVI and SATV of images from Landsat 5 TM, as well as approach with the use of NDVI above multispectral images of ADC camera and use the same approach of hyperspectral images from EO-1 Hyperion.

The result, in addition to the theoretical research, is also evaluation of approaches using tabular values, image histogram and visual comparison.

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

Příloha 1 Tabulky z metodiky dle Janečka (2012)

Příloha 2 Vizualizace hodnot C-faktoru

Příloha 3 Vizualizace špatného rozlišení

Příloha 4 Vizualizace C-faktoru z NDVI a SAVI

Volné přílohy

Příloha 5 DVD

Příloha 1

Tab. 8: Hodnoty faktoru C ochranného vlivu vegetace a způsobu obdělávání (Janeček, 2012)

Plodina	Zařazení v osevním postupu	Použitá agrotechnika	Hodnoty faktoru vegetačního krytu a agrotechniky podle pěstebních období						
			1	2	3	4	5a	5b	
Obilovina	po 1.roce po jetelovinách	OP St	0,50 0,02	0,55 0,02	0,30 0,02	0,05 0,02	0,20 0,02	0,04 0,02	
	po obilovinách	OP St	0,65 0,25	0,70 0,25	0,45 0,20	0,08 0,08	0,25 0,25	0,04 0,04	
	po okopaninách	OP St	0,70 0,70	0,75 0,70	0,50 0,45	0,08 0,08	0,25 0,25	0,04 0,04	
Kukuřice	sláma předplodiny sklizena	OP	0,70 OK 0,25	0,90 OK 0,25	0,70 OK 0,25	0,35	0,70	0,40	
		St	0,70	0,70	0,55	0,25	0,60	0,30	
	sláma předplodiny nesklizena	OP	0,60 OK 0,04	0,75 OK 0,04	0,55 OK 0,04	0,25 OK 0,05	0,60 OK 0,25	0,30 OK 0,15	
		St	0,30	0,25	0,20	0,20	0,40	0,30	
	do herbicidem umrtveného drnu	víceletých pícnin		0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03
		jílku jako ozimé meziplodiny		0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,10
Brambory, Cukrovka	v přímých řádcích libovolného směru		0,65	0,80	0,65	0,30	0,70		
Vojtěška			0,02						
Jetel červený dvousečný			0,015						
Víceletá tráva, louky			0,005						

Poznámky: 5a – sláma sklizena, 5b – sláma ponechána, O – po obilovině, K – po kukuřici, OP – setí do zorané půdy, St – setí do strniště. Hodnoty uvedné pod OK znamenají rozpětí (0,25 – 0,70 apod.)

Pro kvalitní řešení protierozní ochrany a posouzení ohroženosti pozemků se faktor C určí pro danou strukturu plodin závisující na střídání na pozemcích a na nástupu a způsobu agrotechnických prací v 5-ti obdobích (Wishmeier a Smith,1978):

1. období podmínky a hrubé brázdy
2. období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení
3. období po dobu druhé měsíce od jarního nebo letního setí či sázení, u ozimů do 30.4.
4. období od konce 3.období do sklizně
5. období strniště

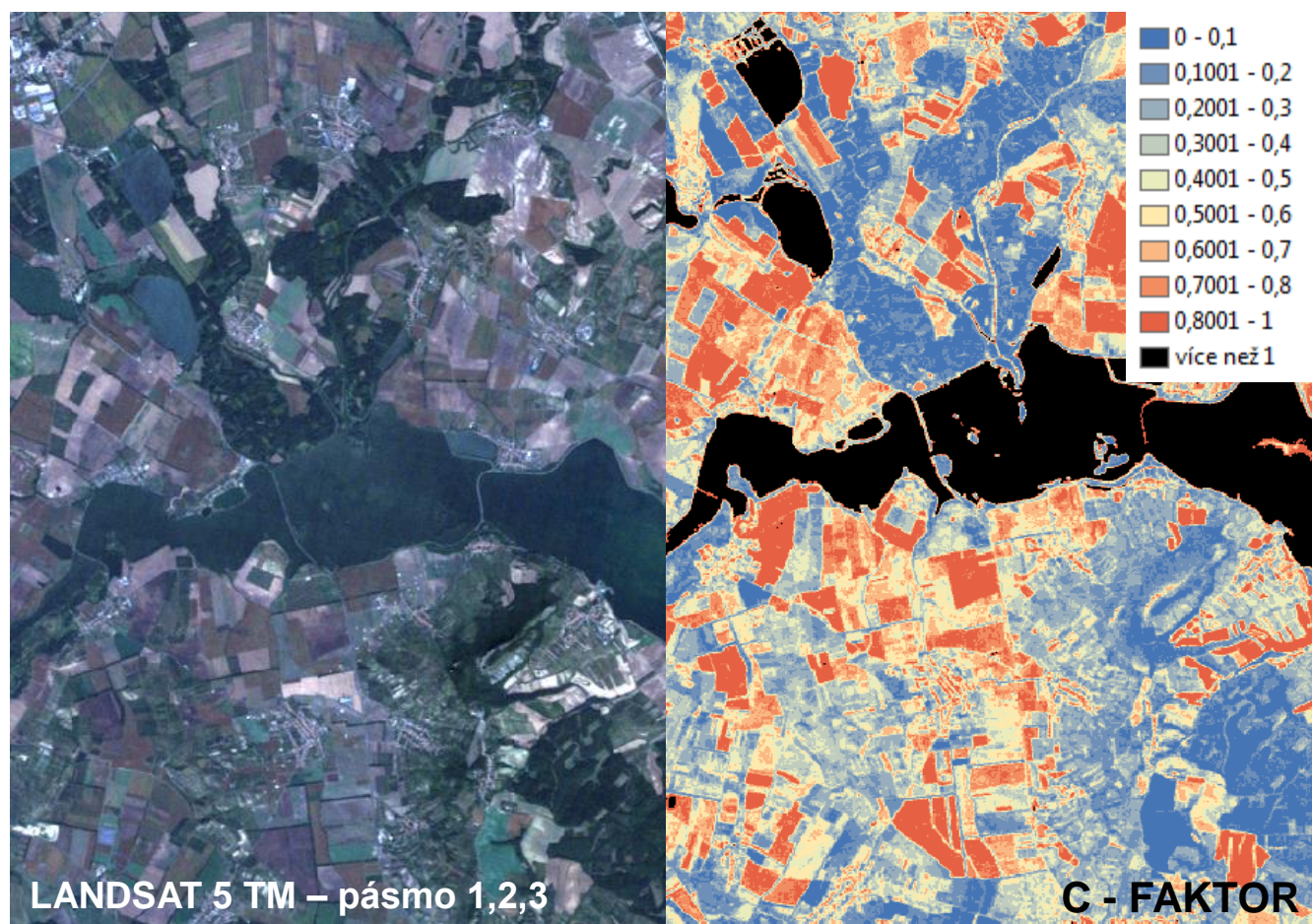
Tab. 9: Stanovení průměrné roční hodnoty C-faktoru s korekcí R faktoru pro ozimou řepku v mírně teplé oblasti, vyseté po jarním ječmeni do zorané půdy (Janeček, 2012)

Období vývoje plodiny	Kalendářní období	Součin faktorů USLE C * R
1. období podmínky a hrubé brázdy	od 10.8. do 31.8.	$0,65 * 0,17 = 0,111$
2. období od přípravy pozemku k setí do 1.měsíce po zasetí	od 1.9. do 10.10.	$0,70 * 0,09 = 0,063$
3. období od konce 2. období do 30.4.	od 11.10. do 30.4.	$0,45 * 0,02 = 0,009$
4. období od konce 3. období do sklizně	od 1.5. do 31.7.	$0,08 * 0,63 = 0,050$
5. období strniště	od 1.8. do 10.8.	$0,25 * 0,09 = 0,023$
Roční hodnota faktoru C ozimé řepky		$\Sigma C * R = 0,26$

Tab. 10: Hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace dle klimatických regionů (Toman et al. 2002)

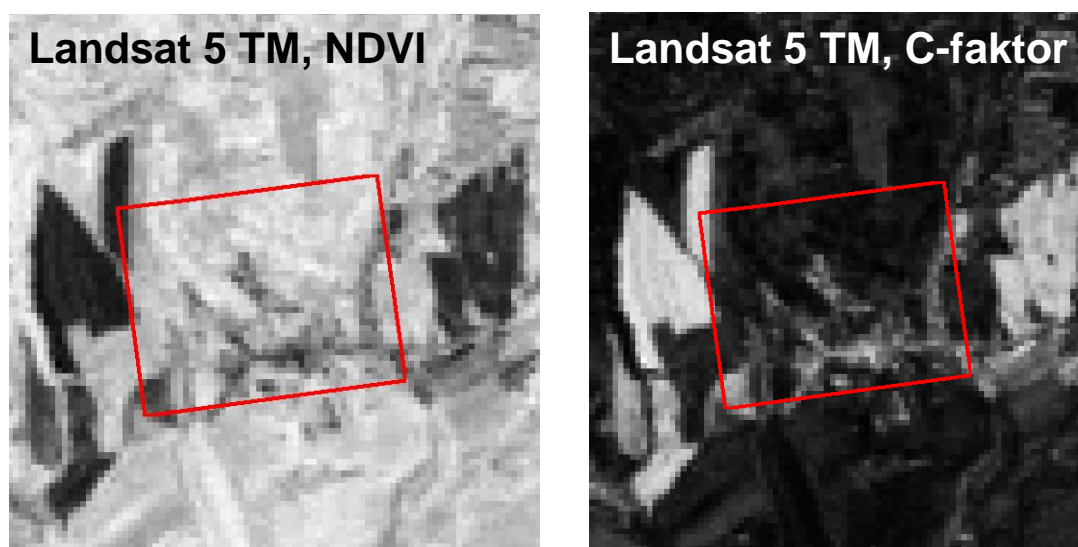
Klimatický region	Hodnota C-faktoru pro ornou půdu	Hodnota C-faktoru pro ostatní plochy
0	0,291	0,307
1	0,278	0,286
2	0,266	0,264
3	0,254	0,243
4	0,241	0,221
5	0,229	0,199
6	0,216	0,178
7	0,204	0,156
8	0,192	0,135
9	0,179	0,113

Příloha 2



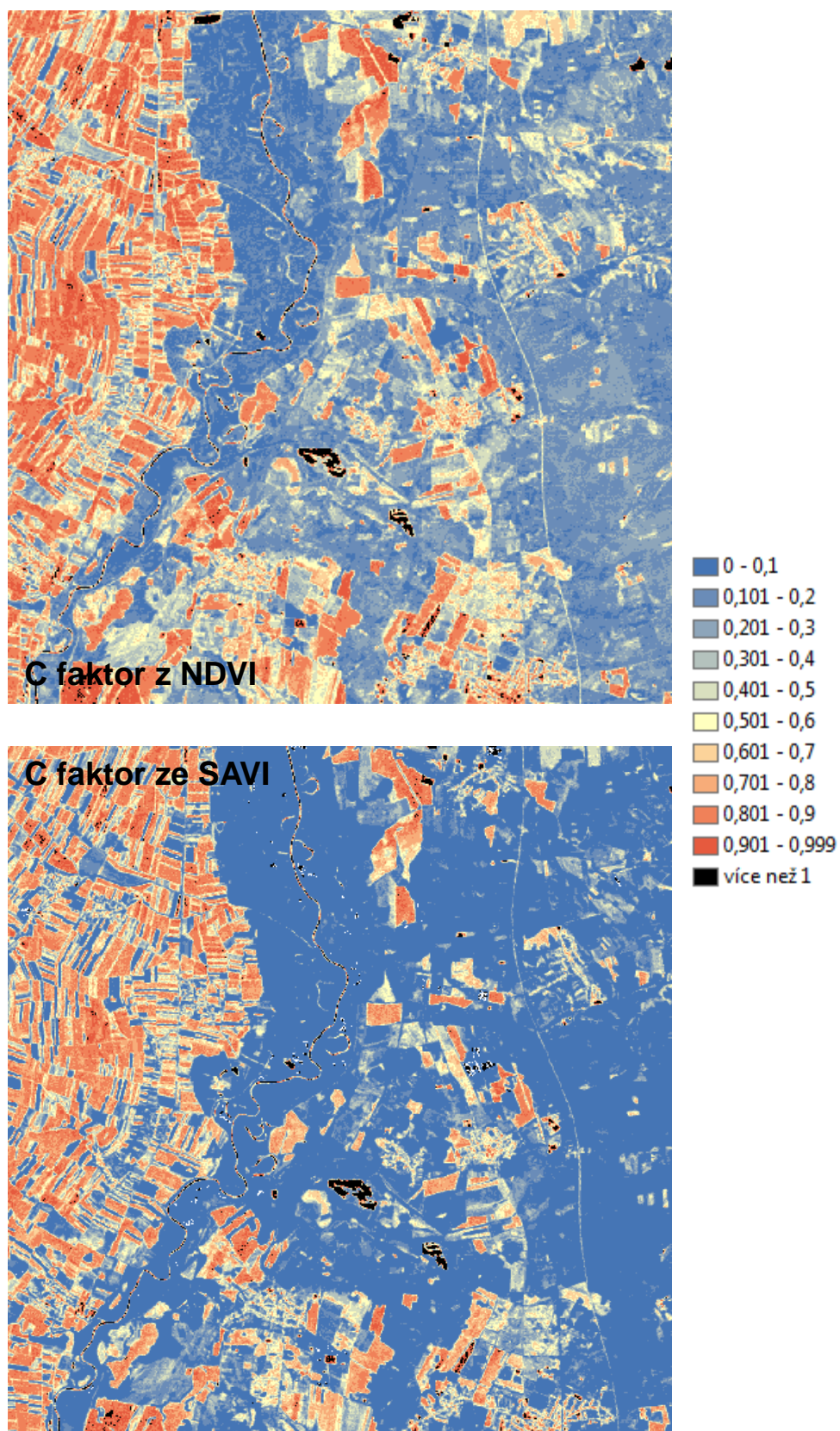
Obr. 22: Vizualizace hodnot C-faktoru ve srovnání se snímkem v RGB

Příloha 3



Obr. 23: Nevhodnost snímku z Landsat TM pro malé územní celky (1 x 1,3 km)

Příloha 4



Obr. 24: Vizuální porovnání snímků s hodnotou C-faktoru z NDVI a SAVI